

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

Факультет інформаційних технологій

Кафедра технологій управління

Спеціальність 122 «Комп'ютерні науки»

Освітньо-професійна програма «Управління проектами»

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

на тему:

«Дослідження моделей управління проектом з розробки і впровадження
програмного забезпечення для модернізації існуючих будинків за допомогою
нейронної мережі»

Студента 2-го курсу групи УПЗ-21

Науковий керівник:

К.Т.Н., доцент

(науковий ступінь, вчене звання)

Олега КРЕТА

(ім'я, прізвище)

Олександр ТІМІНСЬКИЙ

(ім'я, прізвище)

(підпис студента)

(дата)

(підпис)

Попередній захист:

(Висновок: «До захисту в Екзаменаційній комісії»)

Завідувач кафедри

технологій управління, проф. Віктор МОРОЗОВ

(підпис)

(ім'я, прізвище)

(дата)

Київ-2024

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

Факультет інформаційних технологій

Кафедра технологій управління

Освітній рівень Магістр

Спеціальність 122 Комп'ютерні науки

Освітня програма Управління проектами

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

професор Віктор МОРОЗОВ

“ ____ ” _____ 22 ____ року

**З А В Д А Н Н Я
НА ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

Студент: Крет Олег Ігорович

Група: УПЗ-21

1. Тема кваліфікаційної роботи

«Дослідження моделей управління проектом з розробки і впровадження програмного забезпечення для модернізації існуючих будинків за допомогою нейронної мережі»

Затверджена протоколом засідання кафедри ТУ від “28” червня 2024 р. № 13.

2. Строк подання студентом готової роботи - “16” грудня 2024 р.

3. Цільова установка та вихідні дані до роботи: аналіз методів, способів і засобів управління проектами задля реалізації обраного проекту; досягнення поставлених цілей і отримання запланованих результатів у межах виділеного часу та бюджету.

4. Зміст роботи:

Аналіз сучасних моделей управління проектами, обґрунтування методології, розробка концепції проекту, економічної моделі, організаційної структури, календарного плану, WBS, управління ресурсами, ризиками, фінансами та використання інструментів управління проектами.

5. Перелік графічного матеріалу (слайдів):

Мета роботи, актуальність дослідження, обґрунтування вибору методології, концепція проекту, модель організаційної структури команди проекту, фінансова модель проекту, підсумки фінансового планування, модель WBS проекту, діаграма Ганта, концептуальна модель бази даних, логічна модель бази даних, матриця ризиків, висновки.

6. Календарний план виконання роботи:

№ з/п	Назва частин роботи	План виконання роботи
1.	Вибір теми кваліфікаційної роботи	25.06.24
2.	Затвердження теми кваліфікаційної роботи та призначення наукового керівника	30.08.24
3.	Формування переліку нормативних матеріалів, літератури з проблематики кваліфікаційної роботи	09.09.24
4.	Розробка плану кваліфікаційної роботи і його погодження з науковим керівником	25.09.24
5.	Написання I розділу кваліфікаційної роботи	06.10.24
6.	Написання II розділу кваліфікаційної роботи	20.10.24
7.	Написання III розділу кваліфікаційної роботи	03.11.24
8.	Написання IV розділу кваліфікаційної роботи	17.11.24
9.	Підготовка висновків і пропозицій	24.11.24
10.	Оформлення кваліфікаційної роботи	01.12.24
11.	Передача кваліфікаційної роботи рецензенту для рецензування, перевірка на антиплагіат	11.12.24
12.	Передача кваліфікаційної роботи науковому керівникові	14.12.24
13.	Попередній захист кваліфікаційної роботи	16.12.24
14.	Захист кваліфікаційної роботи	23.12.24

Дата видачі завдання “01” вересня 2024 р.

Керівник роботи

к.т.н., доцент, Олександр ТІМІНСЬКИЙ
(посада, ім'я, прізвище)

(підпис)

Завдання прийняв до виконання студент групи УПз-21

Олег КРЕТ
(ім'я, прізвище)

(підпис)

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	6
ТАБЛИЦЯ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ	7
ВСТУП	11
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ В ГАЛУЗІ ОБ'ЄКТУ УПРАВЛІННЯ.....	14
1.1. Аналіз методів оцінки впливів зовнішніх чинників на ІТ проєкт	14
1.2. Формулювання проблемної області.....	18
1.3. Проведення аналізу літературних та інформаційних джерел щодо можливостей вирішення виявлених проблем	19
1.4. Характеристика індустрії та конкурентності в ній.....	39
1.4.1 Характеристика та SWOT аналіз конкурентів.....	40
1.4.2 Аналіз географічної поширеності та ключових переваг конкурентів..	42
1.5. Доцільність обраного проєкту	43
1.6. Аналіз та вибір методології управління проєктом	44
1.7. Обґрунтування інвестиційної привабливості проєкту	47
1.8. Стислий опис проєкту	50
1.8.1 Непрямі інвестиційні вигоди	54
РОЗДІЛ 2. ОПИС КОНЦЕПЦІЇ ПРОЄКТУ	56
2.1. Формалізація ідеї проєкту	56
2.1.1. Актуальність проєкту, проблематика сфери.....	57
2.1.2. Комунікаційна стратегія.....	59
2.1.3. Опис продуктів проєкту	64
2.1.4. Вимоги до продуктів проєкту.....	67
2.2. Команда проєкту та кошторис проєкту.	71
2.2.1. Earned value management продукту.	76
2.3. Архітектура інформаційної системи продукту проєкту.	78
2.4. Структура бази даних продукту проєкту.....	81
РОЗДІЛ 3. ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ В УПРАВЛІННІ ДОСЛІДЖУВАНИМ ПРОЄКТОМ.....	84
3.1. Управління змістом проєкту. WBS і роботи проєкту	84

3.2. Організаційна структура команди.....	84
3.3. Вигляд фінального продукту	86
3.3.1. Опис датасету	86
3.3.2. Архітектура моделі, інтерпретація результатів.	91
3.3.3. Математична модель faster R-CNN з FPN.....	94
3.3.4. Архітектура програмного забезпечення та вигляд програмного застосунку.....	96
3.3.5 Тренування моделі.....	104
3.3.6 Архітектура YOLOv5.....	108
3.3.7 Розробка UI/UX.....	112
3.4. Управління часом, діаграма Ганта	115
3.5. Управління проектом та командою за допомогою Project	119
РОЗДІЛ 4. УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ ПРОЄКТУ	125
4.1. Управління ризиками проєкту.....	125
4.2. Ідентифікація ризиків проєкту	126
4.3. Управління ризиками в Project.	128
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	136
ДОДАТКИ.....	140
Додаток А. Детальна WBS проєкту.....	140
Додаток В. Статистика продуктивності моделі	143
Додаток С. Перелік ризиків сформованих у Project 2019.	146
Додаток D. Паспорт проєкту.....	148

АНОТАЦІЯ

Метою даної роботи є розробка та впровадження моделей управління проектами для модернізації існуючих будівель із використанням нейронних мереж. Робота зосереджена на підвищенні ефективності моніторингу технічного стану будівель, оптимізації ресурсів та мінімізації ризиків у процесі модернізації. Запропонована модель інтегрує сучасні методи штучного інтелекту, зокрема згорткові нейронні мережі (CNN), для автоматизованого виявлення дефектів та прогнозування можливих ризиків.

У дослідженні проведено аналіз існуючих підходів і методологій управління проектами, оцінено вплив зовнішніх і внутрішніх чинників на основі PESTLE- та SWOT-аналізів, а також розроблено матрицю управління ризиками. Практична частина роботи включає створення пілотного проекту для апробації запропонованої моделі, результати якого демонструють її ефективність у зниженні експлуатаційних витрат і підвищенні енергоефективності будівель.

Об'єктом дослідження є процес модернізації будівель, зокрема і щодо відновлення будівельних об'єктів, що були зруйновані та/або пошкоджені внаслідок збройної агресії російської федерації проти України, в умовах використання сучасних інформаційних технологій.

Предметом дослідження є моделі управління проектами, що застосовуються для моніторингу та модернізації будівель із використанням нейронних мереж.

Наукова новизна полягає у використанні адаптивного підходу до впровадження штучного інтелекту в управління проектами модернізації будівель. Практичне значення роботи підтверджено результатами пілотного проекту, які можуть бути застосовані в інших сферах, що потребують автоматизованого моніторингу інфраструктури.

Ключові слова: управління проектами, модернізація будівель, нейронні мережі, моніторинг стану будівель, енергоефективність, штучний інтелект, PESTLE-аналіз, ризики.

ТАБЛИЦЯ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

Скорочення	Значення	Пояснення
CNN	Convolutional Neural Network	Це тип штучної нейронної мережі, яка найчастіше використовується для задач, пов'язаних із обробкою зображень, відео, аналізу тексту або сигналів.
PESTLE	Political, Economic, Social, Technological, Legal, Environmental	Це метод аналізу зовнішнього середовища, який використовується для оцінки факторів, що можуть впливати на організацію, проєкт чи бізнес.
SWOT	Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats	Це метод стратегічного аналізу, який допомагає оцінити внутрішні та зовнішні фактори, що впливають на організацію, проєкт чи бізнес.
IoT	Internet of Things	Це концепція, яка описує мережу фізичних пристроїв, підключених до Інтернету
ReLU	Rectified Linear Unit	Це функція активації, яка широко використовується в нейронних мережах для обчислення вихідного значення нейронів.
sigmoid		назва сигмоїдальної функції активації, яка широко використовується в машинному навчанні, зокрема в нейронних мережах
softmax		назва математичної функції, яка широко використовується в машинному навчанні, зокрема в нейронних мережах, для нормалізації набору чисел у вигляді ймовірностей. Назва походить від поєднання слів Soft (плавна) і Max (максимум), оскільки вона надає плавну інтерпретацію найбільшого значення у наборі чисел.
BMS	Building Management System	це система автоматизації управління будівлями, яка контролює та керує їхніми інженерними системами (опаленням, вентиляцією, кондиціонуванням, освітленням тощо).
III	Штучний інтелект	Це галузь комп'ютерної науки, яка займається розробкою систем, здатних виконувати завдання, що зазвичай вимагають людського інтелекту.
SGD	Stochastic Gradient Descent	Це один із найпоширеніших алгоритмів оптимізації, який використовується для навчання моделей у машинному навчанні, особливо в нейронних мережах.
RNN	Recurrent Neural Network	Це тип штучної нейронної мережі, спеціально розроблений для роботи з послідовними даними, такими як текст, часові ряди, аудіо або відео.
Adam	Adaptive Moment Estimation	Це популярний алгоритм оптимізації, який використовується для навчання моделей машинного навчання, зокрема нейронних мереж.

L1	L1-регуляризація	метод додавання штрафного члена до функції втрат під час навчання моделі
L2	L2-регуляризація	метод, який додає штраф до функції втрат для уникнення перенавчання моделі.
RPN	Region Proposal Network	компонент сучасних моделей для задач комп'ютерного зору, наприклад, у методах детекції об'єктів (як-от Faster R-CNN).
YOLO	You Only Look Once	назва популярного алгоритму для задач детекції об'єктів у комп'ютерному зорі.
Faster R-CNN	Faster Region-Based Convolutional Neural Network	алгоритм комп'ютерного зору для задач детекції об'єктів, який є вдосконаленням попередніх моделей R-CNN та Fast R-CNN.
BatchNorm	Batch Normalization	техніка, що використовується в глибоких нейронних мережах для прискорення навчання та стабілізації процесу оптимізації.
RNN	Recurrent Neural Network	Це тип штучної нейронної мережі, спеціально розроблений для роботи з послідовними або часовими даними, такими як текст, аудіо, відео, або фінансові часові ряди.
GAN	Generative Adversarial Network	Це тип нейронної мережі, яка використовується для генерації нових даних, схожих на вихідні
FPN	Feature Pyramid Network	Це архітектура нейронної мережі, яка використовується у задачах комп'ютерного зору
ROI	Return on Investment	показник ефективності, який вимірює прибутковість інвестицій у проєкт або ініціативу порівняно з витратами на них.
IRR	Internal Rate of Return	Це фінансовий показник, який використовується для оцінки прибутковості інвестицій або проєкту.
NPV	Net Present Value	Це фінансовий показник, який використовується для оцінки доцільності інвестицій або проєкту.
WBS	Work Breakdown Structure	інструмент у проєктному менеджменті, який використовується для розбиття проєкту на менші, керовані завдання або етапи.
KPI	Key Performance Indicator	Це вимірюваний показник, який використовується для оцінки успішності організації, проєкту, процесу або окремої особи у досягненні визначених цілей.
CV	Cost Variance	Це ключовий показник, який використовується для оцінки ефективності витрат у проєкті.
EAC	Estimate at Completion	Це ключовий показник у сфері управління проєктами, який використовується для прогнозування загальних витрат проєкту після його завершення на основі поточного стану.
SV	Schedule Variance	Це ключовий показник у методології Earned Value Management (EVM), який

