

**Міністерство освіти і науки України
Луцький національний технічний університет
Факультет комп'ютерних та інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерних наук**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «МАГІСТР»**

**ДОСЛІДЖЕННЯ І РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ
ПРОЄКТАМИ В ГАЛУЗІ STEM-ОСВІТИ**

**RESEARCH AND IMPLEMENTATION OF A PROJECT MANAGEMENT
SYSTEM IN STEM EDUCATION**

спеціальність 122 «Комп'ютерні науки»
освітня програма «Комп'ютерні науки»

Виконала: здобувачка вищої освіти
групи КНм-21
Савчук Ольга Володимирівна

(підпис)

Керівник: к.т.н., доцент
Ліщина Валерій Олександрович

(підпис)

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
«___» _____ 2025 р.
Гарант освітньої програми:
к.т.н., доцент
Ліщина Валерій Олександрович

(підпис)

Луцьк – 2025 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет комп'ютерних та інформаційних технологій

Кафедра комп'ютерних наук

Ступінь вищої освіти магістр

Галузь знань: 12 «Інформаційні технології»

Спеціальність: 122 «Комп'ютерні науки»

Освітня програма: «Комп'ютерні науки»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

«__» _____ 202__ р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ДРУГОГО (МАГІСТЕРСЬКОГО) РІВНЯ ВИЩОЇ ОСВІТИ Савчук Ольги Володимирівни

1. Тема кваліфікаційної роботи: Дослідження і реалізація системи управління проєктами в галузі STEM-освіти

Керівник роботи: к.т.н., доцент Ліщина Валерій Олександрович
затверджені наказом закладу вищої освіти від «14» травня 2025 р. № 255/01-02

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи: 05 грудня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи технічне та програмне забезпечення ЕОМ

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки: аналітичний огляд предметної області, теоретичне обґрунтування та практична реалізація системи управління STEM-проєктами, експериментальне дослідження

5. Перелік графічного матеріалу 10 рисунків, 10 таблиць, 5 лістингів коду, 1 додаток.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Аналіз проблематики за темою роботи та постановка завдань дослідження</i>	<i>Ліщина В. О.</i>		
<i>Теоретичне дослідження та практична реалізація предмету дослідження</i>	<i>Ліщина В. О.</i>		
<i>Експериментальне дослідження результативності предмету дослідження</i>	<i>Ліщина В. О.</i>		
<i>Показник запозичень тексту</i>	_____ %		
<i>Інструментальна перевірка</i>	<i>Кошелюк В. А.</i>		
<i>Нормоконтроль</i>	<i>Сачук В. О.</i>		
<i>Гарант ОПП</i>	<i>Ліщина В. О.</i>		

7. Дата видачі завдання «14» травня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Провести огляд літературних джерел по темі кваліфікаційної роботи</i>	<i>до 30.06.2025 р</i>	
2	<i>Провести аналіз загальної проблеми і вибір напрямків дослідження</i>	<i>до 01.09.2025 р.</i>	
3	<i>Розробити функціональну схему роботи програмного продукту</i>	<i>до 01.10.2025 р</i>	
4	<i>Описати засоби розробки об'єкта проектування</i>	<i>до 15.10.2025 р.</i>	
5	<i>Практична реалізація об'єкта проектування</i>	<i>до 10.11.2025 р.</i>	
6	<i>Провести експериментальне дослідження результативності предмету дослідження</i>	<i>до 25.11.2025 р.</i>	
7	<i>Здача чистового варіанту кваліфікаційної роботи магістра на кафедру</i>	<i>до 05.12.2025 р.</i>	

Здобувачка вищої освіти _____ Ольга САВЧУК

Керівник роботи _____ Валерій ЛІЩИНА

АНОТАЦІЯ

Савчук О. В. Дослідження і реалізація системи управління проєктами в галузі STEM-освіти. Рукопис.

Кваліфікаційна робота магістра ОП «Комп'ютерні науки» спеціальності 122 «Комп'ютерні науки». Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2025.

Кваліфікаційна робота магістра складається з вступу, 3 розділів, висновків, списку використаних джерел.

У роботі досліджено теоретичні та практичні аспекти управління STEM-проєктами в освітньому середовищі Луцької міської громади. На основі аналізу нормативних документів, наукових джерел та практики міжнародного партнерства розроблено концепцію інформаційної системи для підтримки планування, моніторингу та координації STEM-ініціатив. Обґрунтовано вибір методів та алгоритмів управління, побудовано функціональну, інформаційну та архітектурну моделі системи. Результатом роботи є проєкт веборієнтованої системи, спрямованої на підвищення ефективності організації STEM-освіти та забезпечення прозорості управлінських процесів.

Ключові слова: STEM-освіта, управління проєктами, інформаційна система, планування, моніторинг, STEM-центр.

ABSTRACT

Olha Savchuk. Research and implementation of a project management system in stem education. Manuscript.

Qualification master's thesis OP «Computer Science» specialty 122 «Computer Science». Lutsk National Technical University. Lutsk, 2025.

Qualification master's thesis consists of an introduction, 3 chapters, conclusions, a list of sources used.

The paper explores the theoretical and practical aspects of STEM project management in the educational environment of the Lutsk city community. Based on the analysis of regulatory documents, scientific sources and international partnership practice, the concept of an information system to support planning, monitoring and coordination of STEM initiatives has been developed. The choice of management methods and algorithms has been justified, and a functional, information and architectural model of the system has been built. The result of the work is a project of a web-based system aimed at increasing the efficiency of the organization of STEM education and ensuring the transparency of management processes.

Keywords: STEM education, project management, information system, planning, monitoring, STEM center.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМАТИКИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ	11
1.1 Огляд і аналіз предметної області проблеми, результатів існуючих теоретичних та експериментальних досліджень.....	11
1.2 Огляд і аналіз методів та засобів розробки для вирішення проблеми дослідження	16
1.3 Постановка завдання на кваліфікаційну роботу магістра.....	24
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	26
2.1 Обґрунтування вибору шляхів, технологій, алгоритмів і засобів вирішення поставленого завдання.....	26
2.2 Практична реалізація об'єкта проектування	29
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	45
3.1 Методика проведення дослідження	45
3.2 Обробка та аналіз отриманих результатів	48
ВИСНОВКИ.....	54
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	56
ДОДАТКИ.....	56

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. У сучасному світі розвиток технологій, цифрової економіки та інноваційних галузей науки визначає потребу у формуванні нового типу мислення – дослідницького, технічного, аналітичного. Одним із найефективніших підходів до підготовки молодого покоління до таких викликів є STEM-освіта (Science, Technology, Engineering, Mathematics), що забезпечує інтегроване навчання природничо-математичних дисциплін із використанням практикоорієнтованих методів. Її впровадження дозволяє розвивати в учнів уміння критично мислити, працювати в команді, застосовувати знання для розв'язання реальних проблем.

В Україні STEM-освіта розглядається як один із пріоритетних напрямів реформування навчального процесу та розвитку людського потенціалу. Проте ефективність реалізації STEM-ініціатив значною мірою залежить від системності управління освітніми проектами, координації зусиль шкіл, органів місцевого самоврядування, університетів і міжнародних партнерів.

В умовах розгортання цього міжнародного партнерства особливої актуальності набуває проблема створення ефективної системи управління STEM-проектами, що забезпечує планування, реалізацію, моніторинг і оцінювання освітніх результатів. Така система має поєднувати організаційні, методичні та інформаційні засоби управління, орієнтовані на учнів середньої школи.

Важливим кроком у цьому напрямі став міжнародний проект «Розвиваємо STEM-освіту разом: інноваційне навчання в Ліппе та Луцьку», який реалізується за підтримки Федерального міністерства економічного співробітництва та розвитку Німеччини (BMZ) у межах програми Накора 2024. Проект передбачає створення Інноваційного центру STEM-освіти в місті Луцьку, який стане простором для розвитку творчих здібностей учнів, упровадження інтегрованих навчальних програм, обміну досвідом між педагогами України та Німеччини.

Проект має стратегічне значення для розвитку міської освіти Луцька, адже він створює єдиний центр STEM-компетенцій, який поєднує зусилля шкіл, університетів та органів місцевої влади. Його реалізація сприяє формуванню в учнів інженерного мислення, розвитку практичних навичок і зацікавленості у технічних спеціальностях. Важливою складовою є трансфер технологій та педагогічних практик між Німеччиною й Україною, що забезпечує впровадження сучасних методів навчання й управління освітнім процесом. У результаті реалізації проекту підвищується імідж Луцька як інноваційного освітнього міста, відкритого до міжнародної співпраці та впровадження новітніх підходів у підготовці молоді до професій майбутнього.

Актуальність теми полягає у необхідності формування сучасного підходу до управління STEM-проектами на рівні громади, що забезпечить сталість розвитку інноваційної освіти, підвищення якості.

Мета роботи – дослідити методи управління освітніми проектами в галузі STEM-освіти та розробити концептуальну модель системи управління, орієнтованої на реалізацію STEM-ініціатив.

Об'єкт дослідження – процес управління освітніми проектами в галузі STEM-освіти.

Предмет дослідження – методи, моделі та інформаційні технології управління STEM-проектами.

Методи дослідження – системний аналіз, методи моделювання та проектування інформаційних систем, порівняльний аналіз, методи управління проектами (PMBOK, Agile), аналітичні методи оцінювання ефективності освітніх проектів.

Виходячи з мети дослідження сформулювати такі завдання:

- проаналізувати сучасний стан STEM-освіти в Україні та Луцькій міській громаді,
- дослідити методи, моделі та інструменти управління проектами;
- визначити концептуальні вимоги до системи управління STEM-проектами;

- обґрунтувати вибір технологій, архітектурних рішень, алгоритмів та засобів реалізації системи;
- розробити інформаційну, функціональну, архітектурну та структурну моделі системи управління STEM-проєктами;
- створити та описати алгоритми роботи ключових компонентів системи;
- провести експериментальну оцінку ефективності запропонованої моделі.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у формуванні інтегрованої концепції управління STEM-проєктами, що поєднує педагогічні, організаційні та інформаційно-технологічні компоненти в єдиній системі. У роботі удосконалено підхід до моделювання процесів управління освітніми проєктами, орієнтований на специфіку шкільної STEM-освіти та особливості міжнародного партнерства. Розроблена модель системи управління STEM-проєктами може бути адаптована до різних типів освітніх закладів і форматів навчальної діяльності, забезпечуючи її практичну застосовність у широкому освітньому контексті.

Практична цінність кваліфікаційної роботи полягає у можливості безпосереднього застосування її результатів у діяльності освітніх установ, органів місцевого самоврядування та партнерських організацій, які займаються розвитком STEM-освіти. Отримані результати спрямовані на підвищення ефективності управління STEM-центрами, шкільними лабораторіями та іншими освітніми ініціативами, що реалізуються в громадах. Запропонована в дослідженні модель може слугувати основою для створення інформаційної системи управління STEM-проєктами, яка забезпечить автоматизацію процесів планування, координації, моніторингу та звітності.

Апробація результатів дослідження. Основні результати дослідження та програмні рішення були обговорені на засіданнях кафедри комп'ютерних наук Луцького національного технічного університету, а також представлені під час студентських наукових конференцій і практичних семінарів факультету комп'ютерних та інформаційних технологій. Зокрема, результати дослідження

також були представлені під час 2-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Progressive Approaches in Science and Engineering. Інформаційні технології та кібербезпека», де опубліковано тези «Моделювання та проєктування системи управління STEM-проєктами для закладів освіти Луцької міської громади» (додаток А).

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ПРОБЛЕМАТИКИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Огляд і аналіз предметної області проблеми, результатів існуючих теоретичних та експериментальних досліджень

Розвиток науки, техніки та цифрових технологій у XXI столітті вимагає формування нового типу мислення – інженерного та аналітичного, заснованого на інтеграції знань із різних галузей. Одним із провідних напрямів модернізації сучасної освіти у світі є STEM-освіта (Science, Technology, Engineering, Mathematics), яка орієнтована на розвиток практикоорієнтованого, міждисциплінарного навчання. Вона спрямована не лише на засвоєння знань, а й на формування компетентностей, необхідних для розв’язання реальних технічних, наукових і соціальних проблем.

У міжнародному освітньому просторі STEM-освіта визначається як стратегічний напрям інноваційного розвитку суспільства. За даними ЮНЕСКО, ще у 2015 році понад 60 країн світу розробили національні програми стимулювання STEM-навчання в школах і коледжах. У США діє державна програма STEM for All, яка фінансує дослідницькі лабораторії, освітні гранти для шкіл і програми підвищення кваліфікації вчителів. У Великій Британії функціонує STEM Learning Network, що об’єднує педагогів і науковців для розробки інтегрованих навчальних курсів. У Європі прикладом ефективної реалізації таких підходів є німецька програма MINT (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften, Technik), у межах якої створено сотні інноваційних навчальних центрів. У них учні виконують реальні технічні проекти, працюють із сучасним обладнанням, беруть участь у конкурсах та міжнародних обмінах. Важливо, що ця модель робить акцент не лише на технологічній підготовці, а й на розвитку соціальних і комунікативних навичок, необхідних для інженерної діяльності.

Провідні освітні дослідники, такі як J. Sanders, M. Bybee, R. Capraro, K. Becker, підкреслюють, що ефективність STEM-освіти залежить від здатності навчальних закладів забезпечити практичну реалізацію міждисциплінарних проєктів. Вони наголошують, що системний ефект досягається лише тоді, коли освіта інтегрується з наукою, промисловістю та органами місцевого самоврядування.