		використовується для оцінки прогресу проєкту відносно його запланованого графіка.
BCWS	Budgeted Cost of Work Scheduled	Це один із ключових показників у методології управління проєктами Earned Value Management (EVM), який показує, скільки коштів мало бути витрачено на виконання запланованого обсягу роботи до певного моменту часу.
BCWP	Budgeted Cost of Work Performed	Це один із ключових показників у методології Earned Value Management (EVM), який показує, скільки вартувала виконана на даний момент робота відповідно до запланованого бюджету.
ACWP	Actual Cost of Work Performed	Це ключовий показник у методології Earned Value Management (EVM), який відображає, скільки фактично було витрачено на виконання роботи на даний момент часу.
GPU	Graphics Processing Unit	спеціалізований електронний компонент, який використовується для виконання швидких обчислень
CPU	Central Processing Unit	основний обчислювальний компонент комп'ютера, який виконує інструкції програм та управляє іншими апаратними компонентами системи.
COCO	Common Objects in Context	набір даних із зображеннями, які містять звичайні об'єкти у природних умовах.
CPI	Cost Performance Index	Це ключовий показник у методології Earned Value Management (EVM), який використовується для оцінки ефективності витрачання коштів у проєкті.
SPI	Schedule Performance Index	Це ключовий показник у методології Earned Value Management (EVM), який використовується для оцінки прогресу проєкту відносно запланованого графіка.
RPN	Region Proposal Network	Це компонент сучасних архітектур глибокого навчання, який використовується для завдань детекції об'єктів на зображеннях.
ROI	Region of Interest	Це область на зображенні, яка є важливою для аналізу або обробки в задачах комп'ютерного зору, таких як детекція об'єктів, сегментація, або класифікація.
SGD	Stochastic Gradient Descent	Це один із найпоширеніших алгоритмів оптимізації, що використовується для тренування моделей машинного навчання, включаючи нейронні мережі.
UI/UX	User Interface/ User Experience	
Фічуризація	Feature Engineering	це процес створення, відбору та трансформації характеристик (features) із сирих даних для підвищення ефективності моделі машинного навчання.

mAP	mean Average Precision	Це широко використовуваний метрик у комп'ютерному зорі, зокрема в задачах детекції об'єктів
IoU	Intersection over Union	Це метрика, яка використовується в задачах комп'ютерного зору, зокрема в детекції та сегментації об'єктів, для оцінки точності передбачених меж (bounding boxes) або сегментів.
F1	F1-score	метрикою для оцінки якості моделі машинного навчання. Вона використовується для завдань класифікації, щоб знайти баланс між точністю (Precision) і повнотою (Recall).

ВСТУП

Розвиток інформаційних технологій і впровадження інноваційних методів управління проектами стали ключовими чинниками, що визначають успіх сучасних організацій у багатьох галузях. У сфері модернізації будівель використання технологій штучного інтелекту, зокрема нейронних мереж, відкриває нові можливості для моніторингу стану будівель, підвищення їхньої енергоефективності та забезпечення комфортних умов проживання. Актуальність цієї теми зумовлена зростаючим попитом на рішення, що поєднують інноваційність, стійкість та ефективність у галузі будівництва та житлово-комунального господарства.

В умовах стрімкого розвитку урбанізації та необхідності зниження впливу на довкілля модернізація існуючих будівель є важливим напрямком. Високий рівень енергоспоживання, технічна застарілість систем життєзабезпечення та недостатня екологічність споруд вимагають впровадження нових підходів до управління проектами в будівельній сфері. Використання нейронних мереж для моніторингу стану будівель дозволяє ефективно виявляти дефекти, прогнозувати ризики та автоматизувати управління, що підвищує надійність і комфортність будівель.

Тема роботи відповідає глобальним трендам цифровізації будівництва, таким як застосування розумних будівельних систем (BMS), штучного інтелекту та Інтернету речей (IoT). Особливу актуальність ця тема набуває в контексті відновлення інфраструктури України, де модернізація будівель стає одним із пріоритетів.

Дослідження є частиною загальної програми інноваційного розвитку України в умовах діджиталізації економіки. Тема роботи узгоджується з науковими ініціативами, спрямованими на вдосконалення енергоефективних технологій, впровадження штучного інтелекту в управлінні будівельними проектами та підвищення стійкості інфраструктури. Зокрема, вона відповідає напрямкам досліджень, що здійснюються у рамках освітньо-наукових програм

кафедри технологій управління Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Метою даного дослідження є розробка та впровадження моделей управління проектами для модернізації існуючих будівель з використанням нейронних мереж, що забезпечують ефективний моніторинг стану будівель, прогнозування ризиків та оптимізацію ресурсів.

Для досягнення цієї мети необхідно виконати такі завдання:

- проаналізувати існуючі підходи та моделі управління проектами у сфері модернізації будівель;
- дослідити можливості використання нейронних мереж для моніторингу стану будівель;
- розробити модель проекту модернізації з урахуванням специфіки використання штучного інтелекту;
- оцінити ризики та розробити матрицю управління ризиками;
- провести апробацію розробленої моделі на прикладі пілотного проекту.

Об'єктом дослідження є процес модернізації будівель, зокрема і щодо відновлення будівельних об'єктів, що були зруйновані та/або пошкоджені внаслідок збройної агресії російської федерації проти України, в умовах використання сучасних інформаційних технологій.

Предметом дослідження є моделі управління проектами, що застосовуються для моніторингу та модернізації будівель із використанням нейронних мереж.

У роботі використовувалися такі методи:

- аналіз літературних джерел для вивчення існуючих моделей управління проектами;
- методи штучного інтелекту, зокрема згорткові нейронні мережі (CNN), для розробки алгоритмів моніторингу стану будівель;
- PESTLE- та SWOT-аналіз для оцінки зовнішніх і внутрішніх чинників;
- математичне моделювання для оптимізації процесів модернізації;

- експериментальні методи для перевірки працездатності розроблених рішень.

Наукова новизна роботи полягає у розробці інноваційної моделі управління проектами модернізації будівель із використанням нейронних мереж, що забезпечує підвищення ефективності виявлення дефектів та моніторингу стану будівель. Вперше було використано адаптивний підхід до інтеграції нейронних мереж у системи управління будівлями на основі аналізу технічного стану об'єктів.

Практичне значення роботи полягає у можливості впровадження розроблених моделей у проекти модернізації будівель. Це сприяє зниженню експлуатаційних витрат, покращенню енергоефективності та забезпеченню безпеки споруд. Результати дослідження можуть бути використані в інших сферах, що потребують автоматизованого моніторингу інфраструктури.

Складено план апробації моделі в практичній діяльності.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ В ГАЛУЗІ ОБ'ЄКТУ УПРАВЛІННЯ

1.1. Аналіз методів оцінки впливів зовнішніх чинників на ІТ проєкт

Аналіз впливу зовнішніх факторів на ІТ-проєкти є фундаментальним для успішного управління проєктами. Зовнішні фактори часто діють поза контролем керівників проєктів, але можуть істотно вплинути на терміни, бюджети та результати. Ось узагальнений огляд деяких загальних структур та інструментів для оцінки цих впливів.

1. Аналіз PESTLE

Проведено аналіз PESTLE проєкту, а його результати відображено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1.

PESTLE-діаграма для проєкту модернізації будівель з використанням

III

Категорія	Чинники	Вплив на проєкт
Політичні	- Політична стабільність - Урядові ініціативи щодо енергоефективності - Регуляції щодо безпеки даних - Відносини з країнами-партнерами	Політична стабільність та міжнародні відносини впливають на доступ до фінансування та можливість залучення іноземних технологій. Нові правила щодо кібербезпеки можуть вимагати додаткового налаштування системи.
Економічні	- Стан економіки та інфляція - Доступність фінансування - Курс валют та вплив на вартість обладнання - Економічні стимули для екологічних проєктів	Інфляція впливає на вартість обладнання та матеріалів, а економічні стимули можуть зробити проєкт вигіднішим. Доступність фінансування знижує фінансові ризики та допомагає підтримувати економічну стійкість проєкту.
Соціальні	- Ставлення до «зелених» технологій - Попит на енергоефективне житло - Освітній рівень та підготовка спеціалістів - Потреби внутрішньо переміщених осіб (ВПО) та соціальна напруга	Суспільна підтримка проєктів модернізації покращує сприйняття інновацій та сприяє залученню фахівців. Високий попит на енергоефективне житло серед ВПО та місцевих жителів є стимулом для модернізації.

Технологічні	- Розвиток ІТ та ІІІ в Україні - Доступність високих технологій та обладнання - Інфраструктура зв'язку (Wi-Fi, інтернет) - Досвід у розробці нейронних мереж	Високий розвиток ІТ-сектора дозволяє використовувати передові технології та сприяє залученню українських ІТ-фахівців для розробки проєкту. Стабільна інфраструктура зв'язку забезпечує надійну роботу інформаційних систем.
Юридичні	- Законодавство щодо екологічних стандартів - Захист інтелектуальної власності - Регуляції щодо будівельної галузі - Регулювання працевлаштування в умовах воєнного стану.	Юридичні вимоги до екологічних стандартів визначають ключові показники для модернізації. Законодавство щодо інтелектуальної власності захищає інновації, а регулювання працевлаштування визначає правові рамки для роботи у зоні конфлікту.
Екологічні	- Попит на енергозбереження - Наявність екологічних ресурсів - Викиди CO₂ та екологічний слід будівель - Утилізація будівельних відходів	Потреба у скороченні викидів та екологічний слід стають ключовими пріоритетами, а утилізація відходів — важливим етапом модернізації. Використання відновлюваних джерел енергії допоможе знизити вплив на довкілля.

2. SWOT-аналіз

Проведено аналіз SWOT проєкту, а його результати відображено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2.

Результати SWOT-аналізу проєкту

Категорія	Чинники
Сильні сторони (Strengths)	- Зменшення енергоспоживання та операційних витрат - Використання передових технологій (ІІІ, ІоТ) для прогнозного обслуговування - Підвищення комфорту та безпеки будівель - Підтримка державних та міжнародних ініціатив щодо енергоефективності та «зелених» проєктів - Покращення іміджу компаній та України як інноваційного центру
Слабкі сторони (Weaknesses)	- Висока вартість початкових інвестицій - Залежність від доступності висококваліфікованих фахівців та сучасних технологій - Можливі складнощі інтеграції з існуючими будівельними системами (BMS) - Тривалі терміни окупності проєкту, особливо в умовах економічної нестабільності - Вплив бюрократичних перепон і правових обмежень, особливо в умовах воєнного стану
Можливості (Opportunities)	- Зростання попиту на енергоефективні та екологічні будівлі серед орендарів та покупців

	- Підтримка держави та міжнародних організацій фінансуванням для відбудови та модернізації будівель в Україні - Інтеграція відновлюваних джерел енергії для енергетичної незалежності - Розширення проекту на інші об'єкти та регіони України після успішного пілотного впровадження - Можливість створення робочих місць та залучення місцевих фахівців
Загрози (Threats)	- Економічна нестабільність та ризик інфляції, що може підвищити вартість проекту - Знищення або пошкодження модернізованих будівель у зонах конфлікту - Нестабільність у постачанні ресурсів та технологій через кризу або санкції - Ризик кіберзагроз для систем управління будівлями - Недостатня підтримка з боку місцевої влади або зміна регуляторної політики

3. Сценарне планування проекту.

Планування сценаріїв передбачає побудову кількох вірогідних сценаріїв на основі різних комбінацій зовнішніх факторів, готуючи команду до низки потенційних майбутніх подій. Прогнозуючи найкращий, найгірший і помірний сценарії, керівники проектів можуть розробити адаптивні стратегії.

Проведено сценарний аналіз проекту, а його результати відображено в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3.

Діаграма сценарного планування для проекту модернізації будівель

Сценарій	Ключові фактори	Опис
1. Оптимістичний сценарій	Економічна стабільність, висока підтримка держави, активний розвиток технологій	- Економіка: стабільна економічна ситуація та доступність фінансування. - Технології: прискорений розвиток технологій ІТ та ІІІ в Україні, спрощення доступу до високотехнологічного обладнання. - Державна підтримка: існують численні гранти, програми для підтримки енергоефективних проектів. - Безпека: низький ризик воєнних дій у регіонах впровадження. Результат: Проект розширюється, залучаються додаткові інвестиції та нові об'єкти для модернізації.
2. Реалістичний сценарій	Збереження поточної економічної ситуації,	- Економіка: стабільність із періодичними коливаннями, помірний рівень інфляції.

	помірна підтримка держави, уповільнений розвиток технологій	- Технології: розвиток ІІІ відбувається, але обмежений доступ до сучасних рішень через фінансування. - Державна підтримка: існують деякі програми, але вони недостатні для масштабного впровадження. - Безпека: помірний рівень ризику воєнних дій у певних регіонах. Результат: Проект реалізується на окремих об'єктах, переважно у відносно стабільних регіонах.
3. Песимістичний сценарій	Економічна криза, низька державна підтримка, обмежений розвиток технологій	- Економіка: нестабільна ситуація, висока інфляція, значне обмеження фінансування. - Технології: обмеження у доступі до сучасних технологій через економічні труднощі. - Державна підтримка: відсутність державних програм для підтримки проекту, пріоритети змінені на більш критичні потреби. - Безпека: високий рівень ризику воєнних дій, загроза пошкодження об'єктів. Результат: Проект припиняється або реалізується в обмеженому масштабі.
4. Найгірший сценарій	Економічна криза, відсутність державної підтримки, військові дії в регіоні	- Економіка: глибока економічна криза, відсутність будь-якого фінансування. - Технології: практично неможливо впроваджувати технології ІІІ через обмеження у доступі до ресурсів. - Державна підтримка: повна відсутність підтримки або фінансування з боку держави. - Безпека: високий рівень загрози військових дій, евакуація персоналу з регіонів впровадження. Результат: Проект призупинено на невизначений термін, з ризиком повного скасування.