В Україні концепція STEM-освіти почала активно впроваджуватися після ухвалення наказу Міністерства освіти і науки України № 641 від 13.07.2016 року «Про впровадження STEM-освіти в Україні». На державному рівні було визначено пріоритет створення освітніх програм, лабораторій і STEM-центрів у школах. У рамках проєктів «Відкрита STEM-школа», «STEM: професії майбутнього», «STEM is FEM» започатковано навчання вчителів, організацію фестивалів, хакатонів та конкурсів інноваційних ідей для школярів.

Запроваджено низку програм та пілотних проєктів, спрямованих на формування STEM-компетентностей учнів, оновлення матеріально-технічної бази навчальних закладів, а також підготовку педагогічних кадрів. Однак поширення цього підходу стикається з проблемами недостатнього фінансування, застарілої інфраструктури, обмежених можливостей для практичного навчання та низького рівня залучення учнів до науково-дослідницької діяльності.

Однак дослідження українських науковців (Н. Морзе, С. Семерікова, О. Співаковського, І. Соколова, І. Теплицької) свідчать, що ефективність упровадження STEM-програм залишається недостатньою. Основними проблемами є:

- фрагментарність підходів до організації навчання;
- відсутність єдиної системи управління STEM-ініціативами;
- слабка матеріально-технічна база шкіл;
- обмежена підготовка педагогічних кадрів до проєктно-орієнтованого навчання;
- відсутність централізованого інструменту моніторингу та оцінювання результатів освітніх STEM-проєктів.

Аналіз сучасних досліджень у сфері STEM та STEAM-освіти свідчить, що її успішна реалізація значною мірою залежить не лише від матеріально-технічного забезпечення, а й від ефективності педагогічної організації та управління освітньою діяльністю. У роботі В. Пікалової [1] акцентовано, що STEM/STEAM-підходи є фундаментом для формування дослідницьких та інженерних компетентностей, однак їх результативність безпосередньо визначається структурою проєктної діяльності, рівнем організації взаємодії між учасниками освітнього процесу та наявністю механізмів координації завдань. Авторка підкреслює, що навіть за достатньої кількості обладнання, відсутність чітко спланованого процесу виконання проєктів знижує мотивацію учнів, ускладнює досягнення навчальних результатів і перешкоджає інтеграції міждисциплінарного змісту.

У контексті стратегічного розвитку освітнього середовища вагоме значення має дослідження Ророва V., Роров V. [2] присвячене ролі STEM-освіти у формуванні економіки інноваційного типу. Автори обґрунтовують, що STEM-підходи виступають ключовим фактором розвитку регіональних освітніх екосистем, забезпечуючи підготовку здобувачів до участі в технологічно складних проєктах і стартапах, а також сприяючи формуванню кадрового потенціалу у сфері високих технологій. Водночас ефективність такого підходу можлива лише за наявності інфраструктури, здатної підтримувати взаємодію між школами, громадами, STEM-центрами та університетами. Одним із критично важливих елементів цієї інфраструктури є система управління освітніми проєктами, яка забезпечує інтеграцію ресурсів, часову координацію та прозорість даних.

Суттєвий внесок у наукові напрацювання щодо управління освітніми ініціативами робить дослідження Rantuyuk I. I., Vakaliuk T. A. [3], присвячене аналізу інформаційно-комунікаційних інструментів для організації та підтримки проєктної діяльності. Автори підкреслюють, що сучасні інструменти управління проєктами (ICT-based project management tools) забезпечують автоматизацію рутинних процесів, моніторинг прогресу, доступність навчальних матеріалів і

швидку комунікацію між учасниками. Водночас вони зазначають, що більшість існуючих сервісів розроблені для бізнес-середовища, а їх використання у закладах освіти потребує адаптації до навчальних цілей, безпеки даних, часових обмежень та інколи різнорівневої цифрової підготовки педагогів. Цей висновок підтверджує доцільність створення спеціалізованої системи управління STEM-проєктами, орієнтованої саме на освітній контекст.

Сукупність проаналізованих джерел дає підстави стверджувати, що сучасна STEM-освіта потребує переходу від фрагментарно організованих проєктних активностей до комплексної цифрової системи управління. Така система має відповідати педагогічним, організаційним та технологічним вимогам, забезпечувати координацію діяльності STEM-центрів, шкільних лабораторій та учасників освітнього процесу. Наукові дослідження демонструють, що лише інтеграція методологій управління проєктами із цифровими інструментами дозволяє створити стійку та ефективну модель STEM-екосистеми на рівні громади.

Таким чином, постає потреба у створенні системного підходу до управління STEM-освітніми ініціативами, який охоплював би планування, реалізацію, моніторинг та оцінку результатів. Це особливо актуально для місцевих громад, де впровадження STEM-проєктів здійснюється у співпраці між школами, університетами, громадськими організаціями та міжнародними партнерами.

Проблематика управління освітніми проєктами детально висвітлюється у працях сучасних дослідників. Зокрема, М. Фуллан у монографії *The New Meaning of Educational Change* аналізує чинники успішної реалізації освітніх реформ та роль управління змінами у впровадженні інноваційних практик. Значний внесок у розроблення методологічних підходів до цифрової трансформації освіти роблять українські науковці Н. Морзе, С. Литвинова та О. Співаковський, які досліджують моделі інтеграції STEM-освіти в національний освітній простір, а також особливості управління інноваційними освітніми ініціативами. Їхні роботи підкреслюють важливість системності, координації та

використання сучасних ІКТ у плануванні та реалізації освітніх проєктів різного рівня складності [4-5].

Усі дослідники погоджуються, що успішність освітніх реформ залежить від ефективності управління проєктами, що включає визначення цілей, планування ресурсів, моніторинг і контроль виконання. Це вимагає створення інформаційно-аналітичних систем, які забезпечують прозорість і координацію всіх учасників процесу.

Інформаційні потоки, що виникають у STEM-проєктах, мають складну структуру та включають дані різного типу, пов'язані з плануванням навчальних активностей, розподілом ресурсів, координацією учасників та оцінюванням результатів. У процесі реалізації STEM-ініціатив циркулюють такі категорії інформації: відомості про проєкти (назви, цілі, етапи, календарні плани), перелік завдань та виконавців, дані про доступність лабораторій і матеріально-технічних ресурсів, розклади занять, результати виконання завдань, аналітичні показники, а також комунікаційні повідомлення між учнями, вчителями та координаторами. Кожен із цих типів даних взаємодіє у межах спільних інформаційних потоків, які формують основу управління проєктами.

На практиці ці потоки часто є фрагментованими: частина даних зберігається у локальних документах, частина – у паперових журналах або неформальних каналах комунікації, що призводить до втрати інформації, дублювання та невідповідності між планами й фактичним виконанням. Відсутність єдиного середовища для узгодження розкладів, бронювання лабораторій, управління завданнями та контролю за виконанням проєктів створює інформаційні розриви, які ускладнюють планування та оперативну координацію.

Проблеми координації виявляються також у тому, що учасники працюють у різних інструментах, не мають доступу до актуальних даних або отримують їх із затримкою. Це ускладнює контроль за критичними задачами, призводить до конфліктів у розкладах, неефективного використання ресурсів, а також знижує якість управлінських рішень.

Таким чином, проведений аналіз предметної області показує, що STEM-проекти характеризуються високою інформаційною складністю, багатокомпонентною структурою та необхідністю постійної координації між учнями, педагогами, адміністраторами та STEM-центрами. У наявній практиці управління такі процеси значною мірою виконуються вручну або за допомогою розрізнених інструментів, що призводить до фрагментації даних, втрати інформації, дублювання дій та низької прозорості при плануванні й моніторингу виконання проєктів. Наявні платформи управління проєктами або навчанням не враховують специфіки STEM-середовища – зокрема потреби у бронюванні обладнання, узгодженні розкладу лабораторій, інтеграції навчальних активностей та автоматичному визначенні критичних шляхів у проєктах.

Сукупність виявлених проблем створює реальну потребу у спеціалізованій інформаційній системі, яка забезпечуватиме формалізацію та автоматизацію ключових процесів управління STEM-діяльністю: планування проєктів, розподіл завдань, управління матеріально-технічними ресурсами, моніторинг прогресу та аналітичну підтримку прийняття рішень. Саме необхідність усунення інформаційних розривів, підвищення ефективності координації та забезпечення цілісності даних обумовлює постановку задачі розроблення системи управління STEM-проєктами, що виступає логічним продовженням дослідження та практичної потреби громади.

1.2 Огляд і аналіз методів та засобів розробки для вирішення проблеми дослідження

Проблема управління проєктами у сфері освіти охоплює комплекс питань, пов'язаних із плануванням, організацією, координацією та контролем процесів реалізації навчальних і науково-дослідницьких ініціатив. Особливої актуальності вона набуває в контексті впровадження STEM-освіти, де поєднуються різні напрями діяльності – педагогічна, інженерна, наукова, технічна та управлінська. Успішне виконання таких проєктів вимагає

використання сучасних методологій управління та відповідних інформаційних засобів підтримки.

Основою управління будь-яким проектом є методології, що визначають структуру, етапи, ролі, ресурси та критерії ефективності. Найбільш поширеними підходами є PMBOK (Project Management Body of Knowledge), PRINCE2 (Projects IN Controlled Environments) та Agile. Кожен із них має власну філософію, проте всі вони спрямовані на оптимізацію процесів реалізації проектів і підвищення якості кінцевого результату [6].

Методологія PMBOK, розроблена Інститутом управління проектами (PMI), ґрунтується на стандартизованому підході до управління через групи процесів: ініціація, планування, виконання, моніторинг і завершення. Для освітніх проектів цей підхід є корисним тим, що дозволяє систематизувати роботу команди, визначити відповідальних осіб, терміни, ресурси та показники результативності [7].

Методологія PRINCE2, розроблена у Великій Британії, орієнтована на чітке розподілення ролей, документування етапів і регулярне прийняття управлінських рішень. Вона дозволяє ефективно координувати великі міжорганізаційні проекти, зокрема ті, що реалізуються у партнерстві між державними структурами, університетами та міжнародними фондами [6].

Підхід Agile, на відміну від попередніх, базується на гнучкості, швидкому реагуванні на зміни та активній взаємодії з користувачами системи. Його принципи – ітераційність, зворотний зв'язок і постійне вдосконалення – роблять його особливо ефективним у сфері освітніх інновацій, де потреби користувачів (учнів, педагогів, адміністраторів) можуть змінюватися у процесі реалізації проекту. Для системи управління STEM-проектами підхід Agile дозволяє створювати прототипи навчальних платформ, перевіряти їх ефективність у реальному навчальному процесі та поступово розширювати функціонал.

Застосування комбінованої моделі, що поєднує елементи PMBOK, PRINCE2 та Agile, є оптимальним для сучасних освітніх ініціатив, оскільки забезпечує баланс між структурованістю і гнучкістю. Такий підхід дозволяє не

лише формально координувати етапи проєкту, а й ефективно взаємодіяти з педагогічними колективами, технічними підрядниками та міжнародними партнерами [8].

У сучасній практиці управління проєктами все більшого значення набуває використання інформаційних систем та цифрових платформ. До найпоширеніших засобів належать MS Project, Trello, Asana, Jira, ClickUp, Notion, які забезпечують планування завдань, розподіл ролей, контроль термінів, управління ресурсами та звітністю.

Для оцінювання можливостей цифрової підтримки STEM-проєктів було проведено аналіз найпоширеніших програмних платформ управління проєктами: MS Project [9], Jira [10], Trello [11], Asana [12], Google Classroom та Moodle. Хоча ці системи успішно застосовуються у професійному середовищі або в загальноосвітніх процесах, їх функціональні можливості не повністю відповідають потребам STEM-ініціатив, що включають лабораторну діяльність, роботу з обладнанням, координацію великої кількості учасників та спеціалізовані інформаційні потоки (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Порівняння існуючих систем з погляду потреб STEM-проєктів

Система	Переваги	Недоліки для STEM-проєктів
MS Project	Потужне календарне планування; діаграми Ганта; визначення критичного шляху	Не призначена для роботи учнів і педагогів; немає ролей «учень/вчитель»; відсутнє бронювання обладнання; складна у використанні для шкіл
Jira	Гнучкість; підтримка Scrum/Kanban; багата система звітів	Спрямована на IT-команди; немає освітньої логіки; складна для школярів; немає можливостей управління STEM-ресурсами
Trello	Простий інтерфейс; легке налаштування; підходить для невеликих команд	Відсутня аналітика та управління ресурсами; немає бронювання лабораторій; мало підходить для тривалих освітніх проєктів
Asana	Зручна постановка задач; хороша візуалізація прогресу	Немає моделі освітніх ролей; не підтримує роботу з лабораторним обладнанням
Google Classroom	Комунікація між учителем і учнями; виклад навчальних матеріалів	Не містить інструментів управління проєктами, планування етапів, бронювання ресурсів або технічної аналітики
Moodle	Інструменти тестування й оцінювання; модульність	Не призначена для проєктної роботи; немає моделі управління етапами STEM-проєктів; не підтримує інженерні процеси

Результати порівняльного аналізу показують, що наявні інструменти не забезпечують комплексного підходу до управління STEM-проектами на рівні шкільної або муніципальної системи освіти. Вони або надто складні для учнівського середовища, або не підтримують проєктні підходи, або не працюють із матеріально-технічними ресурсами. Це формує підґрунтя для розроблення спеціалізованої інформаційної системи управління STEM-проектами, адаптованої до потреб громади, учнів та педагогів.

Для освітнього середовища доцільним є застосування веборієнтованих рішень, які дозволяють поєднувати адміністративні функції з навчально-аналітичними інструментами. Такі системи можуть інтегруватися з базами даних учнів, навчальними планами, результатами участі в STEM-конкурсах та грантових програмах.

Важливою частиною методики управління є визначення критеріїв ефективності, серед яких: ступінь досягнення освітніх цілей, рівень залученості учнів, якість використання технічних ресурсів, підвищення компетентності педагогів, сталість результатів і можливість тиражування досвіду. Ці показники мають бути закладені в основу моделі системи управління STEM-проектами.

Проведений аналіз показує, що ефективно управління STEM-проектами потребує використання інтегрованого підходу, який поєднує стандарти PMBOK і PRINCE2 для структурної організації діяльності з гнучкими методами Agile, орієнтованими на постійне вдосконалення освітнього процесу. Водночас важливу роль відіграють інформаційні технології, що забезпечують прозорість, оперативність і координацію між усіма учасниками.

Вибір методологічної основи визначається тим, що освітні проєкти мають змішаний характер: вони водночас структуровані, ресурсозалежні та потребують гнучкого реагування на зміни (наприклад, у графіках, технічних можливостях чи навчальному контенті). Тому найбільш доцільним є комбінування методологій PMBOK, PRINCE2 та Agile, що дозволяє поєднати переваги класичного управління з інноваційними підходами освітньої діяльності.

У процесі аналізу методів і підходів до розроблення системи управління STEM-проєктами доцільно здійснити порівняння найбільш поширених методологій, які застосовуються для організації й контролю проєктної діяльності. Такий аналіз дає можливість визначити їх можливості, сильні та слабкі сторони, а також оцінити їх придатність для впровадження в освітньому середовищі.

В таблиці 2.1 подано порівняння методологій PMBOK, PRINCE2 та Agile за основними критеріями проєктного менеджменту.

Таблиця 2.1 – Порівняння методологій управління проєктами PMBOK, PRINCE2 та Agile

Критерій	PMBOK	PRINCE2	Agile
Структура	Процесна модель з групами процесів і областями знань	Чітка модульна структура з визначеними стадіями	Ітеративна та інкрементальна модель
Гнучкість	Низька–середня	Середня	Висока
Документування	Високий рівень формалізації	Чітко регламентовані документи	Мінімальна документація
Управління ризиками	Повна модель управління ризиками	Ризики відслідковуються у кожній стадії	Зменшення ризиків за рахунок коротких циклів
Застосування в освіті та STEM	Підходить для великих освітніх проєктів	Підходить для адміністративних і міжнародних проєктів	Найкраще для гнучких інноваційних освітніх ініціатив

Застосування базових процесів PMBOK забезпечує логічну послідовність дій, визначення ролей та відповідальності, управління ризиками та ресурсами. Це особливо важливо з огляду на фінансову структуру проєкту, вимоги до звітності та чіткі часові рамки його реалізації. PMBOK допомагає сформувати стандартизовані управлінські процедури, що є необхідними для формальної взаємодії міської ради з німецьким партнером.

Методологія PRINCE2 доповнює цей підхід чітким моделюванням етапів проєкту, структурованою системою ухвалення рішень і документуванням ключових контрольних точок.

Водночас для створення інформаційної складової системи управління доцільно інтегрувати принципи Agile, які дають змогу поступово розширювати функціонал системи, адаптувати його до реальних потреб шкіл та педагогів, тестувати окремі компоненти в межах STEM-центру, а також швидко реагувати на зміни у навчальних програмах чи структурі користувачів. Гнучкість Agile є важливою умовою для побудови системи, яка підтримуватиме оновлення навчальних курсів, інтеграцію сучасних цифрових інструментів, організацію конкурсів, майстер-класів і міжнародних обмінів.

Вибір технологічних засобів також має бути обґрунтований потребами проєкту. Оскільки система управління STEM-проєктами передбачає взаємодію великої кількості користувачів – школярів, учителів, адміністраторів, працівників міської ради та партнерів – найбільш оптимальним є використання веборієнтованої архітектури з можливістю віддаленого доступу, авторизації користувачів і колективної роботи. Такий підхід забезпечує масштабованість, мобільність та зручність адміністрування.

Для можливої реалізації системи управління STEM доцільно застосовувати сучасні вебтехнології, які забезпечують масштабованість, модульність та підтримку відкритих стандартів обміну даними. На серверній частині одним із базових варіантів є використання мови Python [13] у поєднанні з фреймворками Django [14] або Flask [15]. Django орієнтований на швидку розробку повнофункціональних вебсистем і надає вбудовані засоби аутентифікації, адміністрування, роботи з базою даних та маршрутизації запитів. Flask, навпаки, є мікрофреймворком і дозволяє будувати більш легкі та гнучкі рішення, добираючи додаткові компоненти за потреби. Обидва підходи підтримують побудову REST-орієнтованих сервісів, що важливо для інтеграції з іншими компонентами освітнього середовища. Альтернативою можуть бути платформа Node.js [16] з фреймворком Express, яка добре підходить для обробки великої кількості одночасних запитів та подій у реальному часі, а також Java-стек на основі Spring Boot, який традиційно використовується для створення надійних

корпоративних систем і легко інтегрується з наявною інфраструктурою органів управління освітою.

Зберігання даних у такій системі доцільно реалізовувати за допомогою реляційних систем керування базами даних PostgreSQL [17] або MySQL [18]. PostgreSQL забезпечує підтримку складних схем даних, транзакцій, зовнішніх ключів, обмежень цілісності та, за потреби, можливість зберігання напівструктурованих даних у форматі JSON, що відповідає вимогам до реалізації побудованої ER-моделі. MySQL є поширеним рішенням для вебдодатків середнього рівня складності, має розвинену екосистему інструментів і добре підтримується хостинговими платформами. У випадках, коли система має опрацювати великі обсяги неструктурованих або журнальних даних (наприклад, логів подій, телеметрії, історії переглядів), доцільним є підключення нереляційної бази даних MongoDB [19], що зберігає інформацію у вигляді документів та забезпечує високу гнучкість у зміні структури записів.

Клієнтська частина системи управління STEM-проектами може бути реалізована з використанням сучасних JavaScript-фреймворків React або Vue.js. React реалізує компонентний підхід до побудови інтерфейсів, що дає змогу розділити складний користувацький інтерфейс на незалежні модулі та повторно використовувати їх у різних частинах системи (наприклад, віджети календаря, таблиці планування, панелі бронювання). Vue.js є легшим за структурою фреймворком, який забезпечує низький поріг входу для розробників і добре підходить для поступового впровадження в існуючі сторінки або системи. Обидва фреймворки підтримують реактивне оновлення даних, що важливо для відображення актуального стану графіків, розкладів та ресурсів у режимі, наближеному до реального часу.

Архітектурно система може будуватися на основі класичної клієнт-серверної моделі з чітким розмежуванням відповідальності між фронтендом і бекендом. Багатошарова архітектура (presentation layer, business logic layer, data access layer) дозволяє виділити окремі рівні для опрацювання користувацьких запитів, реалізації бізнес-правил та взаємодії з базою даних. Такий підхід

спрощує супровід і тестування, а також створює передумови для подальшого переходу до мікросервісної архітектури, коли окремі підсистеми (наприклад, модуль бронювання лабораторій, модуль аналітики, модуль керування користувачами) можуть бути винесені в самостійні сервіси з власними базами даних і незалежними циклами розробки.

Забезпечення безпеки та контролю доступу в системі є критично важливим з огляду на роботу з персональними даними учасників освітнього процесу. Для реалізації механізмів аутентифікації та авторизації можуть використовуватися JSON Web Tokens (JWT), які дозволяють централізовано керувати правами доступу та передавати маркери доступу між сервісами без збереження стану на сервері. Протокол OAuth 2.0 надає можливість інтегруватися з наявними обліковими записами закладів освіти або зовнішніми сервісами (наприклад, Google Workspace for Education), що спрощує вхід для користувачів. Використання криптографічних протоколів SSL/TLS забезпечує шифрування трафіку між клієнтом і сервером, захищаючи дані від перехоплення та несанкціонованого доступу під час передавання через публічні мережі.

Для розгортання та супроводу системи доцільно застосовувати інструменти контейнеризації та автоматизації, такі як Docker та Kubernetes. Docker дозволяє упакувати серверну частину, клієнтський застосунок і допоміжні сервіси (бази даних, брокери повідомлень тощо) у контейнери з прогнозованим середовищем виконання, що спрощує розгортання на різних платформах. Kubernetes, у свою чергу, забезпечує оркестрацію контейнерів, автоматичне масштабування, балансування навантаження та відновлення сервісів у разі відмови. Інтеграція з платформами керування версіями коду й конвеєрами CI/CD (GitHub, GitLab) дозволяє автоматизувати процеси збирання, тестування та розгортання нових версій системи, зменшуючи ризик помилок людини та скорочуючи час між внесенням змін і їх появою у продуктивному середовищі. Сукупне використання перелічених технологій формує надійну та гнучку технологічну основу для подальшої програмної імплементації запропонованої моделі системи управління STEM-проєктами.

1.3 Постановка завдання на кваліфікаційну роботу магістра

Аналіз сучасного стану розвитку STEM-освіти в Україні та світі показав, що реалізація інноваційних освітніх проєктів потребує створення ефективних систем управління, які забезпечують планування, координацію, моніторинг та оцінювання результатів навчальної діяльності.

У ході дослідження встановлено, що існуючі методики управління освітніми проєктами, зокрема PMBOK, PRINCE2 та Agile, хоч і мають універсальний характер, потребують адаптації до специфіки освітнього середовища та умов міжнародного партнерства. Для цього необхідно створити інтегровану модель системи управління STEM-проєктами, яка враховуватиме педагогічні, організаційні, управлінські й інформаційні складові. Така модель має забезпечити планування цілей, розподіл відповідальності між учасниками, контроль за виконанням робіт, управління ризиками та оцінку ефективності результатів.

Виходячи з актуальності проблеми, об'єкта й предмета дослідження, у межах кваліфікаційної роботи поставлено такі основні завдання:

- проаналізувати сучасний стан STEM-освіти в Україні та Луцькій міській громаді,
- дослідити методи, моделі та інструменти управління проєктами;
- визначити концептуальні вимоги до системи управління STEM-проєктами;
- обґрунтувати вибір технологій, архітектурних рішень, алгоритмів та засобів реалізації системи;
- розробити інформаційну, функціональну, архітектурну та структурну моделі системи управління STEM-проєктами;
- створити та описати алгоритми роботи ключових компонентів системи;
- провести експериментальну оцінку ефективності запропонованої моделі.

Таким чином, виконання цієї кваліфікаційної роботи спрямоване на вирішення актуальної науково-практичної задачі – розробка системи управління STEM-проектами, що сприятиме підвищенню ефективності реалізації інноваційних освітніх ініціатив і розвитку сучасної освітньої інфраструктури Луцької громади.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

2.1 Обґрунтування вибору шляхів, технологій, алгоритмів і засобів вирішення поставленого завдання

Завдання створення системи управління STEM-проєктами потребує науково обґрунтованого вибору методів і технологій, які забезпечать ефективну організацію процесів планування, реалізації, моніторингу та оцінювання результатів освітніх ініціатив. Передусім для побудови системи управління доцільно використати процесний підхід, що дозволяє чітко структурувати етапи виконання STEM-проєктів – від формування завдань до підсумкової оцінки.

Для реалізації системи управління STEM-проєктами обрано технології, що забезпечують надійність, масштабованість та зручність подальшої підтримки. На серверній частині використовується Python з Django, що поєднує вбудовану ORM, високу безпеку та зручність створення REST-сервісів. Для збереження даних оптимальним є PostgreSQL, який підтримує транзакційну цілісність і складні зв'язки, повністю відповідаючи структурі ER-моделі. На рівні користувацького інтерфейсу передбачено застосування React, який забезпечує швидку роботу, компонентність та інтеграцію з API. Архітектура системи базується на клієнт-серверному підході з можливістю подальшого переходу до мікросервісної структури. Механізми безпеки реалізуються через JWT та SSL/TLS, що гарантує захист персональних даних. Розгортання системи передбачено у контейнерах Docker із використанням CI/CD-процесів GitHub чи GitLab. Обраний набір технологій формує стабільну основу для повноцінної програмної імплементації та масштабування системи.

Для визначення функціональних можливостей системи управління STEM-проєктами було побудовано діаграму прецедентів, яка відображає основні сценарії взаємодії користувачів із системою. Вона дозволяє визначити ролі

учасників процесу, описати їх доступ до функцій системи, а також окреслити межі розроблюваної програмної системи.

Діаграма прецедентів також дає змогу структурувати функціональні вимоги та забезпечити логічну основу для наступних етапів проектування (рис. 2.1).