Ключові фактори, що впливають на сценарії:

- 1) Економіка: стабільність чи нестабільність економіки впливає на фінансування проекту та доступ до ресурсів.
- 2) Технології: розвиток технологій та доступність сучасного обладнання і спеціалістів.
- 3) Державна підтримка: наявність державних програм, грантів та субсидій на підтримку проектів з модернізації.
- 4) Безпека: ризик воєнних дій у регіонах впровадження проекту.

1.2 Формулювання проблемної області

Багато існуючих будівель стикаються з такими проблемами, як:

1) Неефективність: старі будівлі часто марно витрачають енергію та воду через застарілі системи та погану ізоляцію.

2) Негнучкість: їм може бути важко адаптуватися до мінливих потреб (наприклад, перехід на віддалену роботу, адаптація нових технологій).

3) Проблеми з доступністю: відсутність таких функцій, як пандуси та ліфти, може виключити людей з обмеженими можливостями.

4) Погана якість навколишнього середовища в приміщенні: застарілі системи вентиляції можуть призвести до погіршення якості повітря, негативно вплинувши на здоров'я та самопочуття.

5) Естетичне та функціональне старіння: будівлі можуть більше не відповідати сучасним стандартам естетики чи функціональності.

Зусилля з модернізації можна зосередити на кількох ключових сферах:

1) Оновлення системи опалення, вентиляції та кондиціонування повітря: заміна старих котлів на високоефективні моделі.

2) Покращення ізоляції: додавання ізоляції на стіни, дахи та вікна, щоб зменшити втрати тепла.

3) Встановлення енергоефективного освітлення: перехід на світлодіодне освітлення та використання інтелектуального керування.

4) Впровадження відновлюваних джерел енергії: інтеграція сонячних панелей або геотермальних систем.

5) Системи розумних будівель: впровадження системи управління будівлями (BMS), які використовують ІІІ для оптимізації використання енергії, освітлення та безпеки.

6) Автоматизація: автоматизація таких завдань, як керування освітленням і регулювання систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря залежно від кількості людей і умов навколишнього середовища.

Прикладами таких будівель слугують:

1) The Edge, Амстердам: ця офісна будівля вважається однією з найбільш стійких у світі, оснащена розумним освітленням, сонячними панелями та системою збору дощової води.

2) Емпайр-Стейт-Білдінг, Нью-Йорк: цей культовий хмарочос пройшов масштабну енергоефективну модернізацію, завдяки чому споживання енергії зменшилося на 40%.

1.3 Проведення аналізу літературних та інформаційних джерел щодо можливостей вирішення виявлених проблем

У джерелі [1], що є однією з найважливіших праць у сфері глибокого навчання, детально описані концепції нейронних мереж та їх реалізація, базові поняття машинного навчання, включаючи такі типи завдань: супервізоване навчання, несупервізоване навчання (unsupervised learning), розв'язання задач класифікації (classification) та регресії (regression).

Формула оптимізації моделі:

$$y = f(x; \theta) \quad (1.1)$$

де $f(x; \theta)$ – модель, що передбачає вихідні значення, x – вхідні значення, θ – параметри моделі.

Задача – мінімізувати функцію втрат $L(\bar{Y}, Y)$:

$$L(\theta) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N L(f(x_i; \theta), y_i). \quad (1.2)$$

У джерелі детально пояснюються основи нейронних мереж, такі як: шари нейронів (layers of neurons), активаторні функції (activation functions), процес зворотного поширення помилки (backpropagation).

Математична модель нейронної мережі включає формалізацію кожного шару мережі:

$$h^{(l)} = g(W^{(l)} h^{(l-1)} + b^{(l)}) \quad (1.3)$$

де $h^{(l)}$ – активації l -го шару, $W^{(l)}$ – матриця ваг l -го шару, $b^{(l)}$ – вектор зміщень, g – функція активації (наприклад ReLU, sigmoid, softmax).

$$\frac{\partial L}{\partial W^{(l)}} = \sigma^{(l)} (h^{(l-1)})^T \quad (1.4)$$

де $z^{(l)} = W^{(l)}h^{(l-1)} + b^{(l)}$, $h^{(l-1)}$ вихід активація із $(l-1)$ -го шару, $(h^{(l-1)})^T$ – транспортований вектор активацій попереднього шару для обчислення похідної.

Показує як градієнт функції втрат по відношенню до ваг $W^{(l)}$ обчислюється через помилку $\delta^{(l)}$ і активації попереднього шару $h^{(l-1)}$.

Існують популярні архітектури нейронних мереж [1], що будуть описані нижче.

Згорткові нейронні мережі (CNN): Використовуються для обробки зображень, застосовуючи згорткові операції:

$$(W * x)(i, j) = \sum_m \sum_n W(m, n) * x(i + m, j + n) \quad (1.5)$$

Рекурентні нейронні мережі (RNN): Використовуються для послідовних даних, наприклад, тексту чи часових рядів:

$$h_t = g(W_h h_{t-1} + W_x x_t + b) \quad (1.6)$$

де h_t – стан на момент t , x_t – вхідні дані.

Одним із ключових елементів книги є розділ про оптимізацію. Автори розглядають різні методи, такі як:

Стохастичний градієнтний спуск (SGD):

$$\theta \leftarrow \theta - \eta \nabla_{\theta} L(\theta) \quad (1.7)$$

де η швидкість навчання.

Адаптивні методи, такі як Adam

$$\begin{aligned} m_t &= \beta_1 m_{t-1} + (1 - \beta_1) \nabla_{\theta} L(\theta) \\ v_t &= \beta_2 v_{t-1} + (1 - \beta_2) (\nabla_{\theta} L(\theta))^2 \\ \theta &\leftarrow \theta - n * \frac{m_t}{\sqrt{v_t}} \end{aligned} \quad (1.8)$$

Регуляризація використовується для зменшення перенавчання (overfitting). У книзі обговорюються різні методи:

L_2 -регуляризація

$$L(\theta) = L(\theta) + \lambda ||\theta||^2 \quad (1.9)$$

Dropout, який випадково вимикає нейрони під час навчання.

У книзі обговорюються переваги та недоліки різних функцій активації:

$$\sigma(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (1.10)$$

ReLU (Rectified Linear Unit):

$$g(x) = \max(0, x)$$

Softmax (для багатокласової класифікації):

$$\sigma(z)_i = \frac{e^{z_i}}{\sum_{j=1}^K e^{z_j}} \quad (1.11)$$

Джерело [2] є одним із найавторитетніших джерел у сфері машинного навчання та розпізнавання образів. Вона надає глибокий огляд ймовірнісних моделей, методів класифікації, регресії, кластеризації та обробки сигналів.

Математичні формули, описані в книзі:

1. Ймовірнісний байєсовий підхід

Байєсовий підхід до класифікації:

$$P(C_k|x) = \frac{P(C_k)P(x|C_k)}{P(x)}, \quad (1.12)$$

Де $P(C_k|x)$ – ймовірність приналежності до класу C_k , $P(x|C_k)$ – ймовірність спостереження x за умовами класу C_k , $P(C_k)$ – апостеріорна ймовірність класу C_k , $P(x)$ – нормувальний фактор.

2. Регресійна модель

Регресійна модель із гауссовим розподілом для цільової змінної:

$$y(x, w) = w^T \varphi(x), \quad (1.13)$$

де w – вектор параметрів, $\varphi(x)$ – вектор базових функцій.

Лінійний дискримінант Фішера

Метод для зниження розмірності в задачах класифікації:

$w = S_W^{-1}(m_1 - m_2)$, де S_W – матриця розсіяння всередині класів, m_1 і m_2 – середні значення для класів 1 і 2.

3. Зворотне поширення помилки

Метод навчання нейронних мереж:

$$\frac{\partial L}{\partial w_j^{(l)}} = \sigma_j^{(l)} h_i^{l-1}, \quad (1.14)$$

де L – функція втрат, $w_j^{(l)}$ – вага між шарами l і $l-1$, $h_i^{(l-1)}$ – активація на попередньому шарі, $\sigma_j^{(l)}$ – помилка на шарі l .

4. Функція втрат

Функція втрат для класифікації:

$$\mathcal{L} = - \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K t_{ik} \log y_{ik}, \quad (1.15)$$

де t_{ik} – істинна мітка класу k для i – го зразка, y_{ik} – ймовірність передбачення класу k для i – го зразка.

В статті [3], де представлена архітектура ResNet (глибокої залишкової мережі), розглянуто усунення проблеми деградації, яка виникає під час тренування глибоких нейронних мереж та покращення точності класифікації зображень на великих наборах даних, таких як ImageNet.

ResNet забезпечила революційний прорив у глибокому навчанні, використовуючи залишкові зв'язки (residual connections), що дозволяють тренувати дуже глибокі моделі.

Звичайний повнозв'язний шар нейронної мережі виконує навчання за такою формулою:

$$y = F(x, \{W_i\}) + x, \quad (1.16)$$

де x – вхідні дані, $F(x, \{W_i\})$ – залишкова функція, яка навчається, де W_i – параметри шару, x додається як залишковий зв'язок.

Залишковий зв'язок дозволяє передавати інформацію напрямку, що знижує ризик втрати градієнта.

Похідна функції втрат L у залишковому блоці:

$$\frac{\partial L}{\partial x} = \frac{\partial L}{\partial y} \left(1 + \frac{\partial F(x, \{W_i\})}{\partial x} \right) \quad (1.17)$$

Додавання x (residual connection) гарантує, що градієнт буде ненульовим навіть у дуже глибоких мережах.

ResNet складається з n залишкових блоків, кожен із яких виконує:

$$y_l = F(x_l, W_l) + x_l, \quad (1.18)$$

$$x_{l+1} = f(y_l),$$

де l – номер блоку, $f(y_l)$ - нелінійна активація (наприклад, ReLU), W_l - параметри шару l .

Втрата для класифікації:

Функція втрат для класифікації на K-класах

$$\mathcal{L} = - \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K t_{ik} \log(p_{ik}) \quad (1.19)$$

де t_{ik} – істинна мітка класу k для i -го зразка (1 або 0), p_{ik} – ймовірність передбачення класу k для i -го зразка.

ResNet усуває проблему деградації глибоких мереж.

Джерело [4] охоплює YOLO - це архітектура для розпізнавання об'єктів у реальному часі.

Вона ділить зображення на сітку $S \times S$, де кожен осередок відповідає за передбачення межових рамок (bounding boxes) і класів.

YOLO забезпечує високу швидкість і точність одночасного передбачення місць розташування об'єктів і їх категорій, що ідеально підходить для застосувань у реальному часі.

Унікальність YOLO в тому, що воно виконує виявлення об'єктів за один прохід через мережу, тоді як інші підходи потребують багатьох проходів.

Вихідний тензор YOLO: Результат передбачення має розмір: $S \times S \times (B \times 5 + C)$,

де: S — кількість сіткових осередків, B — кількість межових рамок (bounding boxes) на кожен осередок, C — кількість класів об'єктів, 5 представляє $(x, y, w, h, \text{confidence})$, де: (x, y) — центр рамки, (w, h) — ширина та висота рамки, confidence — впевненість у присутності об'єкта.

Функція втрат YOLO: Для оптимізації YOLO використовується функція втрат, яка включає кілька складових:

$$\begin{aligned} \mathcal{L} = & \lambda_{coord} \sum_{i=0}^{S^2} \sum_{j=0}^B 1_{ij}^{obj} [(x_i - \hat{x}_i)^2 + (y_i - \hat{y}_i)^2] + \\ & \lambda_{coord} \sum_{i=0}^{S^2} \sum_{j=0}^B 1_{ij}^{obj} \left[\left(\sqrt{w_i} - \sqrt{\hat{w}_i} \right)^2 + \left(\sqrt{h_i} - \sqrt{\hat{h}_i} \right)^2 \right] + \sum_{i=0}^{S^2} \sum_{j=0}^B 1_{ij}^{obj} [C_i - \\ & \hat{C}_i]^2 + \lambda_{noobj} \sum_{i=0}^{S^2} \sum_{j=0}^B 1_{ij}^{noobj} [(C_i - \hat{C}_i)^2] \end{aligned} \quad (1.20)$$

λ_{coord} і λ_{noobj} – вагові коефіцієнти, I_{ij}^{obj} – індикатор чи містить осередок об’єкт, (x,y,w,h) — координати рамки, які мережа повинна передбачити, C_i – впевненість у наявності об’єкта.

Інтеграція RPN із Faster R-CNN забезпечує швидке і точне виявлення об’єктів.