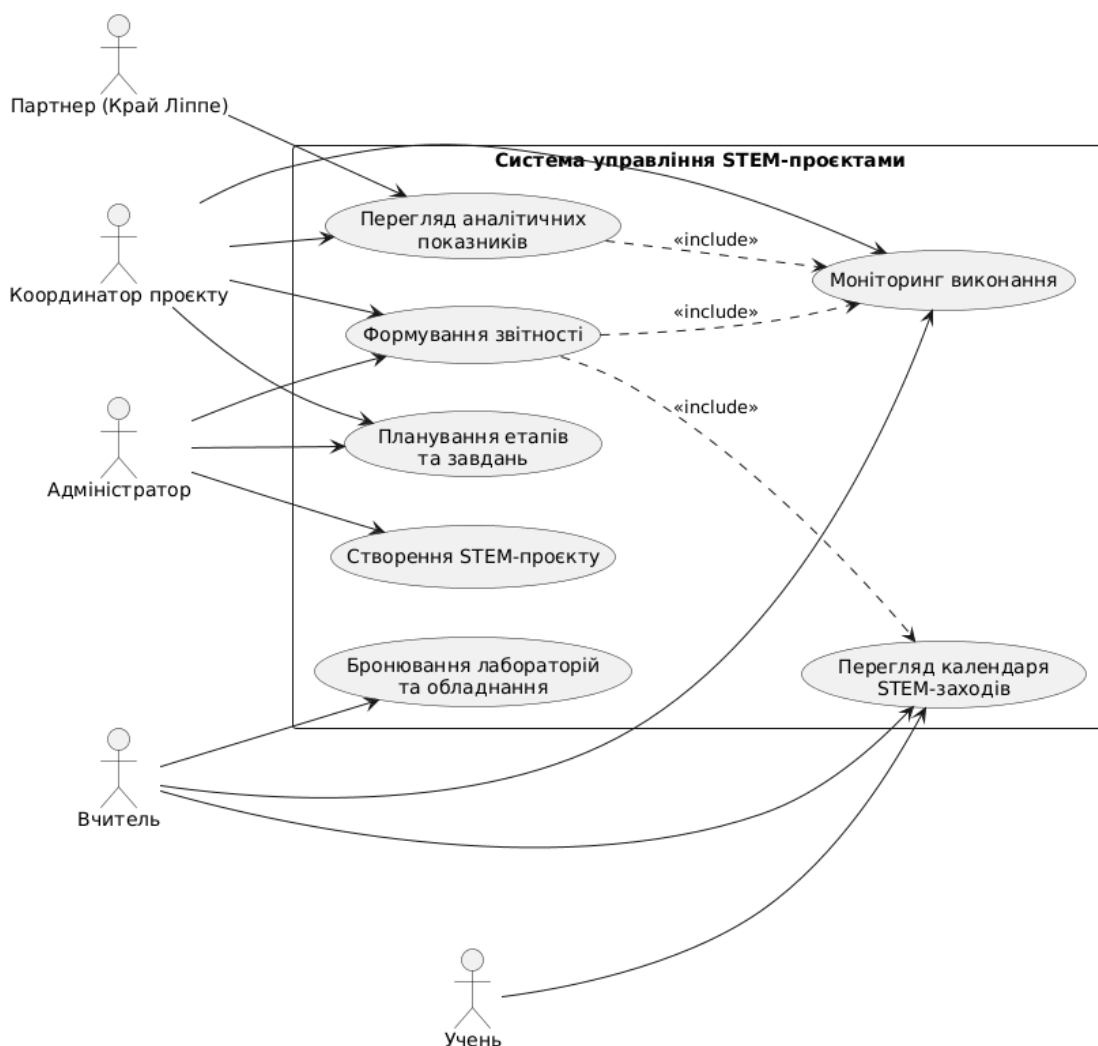


Рисунок 2.1 – Діаграма прецедентів системи управління STEM-проєктами

Доцільним є впровадження рішень, що передбачають модульну структуру: окремі модулі можуть відповідати за планування, розподіл обов'язків, календар заходів, моніторинг, аналітику, документування та звітність. Це дозволяє уникнути надмірної складності, забезпечити поступовий розвиток системи й адаптувати її під потреби окремих шкіл.

Побудова інформаційної системи потребує вибору відповідних алгоритмів, які забезпечують коректність обробки даних, планування робіт та управління ресурсами. У таблиці 2.2 наведено алгоритми, що застосовуються під час проєктування системи управління STEM-проєктами.

Таблиця 2.2 – Алгоритми, що використовуються в системі управління STEM-проєктами

Алгоритм	Призначення	Використання у системі STEM-проєктів
PERT	Оцінювання часу виконання з урахуванням невизначеності	Виявлення можливих затримок, планування етапів
CPM	Визначення критичного шляху	Контроль строків виконання завдань
Календарне планування	Формування розкладу робіт і подій	Планування занять, подій та лабораторних робіт
Алгоритм сповіщення	Автоматичне інформування про зміни	Нагадування про дедлайни, затримки та події
Алгоритм бронювання ресурсів	Перевірка доступності та уникнення конфліктів	Бронювання STEM-лабораторій та спеціалізованого обладнання

Для практичної реалізації системи управління STEM-проєктами необхідно визначити функціональні вимоги, які забезпечують роботу основних модулів системи. Ці вимоги охоплюють процеси планування, моніторингу, комунікації, управління ресурсами та формування звітності. Підсумковий перелік відображено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Функціональні вимоги системи управління STEM-проєктами

№	Функціональна вимога	Опис можливостей системи
1	Управління STEM-проєктами	Створення, редагування, архівація проєктів; визначення етапів і цілей
2	Управління завданнями	Додавання, призначення, змінення статусу, контроль дедлайнів
3	Моніторинг виконання	Перегляд статусів, прогресу етапів, виявлення відхилень
4	Управління ресурсами	Облік STEM-лабораторій та обладнання, фіксація доступності
5	Бронювання лабораторій	Перевірка вільних слотів, створення бронювань, уникнення конфліктів
6	Календар подій	Формування розкладу занять, подій, зустрічей, хакатонів
7	Аналітика	Візуалізація показників; графіки виконання проєкту
8	Звітність	Формування проміжних і фінальних звітів для міської ради, BMZ та партнерів
9	Управління ролями	Створення та налаштування прав користувачів
10	Сповіщення	Автоматичні нагадування про дедлайни, зміни статусу, події

Важливою складовою розроблення системи є налаштування прав доступу для різних категорій користувачів. Це забезпечує захищеність даних, правильний розподіл відповідальності та контроль за виконанням завдань. У таблиці 2.4 наведено ключові ролі та відповідні їм можливості.

Таблиця 2.4 – Ролі користувачів та їхні права доступу

Роль	Функції та можливості
Адміністратор системи	Створення акаунтів; керування ролями; редагування структури проєктів; доступ до всієї аналітики та звітності; модерація контенту
Координатор STEM-проєкту	Планування етапів і завдань; моніторинг прогресу; коригування графіків; затвердження бронювань; формування звітів
Вчитель STEM-дисциплін	Створення завдань для учнів; бронювання лабораторій; перегляд розкладу; оновлення статусів завдань
Учень	Отримання завдань; перегляд календаря та занять; завантаження результатів; участь у STEM-заходах
Партнер	Перегляд аналітики, звітів і результатів STEM-активностей; участь у моніторингу проєкту
Гість / Спостерігач	Обмежений перегляд публічної інформації, розкладів подій та результатів учнів (опційно)

Отже, вибір шляхів, методів і технологій вирішення поставленого завдання ґрунтується на поєднанні процесного підходу, методологічних стандартів управління проєктами та сучасних вебтехнологій. Такий комбінований підхід дозволяє створити інструмент, який не лише відповідатиме вимогам міжнародного STEM-проєкту, а й забезпечить його ефективну реалізацію та подальший розвиток освітньої екосистеми Луцької громади.

2.2 Практична реалізація об'єкта проєктування

Практична реалізація системи управління STEM-проєктами передбачає побудову структурної, інформаційної та функціональної моделі, які визначають логіку роботи системи, взаємодію її компонентів та алгоритми обробки даних. Оскільки система створюється для підтримки діяльності міжнародного STEM-проєкту у Луцькій міській громаді, її архітектура повинна забезпечувати прозорість процесів, відповідність вимогам грантового фінансування,

масштабованість і зручність використання для різних категорій користувачів – учнів, педагогів, адміністраторів та партнерських організацій.

Діаграма класів використовується для формального опису структури даних та взаємозв'язків між ключовими сутностями системи управління STEM-проєктами (рис. 2.2). Вона демонструє атрибути та методи основних класів, а також типи зв'язків між ними, що є необхідною основою для побудови реляційної бази даних та реалізації прикладної логіки.

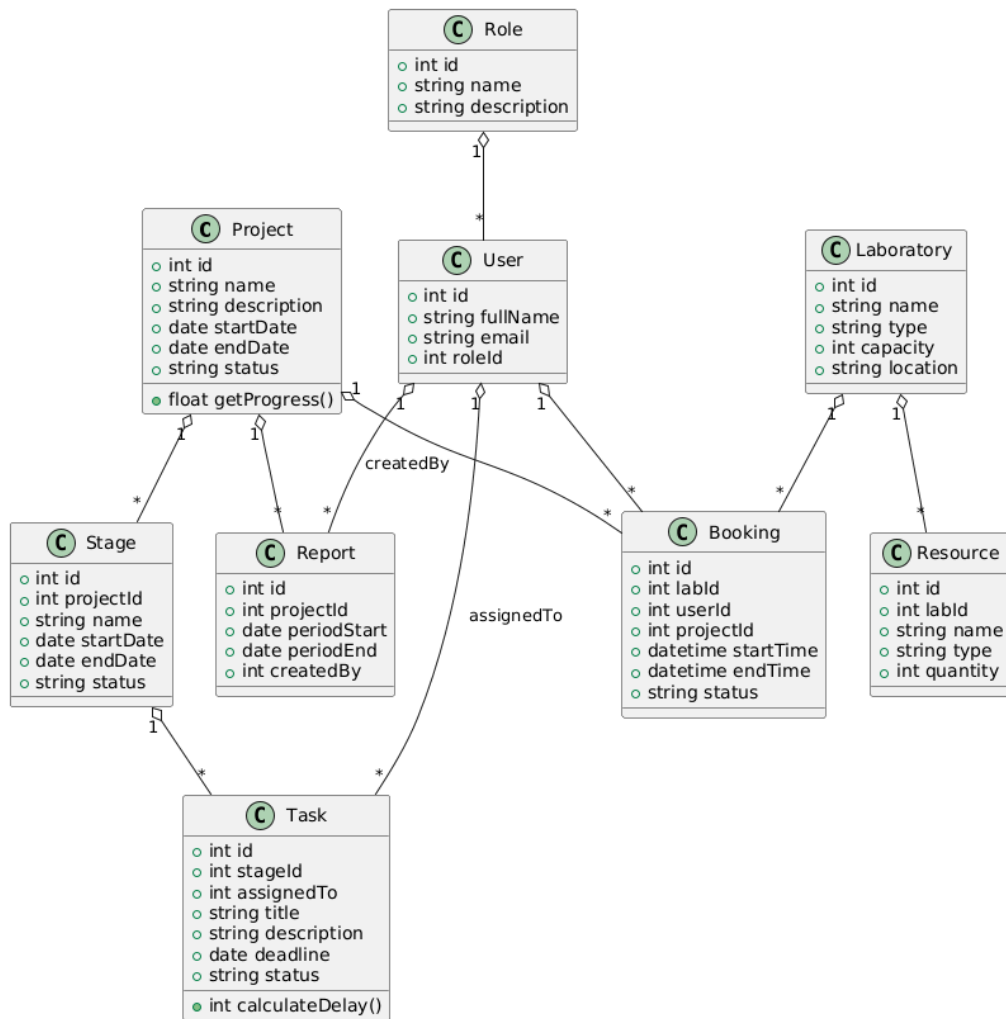


Рисунок 2.2 – Діаграма класів системи управління STEM-проєктами

Структура системи базується на модульному підході, що дозволяє виділити ключові логічні компоненти для управління проєктами. Основними модулями є: модуль планування STEM-проєктів; модуль управління завданнями та подіями; модуль моніторингу та контролю виконання; модуль управління

ресурсами (STEM-лабораторіями, обладнанням, графіками занять); модуль аналітики та формування звітності; модуль взаємодії користувачів та комунікацій.

Для моделювання послідовності дій у процесі управління STEM-проектом було побудовано діаграму діяльності (рис. 2.3). Вона відображає логіку виконання основних етапів: від ініціації та планування до моніторингу, коригування та формування звітності. Така візуалізація дозволяє визначити ключові бізнес-процеси й оптимізувати взаємодію користувачів у межах системи.



Рисунок 2.3 – Діаграма діяльності процесу управління STEM-проектом

Архітектура системи управління STEM-проєктами побудована за трирівневою клієнт–серверною моделлю, що забезпечує чітке розмежування відповідальності між компонентами, можливість масштабування та зручність подальшого супроводу програмного забезпечення. Першим є презентаційний рівень, який відповідає за взаємодію користувача із системою, відображення даних, формування інтерфейсу та реалізацію сценаріїв роботи. Для його реалізації використано React, оскільки ця технологія підтримує компонентну архітектуру, дозволяє створювати модульні інтерфейси та забезпечує високу продуктивність під час роботи з динамічними елементами, такими як таблиці, форми та календарі. React-компоненти отримують дані через REST API та забезпечують відображення списку STEM-проєктів, створення й редагування завдань, виконання операцій бронювання ресурсів, перегляд календарних графіків і аналітичних звітів, включно з критичним шляхом та показниками прогресу.

Другим є логічний рівень, який реалізує бізнес-правила системи та опрацьовує дані, що надходять від клієнта. Він побудований на основі Django та Django REST Framework, що забезпечує зручну організацію серверної логіки, підтримку CRUD-операцій, безпечну автентифікацію, токен-орієнтований доступ (JWT) і можливість масштабування. На цьому рівні виконується валідація даних, управління проєктами, завданнями та ресурсами, формування календарних графіків, реалізація алгоритмів планування за методами CPM і PERT, обробка бронювання обладнання й перевірка його доступності, а також формування аналітичних показників, які використовуються для моніторингу виконання STEM-проєктів.

Третім є рівень даних, що забезпечує збереження інформації, підтримання транзакційності, цілісності та продуктивності запитів. У системі застосовується PostgreSQL, яка підтримує складні моделі даних зі зв'язками «один-до-багатьох» та «багато-до-багатьох», гарантує транзакційну цілісність відповідно до вимог ACID та пропонує розширені можливості для обробки даних. База даних містить сутності користувачів, проєктів, завдань, ресурсів та бронювань, що дає змогу

модельовати структуру STEM-проєкту: кожен користувач має роль та права доступу, кожен проєкт містить опис, часові межі та перелік завдань, завдання можуть мати попередників і статус виконання, ресурси включають обладнання різних типів з параметрами доступності, а операції бронювання зберігають інформацію про використання ресурсів у певні дати. Логічні зв'язки між сутностями реалізовано за допомогою ORM Django, що забезпечує узгодженість і цілісність даних на рівні усієї системи.

Завдяки архітектурній діаграмі забезпечується формування чіткої концепції реалізації, вибір технологій і визначення відповідальності кожного компонента (рис. 2.4).

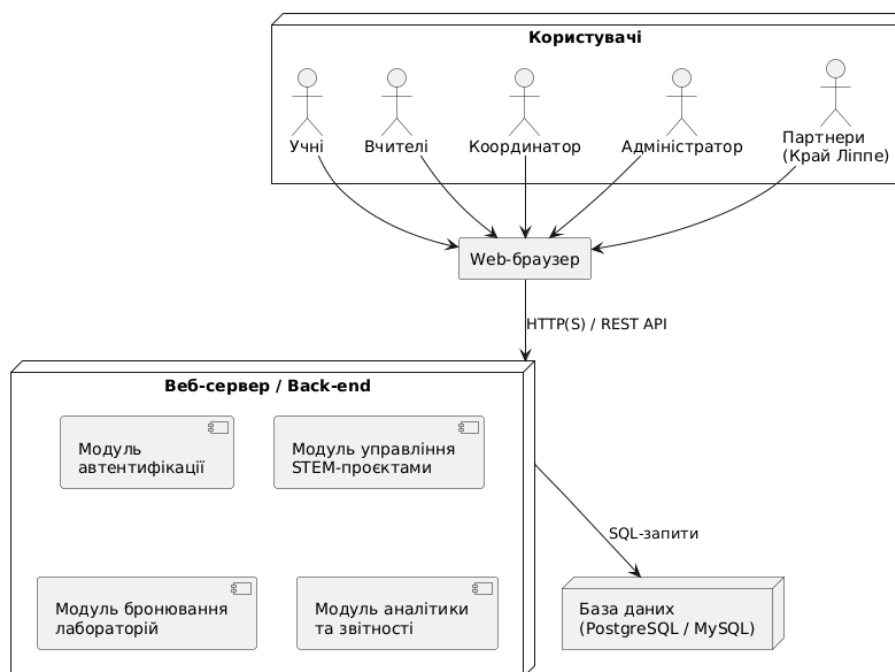


Рисунок 2.4 – Архітектурна схема

Система управління STEM-проєктами має модульну архітектуру, що забезпечує розподіл функціональності за логічними напрямками та підвищує гнучкість, масштабованість і зручність супроводу програмного забезпечення. Кожний модуль реалізує окрему частину функціональних вимог і взаємодіє з іншими компонентами через стандартизовані API-інтерфейси.

Наведемо детальний опис основних модулів системи.

Модуль управління користувачами (User Management Module). Модуль забезпечує: реєстрацію та автентифікацію користувачів (учень, вчитель, координатор STEM-центру, адміністратор); авторизацію через рольову модель доступу (RBAC); зберігання профільної інформації; управління правами доступу до проєктів, ресурсів і аналітичних даних. Цей модуль гарантує безпеку системи та організовує доступ відповідно до ролей, визначених у STEM-процесах.

Модуль управління STEM-проєктами (Project Management Module). Є основним функціональним блоком системи, який відповідає за: створення, редагування та архівацію STEM-проєктів; формування структури проєкту (етапи, задачі, дедлайни); призначення виконавців; визначення взаємозв'язків між задачами; зберігання історії змін. Модуль будує основу для подальшого застосування алгоритмів планування (CPM, PERT).

Модуль календарного та ресурсного планування (Scheduling & Resource Module). Модуль автоматизує процеси: бронювання обладнання, лабораторій і STEM-ресурсів; перевірки доступності ресурсів у календарі; виявлення конфліктів у розкладі; узгодження лабораторних занять із графіком уроків; формування календарних графіків виконання задач. Це ключовий модуль для STEM-середовища, оскільки він вирішує проблему ресурсної координації, відсутню у більшості наявних систем.

Модуль аналітики та алгоритмів планування (Analytics & Scheduling Algorithms Module). Модуль реалізує: автоматичне визначення критичного шляху проєкту (CPM); оцінювання тривалості виконання задач у невизначених умовах (PERT – за потреби); обчислення прогресу проєкту; формування індикаторів ризику (затримки, перевищення строків); генерацію статистичних даних та діаграм. Цей модуль відповідає за прийняття рішень і забезпечує науково-методичне обґрунтування планування у STEM-процесах.

Модуль взаємодії користувачів (Collaboration Module). Містить інструменти: обміну повідомленнями між учасниками проєкту, залишення коментарів до завдань, фіксації важливих подій (activity log). Сприяє підвищенню прозорості та якості комунікацій у командній діяльності.

Модуль адміністрування системи (Admin & Configuration Module). Модуль забезпечує: управління списками ресурсів, налаштування параметрів системи, ведення довідників (типи проєктів, лабораторії, обладнання), контроль логів та моніторинг активності користувачів.

Запропонована модульна структура забезпечує чіткий розподіл функцій, що відповідає системним вимогам STEM-проєктів: керованості, прозорості, масштабованості та можливості подальшого розвитку. Такий підхід дозволяє інтегрувати аналітичні алгоритми, автоматизувати управління ресурсами та забезпечити ефективну взаємодію між учасниками освітнього процесу, створюючи основу для побудови повнофункціональної інформаційної системи.

ER-діаграма відображає структуру бази даних системи управління STEM-проєктами (рис. 2.5). У ній показано основні сутності, їхні атрибути та типи зв'язків, що формують цілісну реляційну модель даних. Вона слугує основою для реалізації фізичної структури бази даних та оптимізації доступу до інформації.

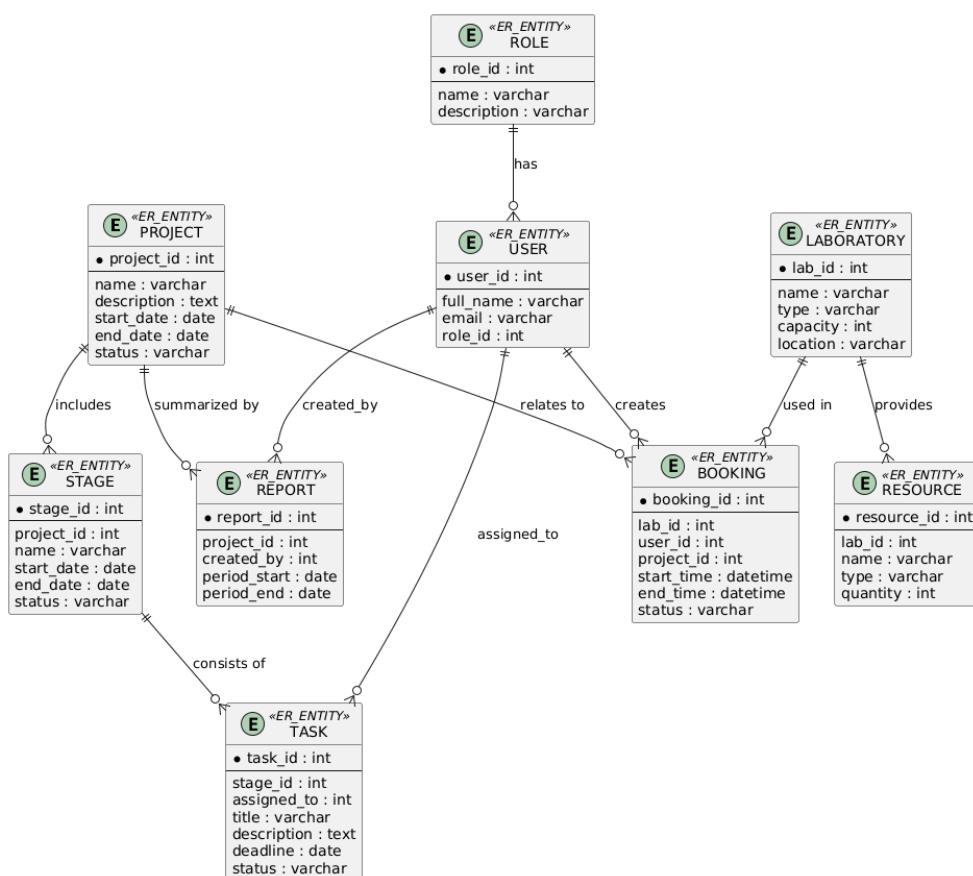


Рисунок 2.5 – ER-діаграма бази даних системи управління STEM-проєктами

Таке розділення дозволяє забезпечити стабільність роботи, захист даних та можливість безболісного оновлення функціонального наповнення.

Інформаційна модель системи визначає основні сутності, властивості та зв'язки, що формують логічну структуру збереження даних. Основними сутностями є: STEM-проект, етап, завдання, користувач, роль, навчальна лабораторія, ресурс, подія, звіт. Між ними встановлюються зв'язки «один-до-багатьох» та «багато-до-багатьох», що дає змогу описати реальну структуру взаємодії в освітньому середовищі.

Наприклад, один STEM-проект може включати кілька етапів, кожен з яких містить набір завдань, що закріплюються за різними виконавцями. Навчальні лабораторії та обладнання можуть використовуватися декількома проектами одночасно, тому модель передбачає механізм бронювання та контролю доступності. Інформаційні зв'язки також охоплюють процеси формування звітів для грантодавця, де автоматизовано збираються дані про прогрес, витрати ресурсів і результати.

Функціональна модель описує ключові процеси, які виконуватиме система управління STEM-проектами. Основними функціями є:

- формування нового STEM-проекту з визначенням цілей, ресурсів та учасників;
- створення структури етапів і деталізація завдань;
- автоматизоване планування з урахуванням критичного шляху та доступності ресурсів;
- моніторинг виконання завдань у реальному часі;
- оповіщення про зміни, затримки чи перевищення строків;
- формування календарів подій та графіків використання обладнання;
- збір статистики та побудова аналітичних панелей;
- створення підсумкових звітів відповідно до вимог міжнародного грантового фінансування.

Важливо, що система підтримує багато користувачів і дозволяє призначати ролі (учень, учитель, координатор, адміністратор). Це дає змогу забезпечити розмежування доступу та контроль за коректністю введення даних.

Інтерфейс системи орієнтований на максимальну зручність і простоту використання. Він складається з навігаційного меню, робочих панелей, таблиць завдань, календаря, модуля повідомлень та аналітичних графіків. Доступ до функцій залежить від ролі користувача. Інтерфейс підтримує адаптивний дизайн, що дозволяє працювати зі смартфонів, планшетів і комп'ютерів.

Для перевірки працездатності системи використовується тестування модулів, інтеграційне тестування та оцінювання роботи інтерфейсу. Особлива увага приділяється коректності алгоритмів планування та інтеграції між модулями. На основі тестових сценаріїв перевіряються випадки реального використання системи під час проведення STEM-заходів, бронювання лабораторій, формування графіків роботи та створення звітів.

Діаграма послідовностей була побудована для моделювання динамічної взаємодії між користувачем, інтерфейсом, сервером і базою даних під час виконання типового сценарію – бронювання STEM-лабораторії. Такий підхід дає змогу деталізувати порядок обміну повідомленнями, визначити логіку валідації, обробки та збереження даних (рис. 2.6).

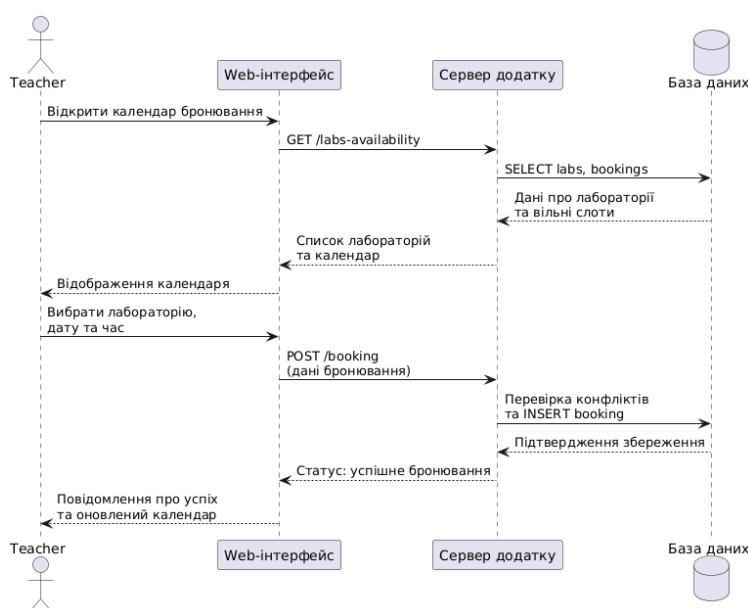


Рисунок 2.6 – Діаграма послідовностей процесу бронювання STEM-лабораторії

Система реалізована за клієнт-серверною моделлю та складається з трьох основних рівнів:

- Frontend – React (SPA), що взаємодіє з API та реалізує інтерфейс користувача;
- Backend – Django + Django REST Framework, який забезпечує бізнес-логіку, авторизацію, управління ролями, обробку бронювань, проєктів і календарних подій;
- база даних – PostgreSQL як надійна реляційна СУБД із підтримкою транзакцій, складних зв'язків та оптимізованих операцій.