Faster R-CNN — це високотехнологічний підхід для детекції об’єктів, який поєднує точність із швидкістю, підходячи для багатьох практичних завдань.

Математичний аспект:

Функція втрат Faster R-CNN: Faster R-CNN використовує спільну функцію втрат для класифікації та регресії рамок:

$$L = L_{cls} + \lambda L_{reg}, \quad (1.21)$$

де L_{cls} – функція втрат класифікації: $L_{cls} = - \sum_i t_i \log(p_i)$, де t_i - істинний клас, p_i – передбачувана ймовірність, L_{reg} – функція втрат для регресії рамок:

$$L_{reg} = \sum_{i \in \{x,y,w,h\}} smooth_{L1}(t_i - \hat{t}_i), \quad (1.22)$$

де $smooth_{L1}(x) = 0.5x^2$ якщо $|x| < 1$, і $|x| - 0.5$, якщо $|x| \geq 1$.

Ця джерело [6] охоплює огляд сучасних методів об’єктного детекшена, таких як Faster R-CNN, YOLO, SSD.

Метрики, які часто використовуються для оцінки моделей об’єктного детекшена:

Mean Average Precision (mAP):

$$mAP = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N AP_i, \quad (1.23)$$

де AP_i - середня точність для i – го класу, N – кількість класів.

Intersection over Union (IoU):

$$IoU = \frac{Area\ of\ Overlap}{Area\ of\ Union} \quad (1.24)$$

IoU використовується для порівняння передбачених і реальних рамок (bounding boxes).

В джерелі [7] представлено основи згорткових нейронних мереж (CNN), які стали ключовою технологією в комп’ютерному зорі.

Функція для обчислення виходу на l -му шарі CNN:

$$h^{(l)} = \sigma(W^{(l)} * h^{(l-1)} + b^{(l)}) \quad (1.25)$$

$h^{(l)}$ – вихід l-го шару, $W^{(l)}$ - ваги фільтрів l-го шару, $b^{(l)}$ – зсув (bias), σ – функція активації (наприклад, ReLU або сигмоїда), $*$ – операція згортки.

Джерело [8] використовує математичний апарат для пояснення основ нейронних мереж та глибокого навчання, але робить це доступно, з акцентом на інтуїтивне розуміння. Ось деякі ключові математичні концепції та формули, представлені в книзі:

1. Перцептрони:

Модель перцептрона: $\text{output} = \{0 \text{ якщо } w * x + b \leq 0, 1 \text{ якщо } w * x + b > 0\}$, де w – вектор ваг,

x - вектор входів, b - зсув (bias).

Функція активації: Ступінчаста функція Хевісайда.

2. Сигмоїдні нейрони:

Сигмоїдна функція активації:

$$\sigma(z) = \frac{1}{1 + e^{-z}} \quad (1.26)$$

Вихід нейрона: $\text{output} = \sigma(w \cdot x + b)$

3. Функція втрат:

Квадратична функція втрат:

$$C = \frac{1}{2n} \sum_x ||y(x) - a||^2, \quad (1.27)$$

де $y(x)$ - бажаний вихід, a - фактичний вихід мережі.

4. Стохастичний градієнтний спуск:

Оновлення ваг:

$$W_k \rightarrow w'_k = w_k - \eta \frac{\partial C}{\partial w_k}, \quad b_l \rightarrow b'_l = b_l - \eta \frac{\partial C}{\partial b_l}, \quad (1.28)$$

де η – швидкість навчання.

5. Зворотне поширення помилки:

Обчислення градієнтів: Алгоритм зворотного поширення для ефективного обчислення градієнтів функції втрат по відношенню до ваг та зсувів.

6. Архітектури нейронних мереж:

Багатошарові перцептрони (MLP): Мережі з декількома шарами нейронів.

Згорткові нейронні мережі (CNN): Мережі, спеціалізовані для обробки зображень, з використанням згорток.

Джерело [9] в основному фокусується на емпіричному аналізі впливу глибини мережі на точність класифікації зображень.

Джерело [10] представляє Adam - ефективний алгоритм оптимізації, що широко використовується для навчання нейронних мереж. Ось ключові математичні аспекти алгоритму:

1. Моменти:

Перший момент (оцінка середнього градієнта):

$$m_t = \beta_1 m_{t-1} + (1 - \beta_1) g_t, \quad (1.29)$$

де g_t градієнт на кроці t , β_1 – параметр згладжування (зазвичай 0.9).

Другий момент (оцінка середнього квадрата градієнта):

$$v_t = \beta_2 v_{t-1} + (1 - \beta_2) g_t^2, \quad (1.30)$$

де β_2 – параметр згладжування (зазвичай 0,999)

2. Корекція зміщення:

Корекція зміщення для першого моменту:

$$\hat{m}_t = \frac{m_t}{1 - \beta_1^t} \quad (1.31)$$

Корекція зміщення для другого моменту:

$$\hat{u}_t = \frac{v_t}{1 - \beta_2^t} \quad (1.32)$$

3. Оновлення параметрів:

Оновлення ваг:

$$\theta_{t+1} = \theta_t - \frac{\eta}{\epsilon + \sqrt{\hat{u}_t}} \quad (1.33)$$

де η - швидкість навчання, ϵ - мале значення для запобігання ділення на нуль (зазвичай $1e-8$).

Переваги Adam:

1) Ефективність: Adam часто демонструє швидшу збіжність порівняно з іншими алгоритмами оптимізації, такими як стохастичний градієнтний спуск.

Адаптивність: Adam автоматично адаптує швидкість навчання для кожного параметра, враховуючи минулі градієнти.

Простота налаштування: Adam має відносно мало гіперпараметрів і часто працює добре з налаштуваннями за замовчуванням.

Adam широко використовується для навчання різних типів нейронних мереж, включаючи згорткові нейронні мережі (CNN), рекурентні нейронні мережі (RNN) та генеративні змагальні мережі (GAN).

Batch Normalization (BatchNorm) [11] — техніка для прискорення навчання глибоких мереж шляхом стабілізації розподілу активацій на кожному шарі під час тренування.

Зменшує "internal covariate shift" — зміни у розподілі вхідних даних між шарами через оновлення ваг.

Значно прискорює навчання мереж.

Зменшує залежність від ініціалізації ваг.

Дозволяє використовувати вищі швидкості навчання та спрощує регуляризацию.

Основна формула Batch Normalization

Для кожного нейрона на l -му шарі, вхідний тензор x нормалізується за допомогою:

$$\hat{x}_i = \frac{x_i - \mu_B}{\sqrt{\sigma_B^2 + \epsilon}}, \quad (1.34)$$

де x_i — активація i -го нейрона в шарі, $\mu_B = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_i$ — середнє значення активацій у батчі, $\sigma_B^2 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (x_i - \mu_B)^2$ — дисперсія активацій у батчі, ϵ — мале значення для уникнення ділення на нуль, m — розмір міні батчу.

Масштабування та зсув

Після нормалізації додаються параметри масштабування γ і зсуву β , які навчаються:

$$y_i = \gamma \hat{x}_i + \beta \quad (1.35)$$

де γ — параметр масштабування (trainable), β — параметр зсуву (trainable), y_i — нормалізоване значення, яке передається далі.

Нормалізовані активації уі використовуються в подальших обчисленнях, таких як передача через нелінійність (наприклад, ReLU):

$$z^{(l+1)} = \sigma(W^{(l)}y^{(l)} + b^{(l)}) \quad (1.36)$$

Де $W^{(l)}, b^{(l)}$ – ваги та зсуви l – го шару, σ – функція активації.

Нормалізація зменшує коливання градієнтів, що дозволяє використовувати більші швидкості навчання.

Регуляризація: BatchNorm має легкий регуляризуючий ефект, оскільки додає стохастичність через варіативність батчів.

AlexNet — одна з перших глибоких згорткових нейронних мереж (CNN) [12], яка досягла значного покращення у класифікації зображень на ImageNet.

Введення інноваційних методів, таких як Dropout, ReLU, та використання GPU для прискорення обчислень.

AlexNet використовує 5 згорткових шарів та 3 повнозв'язні шари з нелінійними функціями активації.

Згортковий шар (Convolutional Layer):

$$h^{(l)} = \sigma(W^{(l)} * h^{(l-1)} + b^{(l)}) \quad 1.37$$

де $h^{(l-1)}$ вхідний тензор ($l-1$ й шар), $W^{(l)}$ ядро згортки, $b^{(l)}$ – вектор зсуву, $*$ - операція зсуву, σ нелінійна функція активації (ReLU).

Функція активації (ReLU):

$$\sigma(x) = \max(0, x) \quad (1.38)$$

Використання ReLU замість сигмоїдальної функції значно прискорило збіжність під час навчання.

Підвибірка (Max-Pooling): Для зменшення просторових розмірів використовувалася підвибірка:

$$y_{i,j} = x_{i+m,j+n} \quad (1.39)$$

Dropout застосовується у повнозв'язних шарах для уникнення перенавчання:

$$h_i = z_i * h_i \quad (1.40)$$

де $z_i \sim \text{Bernoulli}(p)$.

Для класифікації використовувалася функція крос-ентропії:

$$L = -\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sum_{c=1}^C y_{i,c} \log(\hat{y}_{i,c}) \quad (1.41)$$

де $y_{i,c}$ істинна ймовірність класу c для i -го зображення, $\hat{y}_{i,c}$ передбачувана ймовірність класу c , N кількість зображень у батчі, C кількість класів.

Дослідження здатності глибоких нейронних мереж до узагальнення навіть за відсутності класичних механізмів регуляризації [13].

Глибокі нейронні мережі можуть апроксимувати будь-яку функцію (універсальна апроксимація). Для формального визначення, нехай:

f_0 функція, параметризована вагами нейронної мережі θ , $L(f_0(x), y)$ функція втрат.

Тренування спрямоване на мінімізацію емпіричної функції втрат:

$\hat{\theta} = \operatorname{argmin}_{\theta} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mathcal{L}(f_0(x_i), y_i)$, де n : кількість тренувальних прикладів, (x_i, y_i) : пара даних (вхід і мітка).

Теоретично узагальнююча здатність залежить від розриву між емпіричним ризиком і справжнім ризиком:

$$R_{f_0} - \hat{R}_{f_0} \quad (1.42)$$

де $R_{f_0} = E_{(x,y)}[L(f_0(x), y)]$ справжній ризик, $\hat{R}_{f_0} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L(f_0(x_i), y_i)$ емпіричний ризик.

Дослідники показали, що навіть на випадково перемішаних мітках y_i , нейронні мережі можуть досягати нульового емпіричного ризику:

$$\hat{R}_{(f_0)} = 0 \quad (1.43)$$

Це демонструє, що нейронні мережі мають високу ємність для запам'ятовування даних.

Класичні методи регуляризації (наприклад, L1 -регуляризація або L2 -регуляризація) часто не використовуються або мають мінімальний вплив у глибоких моделях:

$$L_{reg}(f_0) = L(f_0(x), y) + \lambda ||\theta||_2^2 \quad (1.44)$$

де λ — коефіцієнт регуляризації.

Однак нейронні мережі здатні узагальнювати, навіть якщо регуляризація відсутня.

Алгоритми, такі як SGD, відіграють ключову роль у виборі ваг:

$$\theta_{t+1} = \theta_t - \eta \nabla_{\theta} L(f_{\theta}(x), y) \quad (1.45)$$

де η швидкість навчання, ∇_{θ} градієнт функції втрат.

Перенавчання не обов'язково означає погане узагальнення: Нейронні мережі добре працюють навіть після повного запам'ятовування тренувальних даних.

Дослідження глибини нейронних мереж як вирішального фактору їхньої експресивної потужності [14].

Глибока нейронна мережа з L шарами можна описати як композицію функцій:

$$f(x) = f_L(f_{L-1}(\dots f_1(x))) \quad (1.46)$$

де $f_i(x) = \sigma(W_i x + b_i)$, W_i – ваги, b_i – зміщення, σ – активаційна функція.

Мережа може апроксимувати складні функції шляхом композиції простих нелінійностей.

Експресивна потужність визначається кількістю різноманітних функцій, які може реалізувати нейронна мережа.

У цій роботі введено метрику різноманітності функцій, яка визначається як:

$$\text{Diversity} = \frac{\text{Number of unique regions formed in input space}}{\text{Input space size}} \quad (1.47)$$

Глибокі моделі мають експоненційно більшу різноманітність порівняно з неглибокими.

Для глибоких мереж з ReLU активацією, кількість областей простору, що можуть бути розділені мережею, описується як:

$$R(L, n) = \sim \frac{n^L}{L!} \quad (1.48)$$

де L кількість шарів, n кількість нейронів на шарі.

Ця формула показує, що збільшення кількості шарів L експоненційно збільшує здатність нейронної мережі створювати складні розділення.

Для завдання апроксимації функцій, глибока мережа з L шарами може ефективно реалізувати функції, для яких неглибока мережа (наприклад, з $\log L$ шарами) потребуватиме експоненційно більше нейронів.

Глибока модель: $O(L)$ шарів, $O(n)$ нейронів.

Неглибока модель: $O(\log L)$ шарів, $O(n^L)$ нейронів.

Якщо збільшувати ширину (кількість нейронів n) у неглибокій мережі, це може компенсувати відсутність глибини, але з експоненційними витратами. Глибокі мережі ефективно використовують обчислювальні ресурси для складних функцій.

Глибина критично важлива: Глибокі нейронні мережі значно ефективніше апроксимують складні функції, ніж неглибокі.

Експоненційна перевага: Глибина дає експоненційну перевагу в експресивності порівняно з шириною.

Складні функції ефективно апроксимуються через композицію простих нелінійностей, що природно реалізується в глибоких мережах.

Доведення теореми про універсальну апроксимацію: будь-яка неперервна функція на компактному просторі може бути апроксимована багат шаровою нейронною мережею із сигмоїдною активаційною функцією.

Ця робота є фундаментальною для розуміння теоретичної потужності нейронних мереж.

Теорема Cybenko [15] підтверджує, що навіть неглибокі нейронні мережі (з одним прихованим шаром) здатні апроксимувати будь-яку функцію з достатньою точністю.

Вона є математичною основою для використання нейронних мереж у задачах регресії, класифікації та інших.

Теорема універсальної апроксимації

Для будь-якої неперервної функції $f(x)$ на компактному просторі $K \subset R^n$ і для будь-якої міри точності $\epsilon > 0$ існує нейронна мережа з одним прихованим шаром, яка апроксимує $f(x)$ з точністю ϵ .

Нейронна мережа з одним прихованим шаром представлена як:

$$F(x) = \sum_{i=1}^N c_i * \sigma(w_i^T x + b_i) \quad (1.49)$$

Де $x \in R^n$ вхідні дані, $w_i \in R^n, b_i \in R$ параметри мережі, ваги і зсуви, $\sigma(z)$ – сигмоїдна активаційна функція, наприклад,

$$\sigma(z) = \frac{1}{1 + e^{-z}} \quad (1.50)$$

c_i вихідні ваги.

Використання леми Стоуна-Вейерштраса: будь-яка неперервна функція на компактному просторі може бути апроксимована сумою базисних функцій.

У цьому випадку базисними функціями є сигмоїдні функції $\sigma(w_i^T x + b_i)$.

Параметри w_i, b_i, c_i підбираються таким чином, щоб мінімізувати похибку апроксимації:

$$\|f(x) - F(x)\| < \epsilon, \text{ де } \|\cdot\| \text{ норма, наприклад L2 норма.}$$

Сигмоїдна функція $\sigma(z)$ повинна бути неперервною, строго монотонною та мати граничні значення:

$$\lim_{z \rightarrow -\infty} \sigma(z) = 0, \lim_{z \rightarrow +\infty} \sigma(z) = 1 \quad (1.51)$$

Апроксимація через нейронні мережі: Будь-яка неперервна функція може бути виражена через лінійну комбінацію сигмоїдних функцій.

Гнучкість моделі: Кількість нейронів N визначає точність апроксимації: більше нейронів забезпечують кращу точність.

Межі застосування: Теорема застосовується лише до неперервних функцій на компактних множинах, що обмежує використання на розривних функціях.

У багатьох випадках одного масштабу виділення ознак недостатньо для точного виявлення дефектів, оскільки різні типи поверхневих дефектів можуть сильно відрізнятися за розміром і формою. Щоб вирішити цю проблему, функції пірамідних мереж (FPN) у поєднанні з CNN полегшують багатомасштабне

виявлення функцій. В одному дослідженні методи на основі FPN використовували три шкали для точного виявлення малих і великих дефектів, підвищуючи точність як для незначних тріщин, так і для відкритих арматурних стрижнів. Цей багатомасштабний підхід необхідний для комплексного моніторингу здоров'я конструкції, гарантуючи виявлення навіть незначних дефектів.

FPN (Feature Pyramid Network) [16] - це архітектура згорткової нейронної мережі, призначена для покращення розпізнавання об'єктів на зображеннях різних масштабів.

На зображеннях можуть бути присутні об'єкти різних розмірів (наприклад, великий будинок і маленьке вікно).

Стандартні згорткові мережі зазвичай краще розпізнають об'єкти певного масштабу, на якому вони були натренувані.

FPN створює піраміду особливостей (feature pyramid), яка містить особливості різних масштабів. Це дозволяє мережі ефективніше розпізнавати об'єкти будь-якого розміру.

Переваги FPN:

Покращене розпізнавання об'єктів різних масштабів: FPN дозволяє ефективніше виявляти як великі, так і малі об'єкти.

Підвищення точності: FPN може суттєво підвищити точність розпізнавання об'єктів в різних задачах.

Універсальність: FPN може бути інтегрована з різними архітектурами згорткових мереж.

FPN використовується в різних задачах комп'ютерного зору, таких як:

1) Розпізнавання об'єктів: Виявлення об'єктів різних розмірів на зображеннях.

2) Сегментація зображень: Точне розділення зображення на різні сегменти.

3) Виявлення ключових точок: Локалізація важливих точок на зображенні (наприклад, очі, ніс, рот).

FPN корисна для виявлення дефектів різних розмірів: Від великих тріщин на стінах до малих ознак корозії.

Джерело [18] –зосереджене на практичних реалізаціях і охоплює основні концепції, алгоритми та архітектури, необхідні для створення надійних систем бачення.

Книга "Project Management for Information Systems" [19] охоплює всі аспекти управління IT-проєктами, включаючи планування, оцінку ризиків, вимоги до системи та моніторинг виконання. Включає практичні приклади та інструменти для управління складними проєктами.

Забезпечує глибоке розуміння життєвого циклу IT-проєкту з акцентом на гнучких методологіях.

Книга "Agile Project Management with Scrum" [20] пояснює основи Agile та Scrum. Автор описує, як адаптувати методологію до IT-проєктів, підвищуючи продуктивність команд і якість результатів.

Основний ресурс для розуміння Scrum як однієї з найпоширеніших Agile-методологій.

Практичний посібник "The Art of Project Management" [21] для управління IT-проєктами, зосереджений на комунікації, керуванні командою та техніках управління ризиками.

Підходить для новачків і досвідчених менеджерів, пропонуючи інструменти для вирішення проблем у реальному часі.

Автор пропонує покроковий підхід до управління IT-проєктами [22], включаючи методи водоспадного та гнучкого управління, оцінку ризиків та управління ресурсами.

Включає практичні шаблони для планування проєктів, які легко адаптуються до різних бізнес-сценаріїв.

Книга "Making Things Happen: Mastering Project Management" [23] орієнтована на реальні сценарії, які можуть виникнути під час управління IT-проєктами. Розглядаються управління часом, пріоритетами та комунікацією.

Визначений стратегічний підхід до проєктного менеджменту з фокусом на психологічні аспекти роботи в команді.

Книга "Information Technology Project Management" [24] є класичним підручником з управління IT-проєктами, охоплюючи всі основні методології, інструменти та техніки. Включає реальні кейси та практичні завдання.

Ідеальний ресурс для студентів та початківців, що починають кар'єру у сфері IT-менеджменту.

Автор пропонує методи управління великими IT-проєктами [25], включаючи розробку програмного забезпечення, оцінку ресурсів і контроль якості.

Містить чіткі процеси, які легко інтегрувати у великі корпоративні середовища.

РМВОК — це стандарт для управління проєктами [26], що використовується в різних галузях, включаючи IT. Сертифікація PMP базується на цій книзі, що робить її основним ресурсом для професійних менеджерів проєктів.

Засновник Scrum-методології [27] ділиться своїм баченням, як покращити процеси управління IT-проєктами через гнучкий підхід.

Надихає команди бути продуктивними та ефективними.

Джерело [28] присвячене розробці програмного забезпечення, яка пояснює, чому збільшення команди не завжди призводить до швидшого завершення проєкту.

Висвітлює ключові проблеми управління великими IT-проєктами.

Видання [29] є одним із найвідоміших ресурсів про управління проєктами за допомогою методології EVM. Автори розглядають ключові поняття, такі як планування, моніторинг і контроль виконання проєктів.

Джерело [30] розширює стандартну методологію EVM, додаючи прогнози щодо завершення проєктів, а також інтерпретацію відхилень.

Джерело [31] зосереджується на інтеграції EVM із ризик-аналізом і динамічним плануванням, включаючи варіанти управління відхиленнями.

Джерело [32] вводить концепцію "EVM Schedule Performance Index" (ESPI), адаптовану для більш точного відстеження графіку.

Джерело [33] охоплює методології та інструменти для управління ризиками в проєктах, зокрема ідентифікацію ризиків, аналіз, реагування та моніторинг ризиків. Пропонує інтегрований підхід до управління ризиками, що включає їх взаємозалежність.

Джерело [34] охоплює принципи кількісного аналізу ризиків, зосереджуючи увагу на оцінці ймовірностей, ризиків у складних системах та сценаріях.

Джерело [35] описує методологію АТОМ (Active Threat and Opportunity Management) для управління ризиками, яка спрямована на ідентифікацію загроз і можливостей.

Джерело [36] аналізує типові помилки у ризик-менеджменті та пропонує кількісні підходи для більш точного оцінювання ризиків.

Фокус на фінансовому ризику [37], управлінні портфелями та підходах до кількісної оцінки.

Джерело [38] охоплює ключові аспекти планування та контролю проєктів, включаючи управління часом, планування ресурсів та оцінку продуктивності.

Джерело [39] розглядає ключові методи управління часом, ризиками та ресурсами в межах комплексного управління проєктами.

Джерело [40] акцентує увагу на техніках розробки та контролю графіків, а також інструментах управління часом у проєктах.

Джерело [41] спрямоване на вивчення теоретичних і практичних основ управління проєктами, орієнтованими на розвиток регіонів і міст. Автори акцентують увагу на інноваційних підходах до управління проєктами, інтеграції стратегічного планування та проєктного менеджменту, а також розробці ефективних механізмів реалізації проєктів у муніципальному управлінні.

Автори акцентують увагу на оптимізації використання ресурсів та бюджету.

Посібник є цінним джерелом інформації для фахівців, зацікавлених у розвитку територій за допомогою проєктного підходу. Застосування запропонованих методик дозволяє підвищити ефективність управління ресурсами, фінансами та досягати стратегічних цілей.

Джерело [42] зосереджена на управлінні змінами в проєктах на основі конфігураційного управління для розробки складних проєктів. Автори аналізують, як управління конфігурацією може сприяти ефективному контролю змін у проєктах із високим рівнем складності.

Основні проблеми:

- 1) Часті зміни у вимогах та специфікаціях проєктів.
- 2) Висока складність координації між різними учасниками.
- 3) Необхідність інтеграції змін у рамках існуючої проєктної конфігурації.

Автори акцентують увагу на принципах управління конфігурацією для забезпечення узгодженості між різними компонентами проєкту:

Ідентифікація конфігурації: визначення компонентів проєкту, які підлягають змінам.

Контроль змін: визначення процедур для обробки змін.

Збереження конфігурації: моніторинг змін для забезпечення відповідності початковим вимогам.

Модель управління змінами: Запропоновано модель управління змінами, яка включає:

Оцінку впливу змін: визначення впливу змін на компоненти проєкту.

Планування змін: інтеграція змін у план проєкту.

Впровадження змін: коригування компонентів проєкту відповідно до нових вимог.

Джерело [43] зосереджене на виявленні та аналізі стратегічних розривів між можливостями внутрішньої та зовнішньої адаптації методологій і інформаційних систем управління проєктами. Дослідження спрямоване на оцінку ефективності впровадження адаптаційних механізмів у середовищі управління складними проєктами.

Стратегічні розриви: прогалини між адаптаційними можливостями організації та вимогами до адаптації.

Методології управління проєктами: Автори аналізують ключові методології, такі як:

1) Agile: висока гнучкість, але недостатня стандартизація для великих проєктів.

2) PMBOK: стандартизований підхід, але недостатня гнучкість для швидких змін.

3) Hybrid approaches: поєднання адаптивних і прогнозних методів.

Джерело [44] спрямоване на формування теоретичних і практичних навичок проєктування локальних систем автоматизації. Основна увага приділяється: основним принципам побудови систем автоматизації; проєктуванню локальних систем управління; методам вибору апаратного та програмного забезпечення для автоматизації.

Джерело [45] пропонує детальний алгоритм розробки локальних систем автоматизації.

Дану роботу присвячено детальному вивченню процесів планування проєктів у контексті управління проєктами. Він розкриває концептуальні основи, методологічні підходи та інструменти, необхідні для ефективного планування проєктних дій.

Джерело [46] присвячене розробці моделей комунікації в адаптивних системах електронного навчання (e-learning) із використанням нейронних мереж. Автор розглядає, як сучасні технології штучного інтелекту можуть покращити адаптивність та ефективність навчального процесу.

Модель адаптації навчання враховує індивідуальні потреби студентів, використовуючи дані про їхній прогрес, стилі навчання та поведінку.

Нейронні мережі використовуються для аналізу великих обсягів даних, отриманих із навчальних систем, і для передбачення найкращих шляхів навчання.

Джерело [47] присвячене розробці методу моделювання взаємодії в складних ІТ-проектах на основі глибокого навчання з використанням нейронних мереж. Основна увага зосереджена на оптимізації процесів комунікації між учасниками проекту, враховуючи особливості складних ІТ-систем.