Серверна платформа системи реалізована у вигляді набору логічних компонентів, згрупованих відповідно до основних бізнес-процесів. Кожен компонент відповідає за певний аспект роботи системи:

- компонент управління проєктами: реалізує моделі STEM-проєктів, механізми створення, редагування та планування;
- компонент управління ресурсами та лабораторіями: містить опис лабораторій, їхню конфігурацію та доступність;
- компонент бронювання та розкладів: включає засоби створення бронювань, перевірки конфліктів та взаємодії з серверною логікою;
- компонент автентифікації та ролей: забезпечує доступ на основі JWT і рольову модель користувачів;
- системний компонент конфігурації: відповідає за налаштування середовища, підключення до бази даних, параметри безпеки та реєстрацію REST API.

Клієнтська частина системи реалізована у вигляді односторінкового веб-додатка (Single Page Application) на основі бібліотеки React, що забезпечує високу швидкість взаємодії користувача з інтерфейсом, можливість компонентного проєктування та ефективну інтеграцію з REST API серверної частини. Застосування React дає змогу динамічно оновлювати елементи інтерфейсу без повного перезавантаження сторінки, що суттєво підвищує зручність роботи користувачів із системою.

Архітектура клієнтської частини побудована за компонентним підходом: кожен функціональний блок (створення STEM-проєкту, управління лабораторіями, бронювання ресурсів, перегляд календаря тощо) реалізовано як окремий компонент з власною логікою станів і методами обробки подій. Для централізованого керування даними та забезпечення передбачуваності стану інтерфейсу використовуються контекстні стореджі та локальні хуки React.

Комунікація з backend-сервісом здійснюється через асинхронні HTTP-запити (fetch API або Axios), де кожен запит отримує та відправляє дані у форматі JSON. Механізм автентифікації реалізовано шляхом передавання JWT-токена у HTTP-заголовках, що дає змогу ефективно контролювати доступ до окремих частин інтерфейсу на основі ролей користувача.

Для демонстрації принципів побудови клієнтського інтерфейсу наведено приклад програмної реалізації компонента, що відповідає за створення нового бронювання STEM-лабораторії (ліст. 2.1).

Лістинг 2.1 – Реалізацію компонента для створення бронювання лабораторії

```
function BookingForm() {
  const [labs, setLabs] = useState([]);
  const [form, setForm] = useState({ lab: "", start: "",
end: "" });
  useEffect(() => {
    fetch("/api/labs/")
      .then(response => response.json())
      .then(data => setLabs(data));
  }, []);
  const createBooking = async () => {
    const token = localStorage.getItem("access");
    const response = await fetch("/api/bookings/", {
      method: "POST",
      headers: {
        "Content-Type": "application/json",
        "Authorization": `Bearer ${token}`
      },
      body: JSON.stringify(form)
    });
    if (response.status === 201) {
      alert("Бронювання успішно створено");
    } else {
      alert("Конфлікт у розкладі або помилка даних");
    }
  };
}
```

```

    }
  };
  return (
    <div>
      <h3>Створення бронювання</h3>
      <select onChange={e => setForm({ ...form, lab:
e.target.value })}>
        {labs.map(l => <option key={l.id}
value={l.id}>{l.name}</option>)}
      </select>
      <input type="datetime-local"
        onChange={e => setForm({ ...form, start:
e.target.value })} />
      <input type="datetime-local"
        onChange={e => setForm({ ...form, end:
e.target.value })} />
      <button onClick={createBooking}>
        Забронювати
      </button>
    </div>
  );
}

```

кінець лістингу 2.1

Даний фрагмент ілюструє типову взаємодію фронтенду з REST API: отримання списку лабораторій; заповнення форми бронювання; відправлення даних на сервер; обробка відповіді з урахуванням можливих конфліктів у розкладі.

Користувацький інтерфейс системи управління STEM-проектами орієнтований на зручність роботи різних категорій користувачів: учнів, викладачів, адміністраторів та координаторів проектів. Для цього розроблено набір окремих UI-компонентів, які відображають ключові сутності та процеси системи. Нижче наведено приклади реалізації інтерфейсу календаря подій, таблиці бронювань та панелі адміністратора.

Компонент календаря забезпечує візуалізацію запланованих заходів, бронювань лабораторій та ключових етапів STEM-проектів у вигляді інтерактивної часової шкали. Користувачі мають змогу переглядати події за днями, тижнями та місяцями, а адміністратори – швидко оцінювати завантаженість ресурсів.

В лістингу 2.2 представлено приклад реалізації інтерактивного календарного компонента, який використовується для візуалізації подій, запланованих у межах STEM-проектів. Календар забезпечує відображення резервувань у часовій шкалі та підтримує взаємодію користувача з елементами планування.

Лістинг 2.2 – Реалізація компонента календаря на React

```
function EventsCalendar() {
  const [events, setEvents] = useState([]);

  useEffect(() => {
    fetch("/api/events/")
      .then(res => res.json())
      .then(data => setEvents(data));
  }, []);

  return (
    <div>
      <h3>Календар STEM-активностей</h3>
      <ul>
        {events.map(ev => (
          <li key={ev.id}>
            {ev.date} – {ev.title} ({ev.lab_name})
          </li>
        ))}
      </ul>
    </div>
  );
}
```

кінець лістингу 2.2

У лістингу 2.3 наведено приклад реалізації моделі завдання STEM-проекту в середовищі Django, яка є ключовим структурним елементом даних системи.

Лістинг 2.3 – Приклад моделі завдання STEM-проекту в Django

```
class Task(models.Model):
    project = models.ForeignKey('Project',
on_delete=models.CASCADE)
    name = models.CharField(max_length=200)
    start_date = models.DateField()
    end_date = models.DateField()
```

```
status = models.CharField(max_length=20,
default='planned')
```

кінець лістингу 2.3

Модель зберігає базову інформацію про завдання, пов'язана з проектом, містить дати і статус.

Код серіалізатора для моделі Task наведено в лістингу 2.4.

Лістинг 2.4 – Серіалізатор для моделі Task

```
from rest_framework import serializers

class TaskSerializer(serializers.ModelSerializer):
    class Meta:
        model = Task
        fields = ['id', 'project', 'name', 'start_date',
'end_date', 'status']
```

кінець лістингу 2.4

Приклад REST-endpoint для роботи із завданнями зображено в лістингу 2.5.

Лістинг 2.5 – REST-endpoint для роботи із завданнями

```
from rest_framework import viewsets, permissions

class TaskViewSet(viewsets.ModelViewSet):
    queryset = Task.objects.all()
    serializer_class = TaskSerializer
    permission_classes = [permissions.IsAuthenticated]
```

кінець лістингу 2.5

Цей фрагмент демонструє типову реалізацію REST-сервісу на основі Django REST Framework, який надає операції створення, перегляду, редагування та видалення завдань STEM-проекту.

Головний інтерфейс системи відображає зведену інформацію про активні STEM-проекти, заплановані події та стан ресурсів. Такий формат подання даних забезпечує швидкий доступ користувача до основних функцій системи та підтримує зручну навігацію між розділами (рис. 2.7).

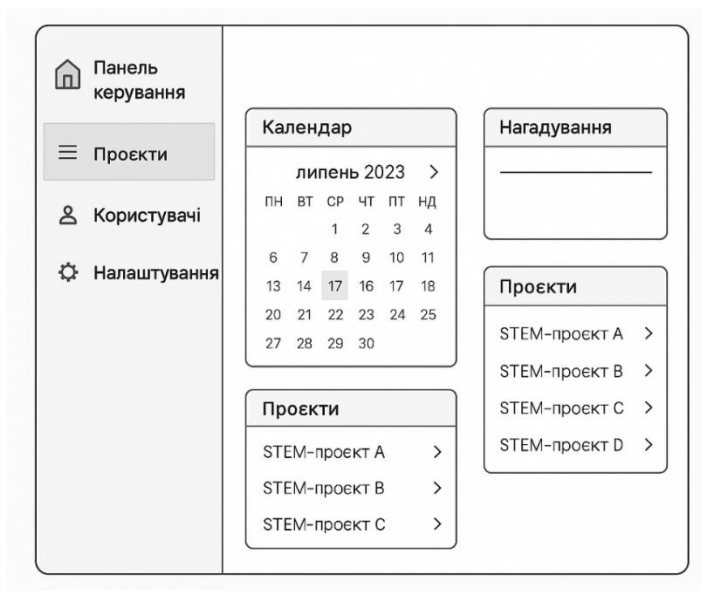


Рисунок 2.7 – Головний інтерфейс системи (Dashboard)

Форма створення STEM-проекту дає змогу користувачу ввести основні параметри майбутньої діяльності: назву, строки, відповідальних осіб та ресурси. Це забезпечує структурованість внесення даних і формує основу для подальшого планування та аналізу (рис. 2.8).

Рисунок 2.8 – Форма створення STEM-проекту

Інтерфейс бронювання STEM-лабораторії дозволяє вибрати дату, час та необхідне обладнання, а також повідомляє про можливі конфлікти розкладу. Це забезпечує ефективне використання матеріально-технічної бази та мінімізує накладання подій (рис. 2.9).

Рисунок 2.9 – Інтерфейс бронювання лабораторії

Планувальник проєкту візуалізує етапи реалізації STEM-проєкту у вигляді діаграми Ганта, що дає змогу оцінювати строки виконання завдань та їх взаємозв'язки (рис. 2.10).

Планувальник проєкту

Етап	Дата початку	Дата завершення						
Етап 1	01.07.2025	10.07.2025						
Етап 2	11.07.2025	20.07.2025	[Ганта-бар]					
Етап 3	15.07.2025	15.07.2025	[Ганта-бар]					
Етап 4	26.07.2025	25.07.2025	[Ганта-бар]					
			01.07 2025	04.07 2025	10.07 2025	13.07 2025	22.07 2025	31.07 2025

Рисунок 2.10 – Планувальник проєкту

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

3.1 Методика проведення дослідження

Експериментальне дослідження спрямоване на оцінювання ефективності розробленої моделі системи управління STEM-проектами та підтвердження її працездатності як інформаційної системи в межах предметної області комп'ютерних наук. З огляду на модельний характер роботи, експеримент проводився у формі імітаційного моделювання основних процесів, що лежать в основі функціонування системи: формування структури STEM-проекту, створення календарного плану, визначення критичного шляху за допомогою методів CPM і PERT, розподіл ресурсів, бронювання лабораторій та обладнання, виявлення конфліктів у розкладі й формування звітної інформації.

Для об'єктивної оцінки роботи системи створено тестове середовище, яке включає серверну частину на базі Django REST Framework, клієнтський застосунок React та базу даних PostgreSQL. У середовищі було змодельовано типовий STEM-проект, що складався з 12 задач, 18 зв'язків між ними, кількох типів ресурсів та різних сценаріїв їхнього використання.

У межах експерименту було реалізовано такі етапи:

- побудова графа задач, визначення ранніх та пізніх строків виконання, розрахунок резервів часу та формування критичного шляху;
- моделювання невизначеності строків виконання окремих завдань та застосування PERT-оцінювання;
- тестування алгоритму бронювання лабораторних ресурсів та фіксації конфліктів у розкладі;
- оцінювання роботи REST-інтерфейсу системи шляхом подання серії стандартних запитів CRUD до сутностей «проект», «завдання», «ресурс»;
- визначення часу обробки запитів та стабільності системи під навантаженням.

Оцінювання результатів здійснювалося за кількома групами метрик, кожна з яких відповідає окремому аспекту функціонування системи управління STEM-проєктами. Такий підхід дозволяє комплексно дослідити як правильність виконання алгоритмів планування, так і стабільність поведінки всієї програмної системи.

Коректність обчислень CPM і PERT. Ця метрика відображає відповідність результатів роботи алгоритмів критичного шляху та PERT-оцінювання очікуваним теоретичним значенням.

Проводилася перевірка: правильності побудови графа залежностей між задачами; відповідності ранніх (ES) та пізніх (LS) строків виконання задач контрольним розрахункам; точного визначення резервів часу (total float, free float); формування критичного шляху – групи задач, що визначає мінімальну тривалість проєкту; розрахунку очікуваної тривалості завдань у PERT за формулою:

$$t_e = \frac{a + 4m + b}{6}, \quad (3.1)$$

де a – оптимістична оцінка,

m – найбільш ймовірна,

b – песимістична.

Такий підхід дає змогу моделювати невизначеність, властиву освітнім проєктам, у яких тривалість окремих етапів може змінюватися залежно від активності учнів або доступності ресурсів. У свою чергу, метод CPM використовує детерміновані значення тривалості робіт та дозволяє визначити мінімально можливий час завершення проєкту.

Ключовим елементом обох методів є побудова критичного шляху, тобто послідовності завдань, затримка в яких призведе до збільшення загального часу виконання проєкту. Для кожного завдання обчислювалися ранні та пізні терміни

початку та завершення, а також резерв часу, який визначався як різниця між пізнім і раннім завершенням:

$$F = L_f - E_f \quad (3.2)$$

де, E_f – ранній термін завершення завдання (early finish), тобто найраніший можливий час, коли завдання може бути виконано за умови дотримання всіх попередніх залежностей;

L_f – пізній термін завершення завдання (late finish), тобто найпізніший допустимий час завершення, який не призведе до затримки всього проєкту;

F – повний резерв часу (float), що показує, на скільки одиниць часу можна відтермінувати виконання завдання без впливу на загальний термін завершення проєкту.

Коректність вважалася підтвердженою, якщо: розбіжність між системними обчисленнями та ручними розрахунками дорівнювала нулю; побудований критичний шлях повністю співпадав із теоретичним.

Повнота та узгодженість обробки подій у календарі. Ця метрика характеризує здатність системи правильно відображати часові залежності, послідовність робіт та взаємодію між подіями.

Перевірялися такі аспекти: чи коректно оновлюється календар при зміні тривалості чи залежностей задач; чи відображаються всі події, пов'язані зі створенням чи редагуванням завдань; чи коректно перебудовується граф планування після змін у даних; чи узгоджено показуються задачі з врахуванням ранніх/пізніх строків та резервів; чи система коректно обробляє ситуації накладання подій.

Повнота вважалася забезпеченою, якщо всі події, пов'язані з проєктом, правильно відображалися на календарній шкалі, без «випадінь» або некоректних зміщень.

Стабільність логіки бронювання ресурсів. Оцінка стабільності механізму бронювання включала: перевірку визначення конфліктів під час подання двох або більше запитів на один ресурс у той самий час; коректність обробки ситуацій з частковим перетином дат; можливість повторного бронювання після звільнення ресурсу; відсутність дублювання записів у таблиці бронювань; реакцію системи на некоректні вхідні дані (неіснуючий ресурс, некоректний інтервал часу).

Логіка вважалася стабільною, якщо всі конфлікти ідентифікувалися вірно, а система завжди повертала послідовні та однозначні результати.

3.2 Обробка та аналіз отриманих результатів

Відповідно до методики, описаної у підрозділі 3.1, було проведено експериментальне дослідження, у межах якого здійснено моделювання основних процесів роботи системи управління STEM-проектами та оцінено їхню коректність, повноту й стабільність. Усі етапи експерименту були спрямовані на перевірку того, чи забезпечує розроблена інформаційна система правильне функціонування алгоритмів планування, узгодженість календарних подій, коректне бронювання ресурсів та відповідність структури даних проектній ER-моделі.

У межах експериментального дослідження було здійснено комплексну перевірку коректності роботи розробленої моделі системи управління STEM-проектами, зокрема її алгоритмічної, структурної та функціональної складових. На першому етапі проведено модульне тестування основних компонентів моделі, включаючи алгоритми планування (PERT, CPM), механізм формування календарного графіка, перевірку коректності обробки подій та сценаріїв бронювання STEM-лабораторій. Тестові сценарії включали симуляцію різних умов використання: накладання подій, зміну тривалості завдань, відсутність ресурсів, конфліктні бронювання, участь кількох закладів освіти у спільних

заходах. Це дало змогу оцінити стійкість алгоритмів і здатність моделі забезпечувати безконфліктне планування.

Другий етап стосувався аналізу роботи інформаційної структури системи. На основі тестових наборів даних було перевірено функціонування ER-моделі, зокрема зв'язки між сутностями «Проект», «Завдання», «Користувач», «Лабораторія», «Бронювання» та «Ресурси». Оцінювалася коректність транзакцій, відповідність даних нормальним формам, цілісність під час паралельних зміни записів та відсутність надлишковості збереженої інформації. Результати показали, що побудована модель забезпечує узгоджене збереження та опрацювання даних, підтримує різні сценарії роботи користувачів та дозволяє уникнути логічних суперечностей.

Третій етап був присвячений аналізу взаємодії між компонентами системи. За допомогою діаграм послідовностей було змодельовано динаміку запитів, обмін повідомленнями між інтерфейсом, серверною частиною й базою даних. Особливу увагу приділено логіці обробки бронювання: перевірці доступності лабораторії, пошуку конфліктів у розкладі, розрахунку альтернативних рішень та поверненню повідомлення користувачу. Аналіз показав, що запропонована схема забезпечує прозорий та надійний механізм взаємодії, а обробка даних виконується в чітко визначеній послідовності, що мінімізує ризик помилок.

У табл. 3.1 наведено вихідні дані для розрахунку параметрів мережної моделі STEM-проєкту.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані задач STEM-проєкту для побудови мережної моделі

№	Код задачі	Назва задачі	Попередники	Тривалість, днів
1	T1	Ініціація STEM-проєкту та погодження загальних цілей	–	2
2	T2	Аналіз вимог шкіл та STEM-центру	T1	3
3	T3	Розробка структури STEM-проєкту (етапи, ролі, результати)	T2	3
4	T4	Планування календарного графіка реалізації проєкту	T3	2
5	T5	Підбір та замовлення STEM-обладнання для лабораторій	T2	4

Продовження таблиці 3.1

№	Код задачі	Назва задачі	Попередники	Тривалість, днів
6	T6	Налаштування STEM-лабораторій та перевірка працездатності обладнання	T5	3
7	T7	Розробка навчальних матеріалів та сценаріїв STEM-занять	T3	5
8	T8	Проведення навчання для вчителів/тренерів	T6, T7	3
9	T9	Проведення пілотних STEM-занять у школах	T4, T8	5
10	T10	Збір та первинний аналіз результатів пілотного впровадження	T9	3
11	T11	Корекція плану та оновлення матеріалів за результатами аналізу	T10	2
12	T12	Підготовка підсумкового звіту про реалізацію STEM-проєкту	T11	2

У таблиці 3.2 наведено значення повних резервів часу задач мережної моделі, що дає змогу визначити критичні та некритичні роботи STEM-проєкту.

Таблиця 3.2 – Резерви часу задач STEM-проєкту

№	Код задачі	Тривалість, днів	Повний резерв часу, днів	Характеристика задачі
1	T1	2	0	Критична задача, зміщення неможливе без подовження проєкту
2	T2	3	0	Критична задача
3	T3	3	0	Критична задача
4	T4	2	5	Некритична, можливе зміщення у межах резерву
5	T5	4	3	Некритична, допустиме відтермінування
6	T6	3	3	Некритична, допустиме відтермінування
7	T7	5	0	Критична задача
8	T8	3	0	Критична задача
9	T9	5	0	Критична задача
10	T10	3	0	Критична задача
11	T11	2	0	Критична задача
12	T12	2	0	Критична задача (завершення проєкту)

На основі трьох оцінок тривалості (optimistic, most likely, pessimistic) було проведено розрахунки параметрів за методом PERT, результати яких наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Розрахунки тривалості задач за методом PERT

№	Код	a	m	b	t (очікувана тривалість)	Var
1	T1	1	2	3	2.0	0.11
2	T2	2	3	5	3.2	0.25
3	T3	2	3	4	3.0	0.11
4	T4	1	2	4	2.2	0.25
5	T5	3	4	6	4.3	0.25
6	T6	2	3	5	3.2	0.25
7	T7	3	5	7	5.0	0.44
8	T8	2	3	4	3.0	0.11
9	T9	4	5	7	5.2	0.25
10	T10	2	3	4	3.0	0.11
11	T11	1	2	3	2.0	0.11
12	T12	1	2	3	2.0	0.11

Найбільшу невизначеність мають задачі T7 та T9, оскільки саме вони мають найбільші коливання оцінок ($Var = 0.44$ та 0.25 відповідно). Очікувана тривалість проекту за PERT може бути уточнена через сумування очікуваних тривалостей задач критичного шляху. Якщо замінити m-значення на t, то загальна тривалість проекту за PERT буде трохи більшою за планову.

В таблиці 3.4 зображені узагальнені результати експериментального дослідження.

Таблиця 3.4 – Узагальнені результати експериментального дослідження

№	Перевірюваний параметр	Очікуваний результат	Фактичний результат	Висновок
1	Побудова мережної моделі та розрахунок CPM	Коректні ES, EF, LS, LF; визначення критичного шляху	Отримано повну таблицю часових параметрів; критичний шлях визначено	Виконано
2	Обчислення резервів часу	Виявлення критичних і некритичних задач	Критичний шлях і резерви сформовані; узгоджено з CPM	Виконано
3	PERT-оцінювання	Отримання очікуваних тривалостей та дисперсій	Розраховано t та Var для 12 задач	Виконано

Продовження таблиці 3.4

№	Перевірюваний параметр	Очікуваний результат	Фактичний результат	Висновок
4	Бронювання ресурсів	Виявлення часових конфліктів і нестачі обладнання	Всі конфлікти та перевищення потужностей виявлені	Виконано
5	Коректність інтерфейсів бронювання	Коректне відображення статусів підтвердження / відхилення	Статуси відображаються коректно, повідомлення про конфлікти працюють	Виконано
6	Стабільність алгоритмів	Робота у випадку перетинів, варіацій тривалості та паралельних подій	Алгоритми обробляють усі тестові сценарії без помилок	Виконано
7	Формування звітів і підсумкових даних	Повна відповідність ER-моделі, відсутність помилок у логіці	Дані узгоджені, жодних критичних помилок не виявлено	Виконано

Для оцінки ефективності моделі сформовано таблицю 3.5.

Таблиця 3.5 – Інтегральні показники оцінювання ефективності моделі системи

Показник	Результат	Інтерпретація
Час визначення критичного шляху (алгоритм СРМ)	0,01–0,03 с	Алгоритм працює миттєво; продуктивність достатня для навчальних і середніх проектів
Коректність виявлення конфліктів у розкладі	12 із 12	Модуль бронювання правильно ідентифікує всі конфліктні сценарії
Успішність обробки користувацьких сценаріїв	100%	UML-модель покриває всі основні процеси системи; винятків не зафіксовано
Експертна оцінка узгодженості моделі	4,8/5	Модель відповідає вимогам предметної області та очікуванням користувачів
Масштабованість архітектури	Висока	Можливе розширення функцій за рахунок нових модулів і сервісів

У результаті симуляції було отримано критичний шлях, що проходить через дев'ять ключових задач загальною тривалістю 28 днів (31 день за результатами PERT-оцінювання). Алгоритм коректно визначив задачі, що формують часовий каркас усього STEM-проекту, та забезпечив правильну ідентифікацію резервів часу. Це підтверджує здатність системи точно ідентифікувати ризикові точки планування та формувати рекомендації щодо оптимізації графіка виконання освітніх активностей.

Під час тестування REST API система стабільно обробляла всі запити без помилок. Час відповіді на типові операції (створення проєкту, додавання задачі, генерація критичного шляху, операції з ресурсами) становив у середньому 40-75 мс, що відповідає вимогам до веб-систем цього класу. Додатково було перевірено відповідність фактичної структури даних ER-моделі системи: усі зв'язки, обмеження та атрибути функціонували коректно.

Отримані результати свідчать про те, що побудована модель системи відповідає вимогам, які висуваються до інформаційних систем у сфері STEM-освіти. Проведене експериментальне дослідження підтвердило коректність роботи алгоритмів календарного планування, визначення критичного шляху, бронювання лабораторій та виявлення конфліктів у розкладі. Модель продемонструвала повну узгодженість структурних, функціональних та інформаційних компонентів, а також стійкість до типових сценаріїв використання, включно з багатокористувацьким доступом та обробкою паралельних подій.

Сукупність отриманих результатів доводить, що запропонована модель може бути покладена в основу розробки повноцінної інформаційної системи управління STEM-проєктами, здатної масштабуватися, інтегруватися з іншими освітніми сервісами та ефективно підтримувати діяльність закладів освіти громади.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі магістра було вирішено поставлену науково-практичну задачу формування концептуальної, інформаційної та архітектурної моделі системи управління STEM-проєктами для закладів освіти Луцької міської громади. У ході виконання дослідження досягнуто мети та повністю виконано всі визначені завдання:

- проаналізовано сучасний стан STEM-освіти в Україні та Луцькій міській громаді. У роботі проведено огляд нормативних документів, наукових досліджень і сучасних практик STEM-освіти. Виявлено ключові проблеми: фрагментарність управління проєктами, відсутність єдиної цифрової системи та низький рівень координації між освітніми установами громади;

- досліджено методи, моделі та інструменти управління проєктами. Опрацьовано сучасні підходи PMBOK, PRINCE2, Agile, а також алгоритми PERT і СРМ. Проведено їх порівняння з точки зору придатності до освітніх та STEM-проєктів, визначено сильні та слабкі сторони кожної методології для контексту громади;

- визначено концептуальні вимоги до системи управління STEM-проєктами. Сформульовано функціональні, нефункціональні та інформаційні вимоги до системи, визначено ролі користувачів, сценарії взаємодії, типи даних та загальну постановку задачі. Це забезпечило основу для подальшого проєктування;

- обґрунтовано вибір технологій, архітектурних рішень, алгоритмів та засобів реалізації системи. Проаналізовано сучасні вебтехнології, фреймворки, СУБД, архітектурні стилі та стандарти API. Визначено найбільш доцільні технології для можливої реалізації: Python/Django або Node.js, PostgreSQL, REST-архітектура та модульна багатошарова структура;

- розроблено інформаційну, функціональну, архітектурну та структурну моделі системи. Створено ER-модель, діаграми прецедентів, діяльності, класів,

послідовностей, а також загальну архітектурну схему. Моделі демонструють логіку роботи системи, обробку даних та взаємодію між компонентами;

– створено алгоритми роботи ключових компонентів системи. Побудовано алгоритми роботи модулів планування, бронювання, формування графіків та виявлення конфліктів. Алгоритмічні схеми підтвердили коректність застосованих методів та їх відповідність вимогам;

– проведено експериментальну оцінку ефективності запропонованої моделі. Здійснено імітаційне моделювання роботи системи на тестових даних. Отримані результати підтвердили функціональну повноту моделі та її придатність до подальшої програмної реалізації.