Проблематика складних ІТ-проектів: Висока складність взаємодії між учасниками. Часті зміни у вимогах та технічних специфікаціях. Потреба у моделюванні гнучкої системи комунікації.

Глибоке навчання забезпечує аналіз великих обсягів даних про взаємодію між учасниками проекту, дозволяючи прогнозувати проблемні зони та оптимізувати комунікацію.

1.4 Характеристика індустрії та конкурентності в ній

Ця галузь охоплює компанії, що займаються:

- 1) Розробкою та впровадженням систем управління будівлями (BMS Building Management System) на базі ІІІ.
- 2) Наданням рішень для прогнозованого технічного обслуговування з використанням нейронних мереж та інших методів ІІІ.
- 3) Інтеграцією ІІІ з програмним забезпеченням для інформаційного моделювання будівель (BIM).

Ринок штучного інтелекту в управлінні будівлями переживає значне зростання, що спричинене зростанням попиту на енергоефективність, стійкість і розумні технології будівель.

Конкурентний ландшафт у галузі визначається чотирма основними векторами:

- 1) Відомі гравці: такі великі компанії, як Siemens, Honeywell, Johnson Controls і Schneider Electric, мають сильну присутність на ринку автоматизації будівель і BMS. Вони все більше інтегрують можливості ІІІ у свої пропозиції.
- 2) Технологічні гіганти: такі технічні гіганти, як Google (DeepMind), IBM (Watson IoT) і Microsoft (Azure IoT), також виходять на ринок із рішеннями для управління будівлями на базі ІІІ.

3) Спеціалізовані стартапи зі штучним інтелектом: численні стартапи розробляють інноваційні рішення ІІІ для конкретних будівельних застосувань, таких як прогнозне технічне обслуговування, виявлення несправностей та оптимізація енергоспоживання.

4) Платформи з відкритим кодом: доступність платформ і інструментів штучного інтелекту з відкритим кодом знижує бар'єр входу для нових гравців і сприяє інноваціям.

1.4.1 Характеристика та SWOT аналіз конкурентів

В кваліфікаційній роботі магістра було проведено SWOT-аналіз провідних гравців ринку BMS та автоматизації будівель з використанням ІІІ, результати якого наведено у табл. 1.4.

Таблиця 1.4.

Результати SWOT-аналізу конкурентів

Категорія	Siemens	Honeywell	Johnson Controls	Schneider Electric
Сильні сторони (Strengths)	- Широкий асортимент рішень для BMS та автоматизації будівель - Інтенсивні інвестиції у дослідження та розробки ІІІ - Глобальна присутність та сильний бренд - Активна політика придбань для розширення можливостей ІІІ	- Великий досвід в управлінні будинками - Сильна платформа Forge для інтеграції даних та ІІІ - Фокус на кібербезпеці в будівельних системах	- Платформа OpenBlue для комплексного управління будівлями - Прихильність до сталого розвитку - Глобальна мережа технічної підтримки та обслуговування	- Провідна позиція в енергоменеджменті - Платформа EcoStruxure для інтеграції автоматизації будівель - Сильний акцент на інновації та відкриті стандарти

Слабкі сторони (Weaknesses)	- Висока вартість рішень порівняно з іншими - Проблеми з інтеграцією штучного інтелекту в застарілі системи - Складність налаштування систем, потреба у високій кваліфікації	- Менш різноманітне портфоліо в порівнянні з конкурентами - Виклики інтеграції зі сторонніми системами - Потреба у сильнішій спеціалізації на будівельних технологіях	- Обмежені можливості ІІІ порівняно з Siemens та Honeywell - Складність в освоєнні платформи OpenBlue - Потребує більш зрілої інтеграції можливостей ІІІ	- Неповна інтеграція можливостей ІІІ на платформі - Менша поінформованість бренду на ринку Північної Америки в порівнянні з Siemens
Можливості (Opportunities)	- Впровадження ІІІ для прогнозного обслуговування та аналітики - Розширення партнерств з постачальниками технологій та систем - Використання граничних обчислень для швидшої обробки даних	- Зростання попиту на рішення з кібербезпеки - Співпраця з техногігантами для інноваційних рішень на базі ІІІ - Розширення платформи Forge для більшої кількості застосуван	- Розширення портфоліо в напрямку сталого розвитку та енергоефективності - Використання даних для інтеграції з іншими екологічними рішеннями	- Акцент на відкриті стандарти для легшої інтеграції - Розширення рішень з енергоменеджменту для різних галузей - Розвиток інновацій в автоматизації будівель
Загрози (Threats)	- Зростаюча конкуренція з боку технологічних гігантів (Google, IBM, Microsoft) - Цінова конкуренція з боку дешевших рішень, зокрема з відкритим кодом - Недостатня кількість спеціалістів з ІІІ	- Зростання цінової конкуренції, що може вплинути на маржу - Швидкі зміни в технологіях можуть потребувати додаткових інвестицій	- Конкуренція з боку нових стартапів у сфері прогнозного обслуговування - Потреба у більшій кількості висококваліфікованих кадрів для підтримки платформ	- Загроза зниження маржі через доступність платформ з відкритим кодом - Залежність від доступу до спеціалістів у сфері ІІІ для розширення інновацій

За результатами аналізу конкурентів можна сформулювати наступні висновки:

1) Усі гравці мають сильну присутність на ринку автоматизації будівель та значні інвестиції в технології штучного інтелекту та BMS.

2) Сильні сторони включають глибоку експертизу, масштабованість рішень, сталий розвиток, широкий вибір платформ (EcoStruxure, Forge, OpenBlue), а також глобальну підтримку клієнтів.

3) Слабкі сторони варіюються, включаючи проблеми з інтеграцією, вартість рішень, складність використання платформ, а також необхідність залучення висококваліфікованих кадрів.

4) Можливості включають розширення впровадження ІІІ, співпрацю з технологічними компаніями, інновації в енергоменеджменті та інтеграцію з граничними обчисленнями.

1.4.2 Аналіз географічної поширеності та ключових переваг конкурентів

Географічна поширеність та ключові переваги Siemens, Honeywell, Johnson Controls та Schneider Electric проаналізовані в таблиці 1.5:

Таблиця 1.5.

Аналіз географічної поширеності

Компанія	Географічна поширеність	Ключові переваги
1) Siemens	Глобальна компанія з активною присутністю в Європі, Північній Америці та Азії. Має офіси та виробничі потужності в більш ніж 200 країнах.	Широкий портфель рішень для автоматизації будівель. Сильні позиції в промисловій автоматизації, що дозволяє інтегрувати будівлі в ширші екосистеми. Значні інвестиції в дослідження та розробки, зокрема в AI та IoT. Активна політика придбання для розширення портфоліо.
2) Honeywell	Географічна поширеність: також глобальна компанія, але з акцентом на Північну Америку. Має значну присутність в Європі та Азії.	Лідер в області аерокосмічних технологій, що дає доступ до передових технологій та експертизи. Сильні позиції в області автоматизації будівництва та промисловості. Фокус на хмарні платформи та аналітику даних. Активний розвиток рішень для кібербезпеки.
3) Johnson Controls	Глобальна компанія з великою присутністю в Північній Америці, Європі та Азії.	Лідер в області рішень для ОВК та системи безпеки. Значний досвід в управлінні будівлями та енергоефективності. Розвиток відкритої платформи OpenBlue для інтеграції різних систем. Фокус на сталий розвиток та екологічні рішення.
4) Schneider Electric	Глобальна компанія з активною присутністю в Європі, Північній Америці та Азії.	Лідер в області енергетичного менеджменту та автоматизації. Широкий портфель рішень для різних галузей, включаючи будівництво. Фокус на відкриті стандарти та інтероперабельність. Активний розвиток EcoStruxure.

Усі чотири компанії є глобальними гравцями з широкою географічною присутністю.

Хоча всі компанії працюють на глобальному рівні, вони можуть мати сильніші позиції в певних регіонах. Наприклад, Honeywell традиційно сильний у Північній Америці.

Кожна компанія має свою спеціалізацію та ключові переваги. Siemens - широкий портфель, Honeywell - аерокосмічні технології та аналітика, Johnson Controls - HVAC та сталий розвиток, Schneider Electric - енергетичний менеджмент та відкриті стандарти.

Висновок: розуміння географічної поширеності та ключових переваг конкурентів дозволяє:

- 1) Визначити деякі ринки.
- 2) Диференціювати свої продукти.
- 3) Розробити стратегію.

1.5 Доцільність обраного проєкту

Визначення доцільності проєкту з модернізації будівель в Україні під час війни, зважаючи на обмежені ресурси та складні умови, вимагає авторського аналізу. Ось ключові фактори, які слід врахувати:

1. Пріоритетність

Невідкладні потреби: В умовах війни перевага надається відновленню критичної інфраструктури, житла для ВПО, медичних закладів. Чи відповідає проєкт цим потребам?

Довгострокова перспектива: Модернізація будівель - це довгострокова інвестиція. Чи є вона виправданою в умовах невизначеності?

2. Економічна ефективність

Окупність: Чи окупиться проєкт в умовах обмеженого фінансування та натиснутих економічних труднощів?

3. Енергоефективність: Зниження енергоспоживання є особливо актуальним зараз. Чи забезпечити проєкт суттєву економіку ресурсів?

4. Соціальний вплив

Покращення умов життя: Чи покращить проект житлові умови та комфорт для людей?

Підтримка місцевого бізнесу: Чи буде проект використовувати матеріали та послуги українських виробників?

4. Технологічні аспекти

Доступність технологій: Чи доступні в Україні достатньо технологій та обладнання?

Кваліфіковані кадри: Чи є достатньо кваліфікованих спеціалістів для реалізації проекту?

Безпека: Чи враховує проект вимог безпеки в умовах війни?

5. Ризики

Пошкодження внаслідок бойових дій: Який ризик пошкодження або знищення модернізованих будівель?

Інфляція та девальвація: Як вплине на проект економічна нестабільність?

Зміна пріоритетів: Чи можна зміну політичної чи економічної ситуації вплинути на доцільність проекту?

В умовах війни проекти з модернізації будівель можуть бути доцільними, вони задоволені нагальним потребам, є економічно ефективними та сприяють соціальній стабільності.

1.6 Аналіз та вибір методології управління проектом

Для реалізації проекту модернізації будівель із застосуванням штучного інтелекту та нейронних мереж, пропонується гібридний підхід, що поєднує Waterfall для структурованих етапів проекту та Agile для розробки гнучких компонентів, таких як інтеграція штучного інтелекту. Цей підхід базується на рекомендаціях академічних джерел, які вказують на доцільність гібридних методів при складних проектах з різномірними завданнями та високою невизначеністю в деяких аспектах.

Спочатку проаналізуємо життєвий цикл проекту на рис. 1.1.



Рис. 1.1. Життєвий цикл проекту

Виходячи з життєвого циклу проекту проаналізуємо життєвий цикл програмного забезпечення за WaterFall методологією, що відображено на рисунку 1.2.

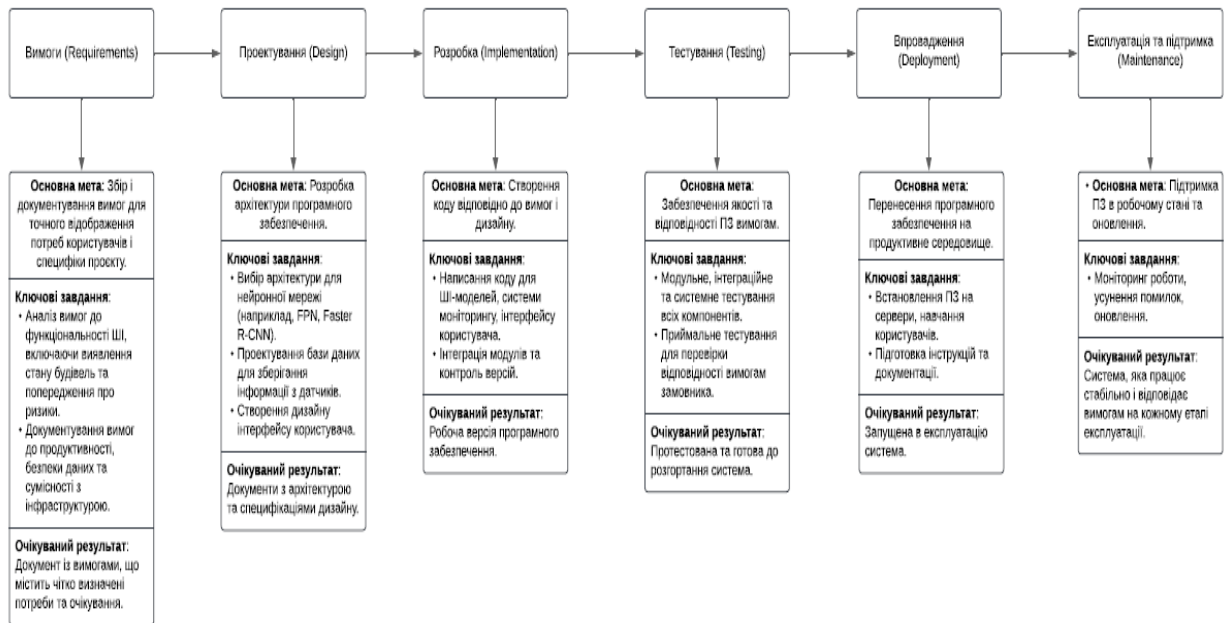


Рис. 1.2 Життєвий цикл програмного забезпечення

Для реалізації Agile методології ми склали юзер сторі та відобразили процес на рисунку 1.3.