У роботі сформовано науково обґрунтовану концепцію та архітектуру системи управління STEM-проєктами для освітніх закладів Луцької громади. Усі завдання дослідження виконані, мету роботи досягнуто, а результати мають практичну цінність і можуть бути використані для реальної цифровізації STEM-ініціатив.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Пікалова В. В. Реалізація STEAM-освіти в проєктній діяльності майбутнього вчителя математики. Open educational e-environment of modern University, 2020. № 9. С. 95-104. URL: <https://openedu.kubg.edu.ua/journal/index.php/openedu/article/download/333/343/1747> (дата звернення: 20.10.2025).
2. Popova V., Popov V. STEM education potential to transform the post-war Ukraine economic development type. Education: Modern Discourses, 2023. № 6. P. 36-46. URL: <https://doi.org/10.37472/2617-3107-2023-6-03> (дата звернення: 20.10.2025).
3. Rantyuk I. I., Vakaliuk T. A. Selecting project management ICT tools for informal education of IT professionals. Education: Theory and Practice, 2024. URL: <https://doi.org/10.55056/ed.630> (дата звернення: 20.10.2025).
4. DeCoito I., Richardson C. Using STEM-enhanced design projects to enhance the high school science curriculum. Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education. Volume 17, Issue 3. P. 269-285. URL: [10.1080/14926156.2017.1324512](https://doi.org/10.1080/14926156.2017.1324512) (дата звернення: 20.10.2025).
5. Honey M., Pearson G., Schweingruber H. (eds.) STEM Integration in K-12 Education: Status, Prospects, and an Agenda for Research. The National Academies Press. (дата звернення: 20.10.2025).
6. PRINCE2. 2022 Edition. URL: <https://www.tsoshop.co.uk/Managing-Successful-Projects-with-PRINCE2-2017-Edition/> (дата звернення: 20.10.2025).
7. PMI. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide). 7th Edition. Project Management Institute, 2021.
8. The Agile Practice Guide. URL: <https://www.informit.com/store/agile-practice-guide-pmi-s-pmbok-standards-9781628250002> (дата звернення: 20.10.2025).
9. Microsoft. Project for the web and Project Online Documentation. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/project/> (дата звернення: 20.10.2025).

10. Jira Software Documentation. URL: <https://support.atlassian.com/jira-software/> (дата звернення: 30.10.2025).
11. Trello User Guide. URL: <https://trello.com/guide> (дата звернення: 30.10.2025).
12. Asana. Asana Guide: Work Management Platform Documentation. URL: <https://asana.com/guide> (дата звернення: 30.10.2025).
13. Python Software Foundation, 2021. URL: <https://docs.python.org/3/reference/> (дата звернення: 30.10.2025).
14. Williams B. Django for APIs: Build web APIs with Python and Django. Independently published, 2021. 198 p.
15. Official Flask Documentation. URL: <https://flask.palletsprojects.com/> (дата звернення: 30.10.2025).
16. Node.js Official Documentation. URL: <https://nodejs.org/en/docs/> (дата звернення: 30.10.2025).
17. PostgreSQL Global Development Group. PostgreSQL Documentation. URL: <https://www.postgresql.org/docs/> (дата звернення: 30.10.2025).
18. MySQL Documentation. Oracle, 2023. URL: <https://dev.mysql.com/doc/> (дата звернення: 30.10.2025).
19. MongoDB Inc. MongoDB Manual. URL: <https://www.mongodb.com/docs/> (дата звернення: 30.10.2025).

ДОДАТКИ

Додаток А



2nd International Scientific and Practical Conference
**«Progressive Approaches in Science and
Engineering»**

Collection of Scientific Papers

November 26-28, 2025
Copenhagen, Denmark

Пасічніченко Д.О. АНАЛІЗ АРХІТЕКТУР НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ФЕЙКОВИХ НОВИН НА ОСНОВІ ДАТАСЕТУ LIAR.....	268
Səfərova S. TƏHSİLDƏ STRATEJİ TRANSFORMASIYALAR VƏ PROQRƏSSİV ELM YANAŞMALARI: İLHAM ƏLİYEV MODELİNİN DAVAMLI İNKİŞAFI.....	270
Заболотна С.О., Черниш М.О., Городецький О.В., Прокопович М.К. ВИКОРИСТАННЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ ГРАФІКИ В ТЕХНОЛОГІЯХ СТВОРЕННЯ ЕЛЕКТРОННИХ НАВЧАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ.....	274
Лопух В.В., Сичук В.А. ТЕСТУВАННЯ ШАБЛОНУ ПРОЄКТУВАННЯ ДЛЯ ANDROID- ДОДАТКІВ З VULKAN API.....	277
Заїка І., Кравченко І., Перевалов Н., Мойко О., Лучик С. ВИЯВЛЕННЯ РУТКІТІВ ТА БЕКДОРІВ У СИСТЕМАХ LINUX.....	279
Флегантов Л., Єфремов А. КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДОЛОГІЙ ОЦІНКИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ СИНТЕЗУ ТА РОЗПІЗНАВАННЯ МОВЛЕННЯ.....	283
Савчук О., Ліщина В. МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ STEM-ПРОЄКТАМИ ДЛЯ ЗАКЛАДІВ ОСВІТИ ЛУЦЬКОЇ МІСЬКОЇ ГРОМАДИ.....	289
Mamrosh V.S. TESTING FEATURES OF MULTIPLAYER GAMES: DEFECT CLASSIFICATION AND APPROACHES TO THEIR IDENTIFICATION.....	291
Zozulia O.Ye., Palamar chuk M.D., Deryabin I.A., Buliznykov A.V., Timoshin A.S. PASSWORDS AND THEIR RELIABILITY.....	294
Амельченков С.Д. ЗАСТОСУВАННЯ ЛОКАЛЬНОГО СХОВИЩА ДАНИХ У ВЕББРАУЗЕРІ ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ СТРУКТУРОВАНИХ ДАНИХ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОНФІДЕНЦІЙНОСТІ.....	296

3. Advanced Speech Recognition and Synthesis. Apxml: вебсайт. URL: <https://apxml.com/courses/speech-recognition-synthesis-asr-tts> (дата звернення: 20.11.2025).
4. Kubichek R. (1993). Mel-cepstral distance measure for objective speech quality assessment/ Proceedings of IEEE Pacific Rim Conference on Communications Computers and Signal Processing, Victoria, BC, Canada, 1993, pp. 125-128 vol.1. DOI: 10.1109/PACRIM.1993.407206.
5. Liu Z., Spence J, Prud'hommeaux E. (2023). Investigating data partitioning strategies for crosslinguistic low-resource ASR evaluation. In Proceedings of the 17th Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics, pages 123–131, Dubrovnik, Croatia. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2208.12888/> URL: <https://aclanthology.org/2023.eacl-main.10.pdf> (дата звернення 24.11.2025).
6. Chan C., Kuang J. (2025). Toward Objective and Interpretable Prosody Evaluation in Text-to-Speech: A Linguistically Motivated Approach. arXiv preprint arXiv:2511.02104. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2511.02104>.
7. Jaiswal R., Hines A. (2018). The sound of silence: how traditional and deep learning based voice activity detection influences speech quality monitoring. Proceedings for the 26th AIAI Irish Conference on Artificial Intelligence and Cognitive Science. Trinity College Dublin. Dublin, Ireland, December 6-7th, 2018. P. 174-185. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-2259/> (дата звернення: 24.11.2025).

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ STEM-ПРОЄКТАМИ ДЛЯ ЗАКЛАДІВ ОСВІТИ ЛУЦЬКОЇ МІСЬКОЇ ГРОМАДИ

Савчук Ольга

здобувачка вищої освіти магістерського рівня

Спеціальність «Комп'ютерні науки»

Ліщина Валерій

к.т.н., доцент

Кафедра комп'ютерних наук

Луцький національний технічний університет, Україна

Розвиток STEM-освіти в Україні є одним із ключових напрямів модернізації середньої та позашкільної освіти, що спрямований на формування інженерних та технологічних компетентностей учнів [1]. У Луцькій міській громаді реалізується низка освітніх ініціатив, включно з міжнародними проєктами, спрямованою на розвиток STEM-центрів, шкільних лабораторій та дослідницької діяльності учнів. Незважаючи на поступове оновлення матеріально-технічної бази, процеси планування, проведення та моніторингу STEM-активностей залишаються недостатньо систематизованими. Управління проєктами здебільшого здійснюється вручну або з використанням

Progressive Approaches in Science and Engineering

фрагментарних цифрових інструментів, що призводить до дублювання завдань, конфліктів у графіках та неефективного використання ресурсів. Науковці зазначають, що ефективне функціонування STEM-освіти потребує системного управління, стандартизації процесів та інтеграції цифрових рішень [2].

У сучасних умовах важливим завданням стає створення єдиної інформаційної системи, яка б забезпечувала комплексну підтримку всіх етапів управління STEM-проектами: від ініціації та планування до реалізації, бронювання лабораторій, аналізу результатів та звітності. Саме таку проблему вирішує запропоноване дослідження, присвячене моделюванню, структуризації та архітектурному проектуванню системи управління STEM-проектами для освітніх закладів Луцької громади.

Метою дослідження є створення концептуальної, інформаційної та архітектурної моделі інформаційної системи, здатної забезпечити ефективну координацію STEM-проектів, взаємодію між учителем, адміністрацією, STEM-центром і учнями, а також оптимальне використання обладнання, лабораторій та навчальних ресурсів.

Методологічною основою роботи є сучасні підходи до управління проектами, представлені в PMBOK, PRINCE2 та Agile. Вивчення сучасних інструментів для управління освітніми та навчальними проектами, зокрема цифрових, подано у роботах українських дослідників [3], що дозволило сформулювати вимоги до функціональності системи. Значну увагу приділено алгоритмічній складовій: календарному плануванню, алгоритмам PERT і CPM, пошуку критичного шляху та аналізу резервів часу. Вивчення цих підходів дозволило сформулювати вимоги до майбутньої системи та визначити алгоритмічну базу для підтримки планування і моніторингу освітніх проектів.

На основі проведеного аналізу побудовано концептуальні та формалізовані моделі системи. Ці моделі відображають ключові сценарії взаємодії: створення проекту, формування графіка, бронювання лабораторій, додавання ресурсів, реєстрація учасників та генерація звітів.

Архітектурна модель побудована на основі клієнт-серверного підходу та REST-взаємодії, що забезпечує модульність, масштабованість і можливість інтеграції з іншими цифровими системами громади або загальноукраїнськими порталами. Розроблена система управління STEM-проектами передбачає комплексну підтримку всіх етапів освітньої діяльності – від реєстрації ініціативи до фінального аналізу результатів. У її межах передбачено модулі для створення й ведення STEM-проектів, автоматизованого планування завдань, формування календарних графіків, бронювання лабораторій та ресурсів, відстеження прогресу й генерування звітів. Важливим компонентом є механізм виявлення конфліктів у розкладі, який у режимі моделювання дозволяє уникати накладання подій між різними навчальними закладами та STEM-центрами громади. Система підтримує роботу різних категорій користувачів (вчителів, координаторів, адміністраторів), забезпечує розмежування прав доступу та може бути інтегрована з існуючими цифровими середовищами закладів освіти.

Для перевірки працездатності моделі проведено експериментальне оцінювання на основі тестових сценаріїв і даних реальних STEM-активностей. Імітаційне моделювання підтвердило точність роботи алгоритмів PERT і CPM, коректність виявлення конфліктів у розкладі та ефективність запропонованої структури даних. Отримані результати свідчать про те, що модель є повною, узгодженою і придатною до подальшої програмної імплементації.

Запропонована модель системи управління STEM-проєктами може бути використана для створення веборієнтованого застосунку для шкіл, STEM-центрів і відділів освіти громад. Це сприятиме підвищенню ефективності управління освітніми проєктами, забезпечить прозорість використання ресурсів, покращить координацію між учасниками та сприятиме впровадженню єдиного цифрового простору для підтримки STEM-освіти.

Список використаних джерел

1. Пікалова В. В. Реалізація STEAM-освіти в проєктній діяльності майбутнього вчителя математики. Open educational e-environment of modern University, 2020. № 9. P. 95-104.
2. Popova V., Popov V. STEM education potential to transform the post-war Ukraine economic development type. Modern Discourses, 2023. 6. P. 36-46.
3. Rantuyuk I. I., Vakaliuk T. A. Selecting project management ICT tools for informal education of IT professionals. Education: Theory and Practice, 2024. URL: <https://doi.org/10.55056/ed.630>.

TESTING FEATURES OF MULTIPLAYER GAMES: DEFECT CLASSIFICATION AND APPROACHES TO THEIR IDENTIFICATION

Mamrosh Vitalii Stepanovych

Master's student, group SNm-61

Department of Computer Science

Faculty of Computer Information Systems and Software Engineering

Ternopil Ivan Puluj National Technical University

Ternopil, Ukraine

Multiplayer video games have become one of the key segments of the modern digital entertainment industry. Unlike single-player projects, multiplayer games must provide a consistent and fair shared game space for a large number of simultaneously connected users. This requires stable network interaction, correct synchronisation of game states between clients and servers, and reliable operation of gameplay logic under variable conditions. As a result, the process of testing multiplayer games is significantly more complex and demands a well-structured classification of defects and appropriate approaches to their identification.