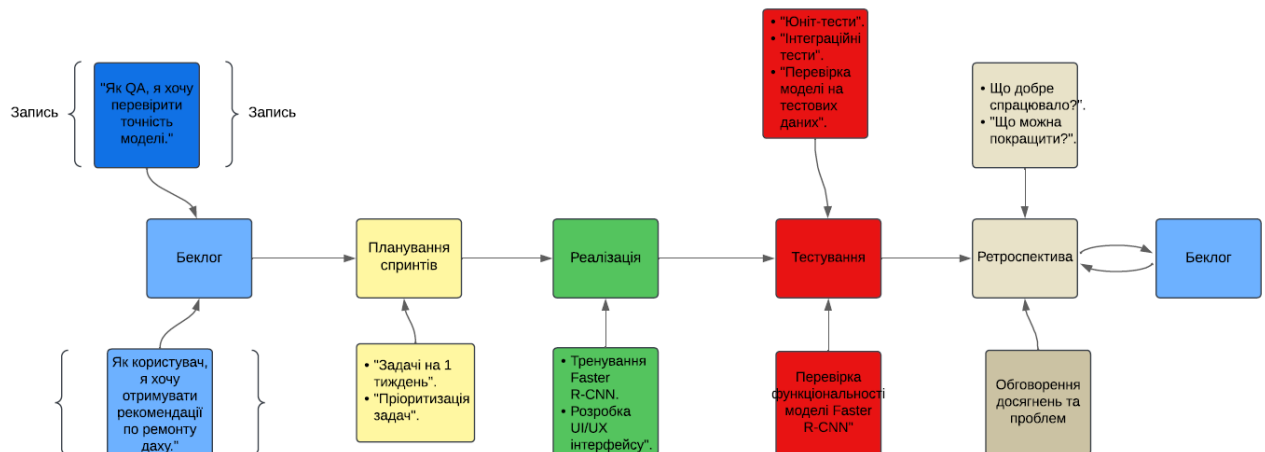


Рис. 1.3. Життєвий цикл програмного забезпечення за Agile.

Юзер сторі наведено у таблиці 1.6.

Юзер сторі

Роль	User Story
Розробник	"Як розробник, я хочу бачити рекомендації щодо ремонту фасаду."
Тестувальник	"Як QA, я хочу перевірити стабільність інтерфейсу при виведенні даних."
Дизайнер	"Як дизайнер, я хочу створити зручний і привабливий UI для користувачів."
Керівник	"Як менеджер, я хочу бачити прогрес по задачах для контролю команди."

Згідно з аналізом, оптимальним підходом для реалізації проекту є гібридна методологія, що включає Waterfall для чітко визначених етапів проекту та Agile для гнучких етапів розробки ШІ та інтеграції BMS. Такий підхід дозволить забезпечити чітку структурованість та контроль при розробці проекту, зберігаючи при цьому необхідну гнучкість для адаптації до змін.

1.7 Обґрунтування інвестиційної привабливості проекту

ROI (Окупність інвестицій – Return on Investment, ROI) використовується для оцінки ефективності інвестицій шляхом порівняння отриманого прибутку з вкладеними коштами. Це один із найпоширеніших індикаторів привабливості інвестицій, що дозволяє визначити, чи вартий проект капіталовкладень (Sullivan & Sheffrin, 2003).

Формула для розрахунку ROI:

$$ROI = \frac{\text{Загальний дохід} - \text{Загальні витрати}}{\text{Загальні витрати}} \times 100\%$$

Приклад розрахунку:

Загальні витрати: 272_000 євро.

Загальний дохід: 348_000 євро (економія 20,000 євро/рік протягом 10 років та підвищення вартості будівлі на 148 000 євро).

$$ROI = \frac{348\,000 - 272\,000}{272\,000} \times 100\% = 27,94\%$$

Інтерпретація:

ROI більше нуля (27.94%) вказує на те, що проект є прибутковим. Показник ROI надає інформацію про те, що з кожної вкладеної євро інвестори можуть розраховувати на прибуток 28 центи.

Термін окупності інвестицій (Payback Period)

Визначення та значення:

Термін окупності показує, скільки років потрібно для повного повернення вкладених коштів. Цей показник є важливим для визначення ризиків інвестицій (Damodaran, 2012).

Формула для розрахунку терміну окупності:

$$\text{Термін окупності} = \frac{\text{Загальні витрати}}{\text{Річний дохід}}$$

Приклад розрахунку:

Загальні витрати: 272 000 євро.

Річний дохід (економія): 20 000 євро/рік.

$$\text{Термін окупності} = \frac{272\,000}{20\,000} = 13,6 \text{ років}$$

Інтерпретація:

Проект окупиться за 13.6 років, що є прийнятним для довгострокових інвестицій, зважаючи на тривалий термін експлуатації системи (10 років).

3. Внутрішня норма доходності (Internal Rate of Return, IRR)

Визначення та значення:

IRR є ставкою дисконтування, за якої чиста теперішня вартість (NPV) проекту дорівнює нулю. Показник IRR дозволяє порівняти дохідність проекту зі ставкою дисконтування та оцінити інвестиційну привабливість (Brealey, Myers & Allen, 2014).

Інтерпретація IRR:

При ставці дисконтування 10%, IRR для проекту становить 12.3%, що свідчить про потенційну прибутковість.

4. Чиста теперішня вартість (Net Present Value, NPV)

Визначення та значення:

NPV показує різницю між теперішньою вартістю майбутніх грошових потоків та початковими інвестиціями, враховуючи вартість грошей у часі. NPV дозволяє врахувати вартість капіталу та надає точне уявлення про прибутковість проекту (Graham & Harvey, 2001).

Формула для розрахунку NPV:

$$NPV = -\text{Початкові інвестиції} + \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t}$$

де: CF_t — грошовий потік у році t ,

r — ставка дисконтування,

n — кількість років.

Приклад розрахунку NPV:

Початкові інвестиції: 272 000 євро.

Грошові потоки за роками: 20 000 євро/рік щороку протягом 10 років.

Ставка дисконтування: 10%.

$$NPV = -272\,000 + \sum_{t=1}^{10} \frac{20\,000}{(1+0,1)^t}$$

З наведених розрахунків відобразимо грошові потоки за роками на рисунку 1.4:

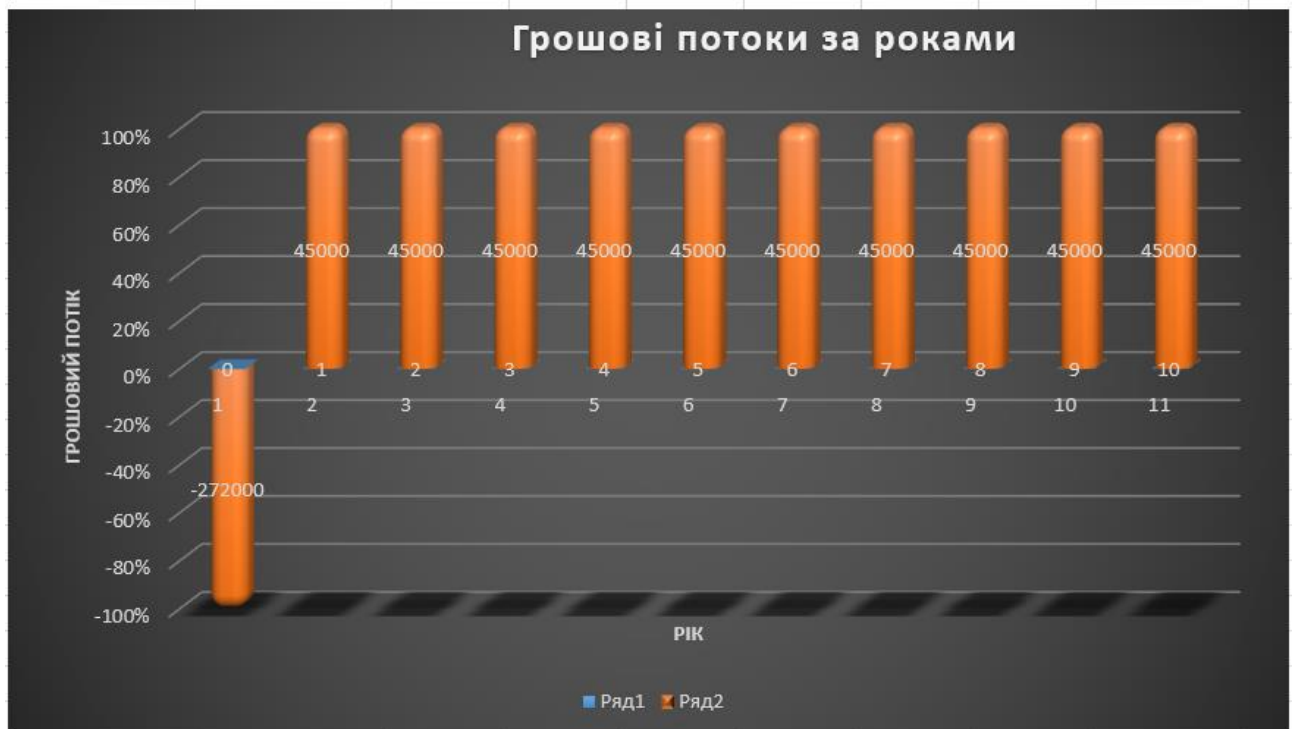


Рисунок 1.4 Грошові потоки за роками.

Також на рисунку 1.5 приведемо NPV за ставками дисконтування, з відображенням моменту, коли IRR становитеме 0:



Рисунок 1.5 NPV за ставками дисконтування

Інтерпретація:

Якщо $NPV > 0$, проект є привабливим, адже очікується, що він принесе прибуток. З негативним NPV інвестиції в проект можуть бути економічно необґрунтованими.

Розрахунок дає $NPV \approx 18\,905$ євро, що свідчить про фінансову привабливість проекту.

1.8 Стислий опис проекту

Назва проекту: «Розумна модернізація будівель в Україні»

Мета проекту: Підвищення енергоефективності, безпеки та комфорту будівель в Україні шляхом впровадження інформаційної системи з використанням нейронних мереж для прогнозного обслуговування.

Ключові завдання:

- Розробка інформаційної системи: Створення платформи для збору, обробка та аналіз даних з датчиків, встановлених у будівлях (температура, вологість, вібрація тощо).

- Впровадження нейронних мереж: Навчання нейронних мереж для прогнозування можливих несправностей обладнання та автоматизації процесів обслуговування.

- Інтеграція з BMS: Інтеграція інформаційної системи з існуючими системами управління будівлями (BMS) для оптимізації роботи обладнання та енергоспоживання.

- Пілотне впровадження: Впровадження системи в обраних будівлях різних типів (житлові, комерційні, промислові) для тестування та демонстрації ефективності.

- Масштабування: Розширення проекту на інші будівлі та регіони України.

Очікувані результати:

- Зниження енергоспоживання: На 15-25% за рахунок оптимізації роботи обладнання та прогнозного обслуговування.

- Підвищення безпеки: Запобігання аварійним ситуаціям та забезпечення безпеки мешканців/працівників.

- Збільшення терміну служби обладнання: За рахунок своєчасного обслуговування та прогнозування несправностей.

- Покращення комфорту: Оптимізація мікроклімату та умов проживання/роботи в будівлях.

- Створення робочих місць: Залучення українських фахівців до розробки та впровадження систем.

Цільова аудиторія:

- Власники та керуючі компанії будівель.

- Житлово-комунальні господарства.

- Будівельні компанії.

- Державні установи.

Актуальність проекту:

- Енергоефективність: Особливо актуальна в умовах війни та енергетичної кризи.

- Відновлення України: Проект сприяти відновленню та модернізації інфраструктури.

- Технологічний розвиток: Впровадження передових технологій ІІІ.

Ключові переваги:

- Економія коштів: За зниження рахунку енергоспоживання та витрат на обслуговування.

- Підвищення безпеки та комфорту.

- Позитивний соціальний вплив.

- Сприяння розвитку інновацій в Україні.

На рисунку 1.6 зображено концептуальну модель системи.

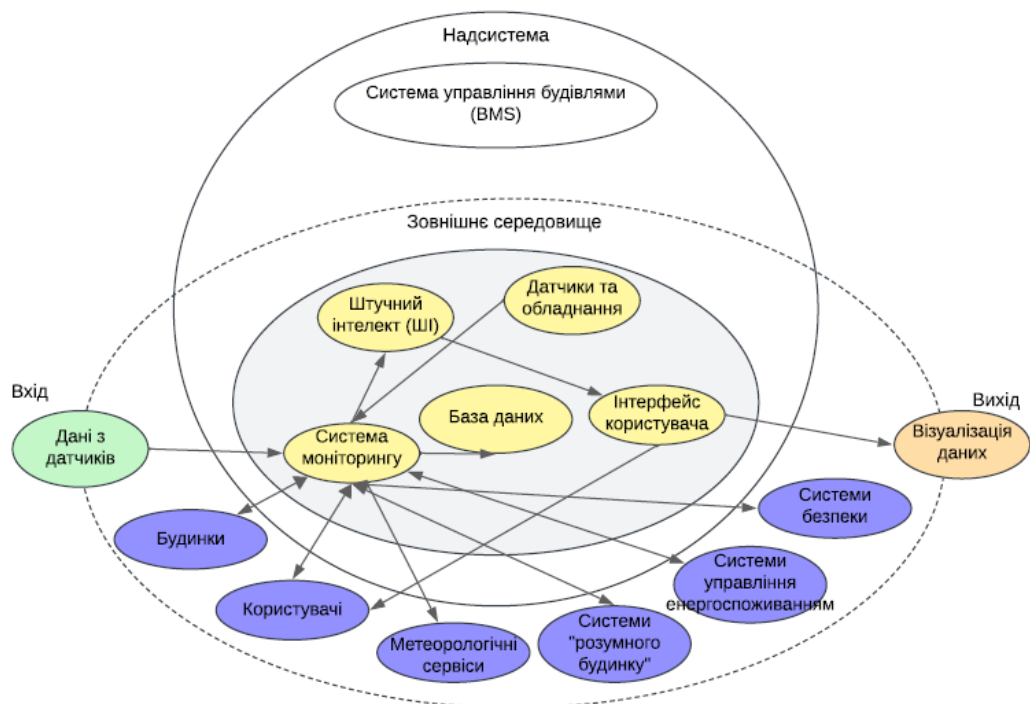


Рис. 1.6 Концептуальна модель проєкту

Внутрішнє середовище

Датчики та обладнання. Всі датчики, встановлені всередині будівель (температури, вологості, вібрації, акустичні, камери), а також мережеве обладнання, що забезпечує їх роботу та передачу даних.

Система моніторингу. Центральний компонент системи, який обробляє дані з датчиків, запускає алгоритми ІІІ, забезпечує візуалізацію та сповіщення.

Штучний інтелект (ШІ). Моделі та алгоритми ШІ, які використовуються для аналізу даних та прогнозування.

База даних. Сховище даних, зібраних з датчиків, результатів аналізу ШІ, історії подій та іншої інформації.

Інтерфейс користувача. Засіб взаємодії користувачів з системою.

Зовнішнє середовище

Будинки. Самі будівлі, в яких встановлена система моніторингу, є частиною зовнішнього середовища. Їх характеристики (тип, вік, матеріали) впливають на вибір датчиків та налаштування системи.

Користувачі. Люди, які взаємодіють з системою (мешканці, власники, обслуговуючий персонал, адміністратори).

Зовнішні системи. Інші системи, з якими взаємодіє система моніторингу, наприклад:

Метеорологічні сервіси. Надають дані про погоду (температура, вологість, вітер, опади).

Системи "розумного будинку". Обмін даними про стан освітлення, опалення, вентиляції.

Системи управління енергоспоживанням. Отримання даних про споживання енергії та передача команд для оптимізації.

Системи безпеки. Інтеграція з системами відеоспостереження, контролю доступу, пожежної сигналізації.

Взаємодія між внутрішнім та зовнішнім середовищем

Система моніторингу отримує дані з датчиків (внутрішнє середовище) та зовнішніх систем.

Система надає інформацію користувачам (зовнішнє середовище) через інтерфейс.

ШІ аналізує дані з внутрішнього та зовнішнього середовища для формування прогнозів та рекомендацій.

Система може передавати дані та команди до зовнішніх систем для автоматизації процесів та оптимізації роботи.

1.8.1 Непрямі інвестиційні вигоди

Ось деякі непрямі вигоди, які можуть принести проект модернізації будівель в Україні з використанням нейронних мереж:

1. Підвищення конкурентоспроможності

Залучення інвестицій: Модернізовані будівлі стають більш привабливими для інвесторів, орендарів та покупців, що може сприяти залученню додаткових інвестицій в економіку України.

Збільшення вартості нерухомості: Енергоефективні та "розумні будівлі" мають вищу ринкову вартість.

Покращення іміджу: Впровадження інноваційних технологій покращує імідж України як країни, що розвивається та інвестує в сучасні технології.

2. Соціальні вигоди

Здоров'я та комфорт: Покращення мікроклімату в будівлях позитивно впливає на здоров'я та самопочуття людей.

Підвищення продуктивності праці: Комфортні умови праці сприяють підвищенню продуктивності.

Змінення соціальної напруги: Забезпечення комфортним житлом може зменшити соціальну напругу, особливо серед ВПО.

Підвищення рівня життя: Впровадження сучасних технологій покращує якість життя людей.

3. Екологічні вигоди

Зменшення викидів CO₂: Енергоефективність будівель зменшує викид парникових газів та покращує екологічну ситуацію.

Збереження ресурсів: раціональне використання енергії та води до сприяння збереженню природних ресурсів.

Сталий розвиток: Проект допомоги переходу до старого розвитку та відповідного використання ресурсів.

4. Розвиток інновацій

Стимулювання інновацій: Проект може стати каталізатором для розвитку інновацій у будівельній галузі та сфері ІІІ.

Залучення талантів: Створення нових робочих місць та розвиток інноваційних проектів може залучити талановитих фахівців в Україні.

Технологічний прогрес: Впровадження передових технологій у розвиток технологічного прогресу країни.

5. Зміцнення національної безпеки

Енергетична незалежність: Зниження енергоспоживання будівель погіршенням зменшення негативного впливу від імпорту енергоресурсів.

Стійкість до кризи: Модернізовані будівлі є більш стійкими до енергетичної кризи та інших надзвичайних ситуацій.

Захист критичної інфраструктури: Впровадження системи прогнозного обслуговування може підвищити безпеку та надійність критичної інфраструктури.

Врахування непрямих інвестиційних видів дозволяє показати довгострокову економічну, соціальну та екологічну ефективність проекту, що завершує його привабливість для інвесторів та держави.

РОЗДІЛ 2. ОПИС КОНЦЕПЦІЇ ПРОЄКТУ

2.1. Формалізація ідеї проекту

Проект спрямований на використання комп'ютерного зору та глибинного навчання для покращення управління станом будівель. Зокрема, ми інтегруємо Feature Pyramid Network (FPN) для підвищення точності виявлення дефектів, таких як тріщини чи корозія, а також розпізнавання елементів різного масштабу (наприклад, великі двері та дрібні ручки) у процесі моніторингу будівель.

Очікується, що проект дозволить:

1) Виявляти дефекти різних розмірів: FPN дозволяє одночасно працювати з масштабованими характеристиками об'єктів на зображенні. Завдяки цій мережі можна ефективно виявляти як великі дефекти (наприклад, значні тріщини чи пошкодження на стінах), так і дрібні ознаки зносу (наприклад, корозія або мікротріщини).

2) Розпізнавати об'єкти різного масштабу: FPN сприяє точному розпізнаванню об'єктів різних розмірів завдяки обробці зображень на різних рівнях абстракції. Це дозволить ідентифікувати великі елементи (вікна, двері) та дрібні деталі (ручки, замки), що є критично важливим для забезпечення безпеки та функціональності будівель.

Для підвищення точності розпізнавання FPN буде інтегрована з сучасними моделями детекції об'єктів:

1) Faster R-CNN: Модель відома своєю високою точністю, особливо при поєднанні з FPN, оскільки це дає можливість якісно розпізнавати об'єкти на зображеннях з різними масштабами.

2) YOLOv2: Ця модель забезпечує високу швидкість детекції. В поєднанні з FPN вона буде ефективною для швидкого моніторингу стану будівель.

Результати проекту забезпечать сучасний підхід до автоматизованого моніторингу стану будівель. Підвищена точність і швидкість детекції сприятимуть зниженню витрат на обслуговування та забезпеченню безпеки будівель.

Подальші кроки:

- 1) Розробка датасету для навчання моделей, що містить приклади різних типів дефектів і будівельних об'єктів.
- 2) Навчання FPN разом з Faster R-CNN і YOLOv2 для створення гнучкої та масштабованої системи моніторингу.
- 3) Тестування системи на реальних будівельних об'єктах для оцінки точності та швидкості виявлення дефектів.

2.1.1. Актуальність проєкту, проблематика сфери.

Модернізація існуючих будівель є важливим аспектом покращення їх функціональності, енергоефективності та безпеки.

Використання нейронних мереж для автоматизації моніторингу стану будівель дозволяє:

- 1) Виявляти дефекти в структурі будівель (наприклад, тріщини або зношені елементи).
- 2) Забезпечувати персоналізоване управління системами будівлі для підвищення енергоефективності.
- 3) Проводити регулярний моніторинг для своєчасного виявлення можливих проблем і мінімізації витрат на обслуговування.

Зрозуміти актуальність допомагає діаграма на рисунку 2.1.



Рис. 2.1. Діаграма 5 «Чому?»

Модернізація будівель із використанням нейронних мереж є новаторським підходом, який стає дедалі актуальнішим у зв'язку з посиленням попитом на енергоефективність та зниження експлуатаційних витрат. Успішне впровадження такої системи потребує ефективного управління проектом, оскільки проект включає новітні технології та вимагає координації з різними зацікавленими сторонами.

Діаграма цілей на рисунку 2.2. допомагає зрозуміти необхідність впровадження нейронних мереж.

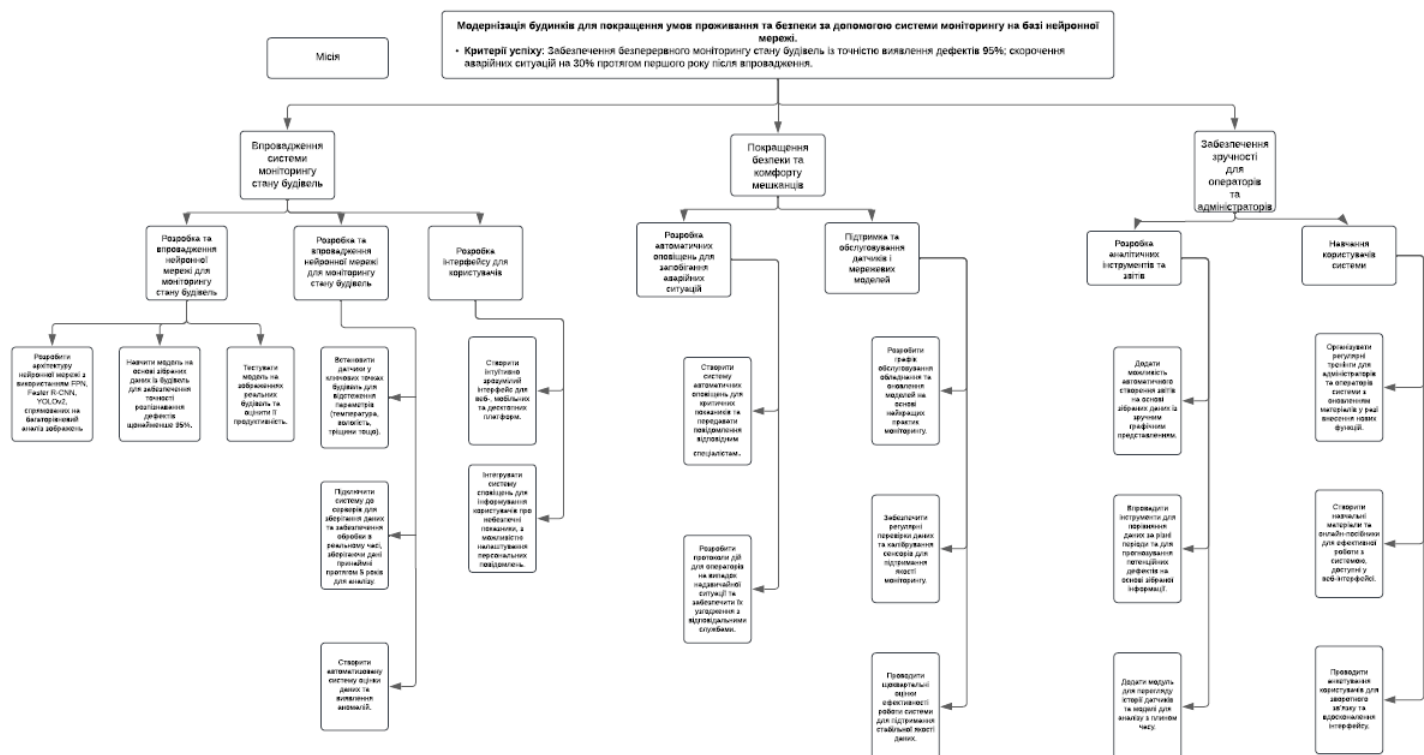


Рис. 2.2. Дерево цілей

Ключові показники ефективності (KPI):

Точність розпізнавання дефектів нейронною мережею (не менше 95%).

Своєчасне виявлення критичних ситуацій та мінімізація аварійних інцидентів на 30%.

Позитивний зворотний зв'язок від користувачів після навчання, зокрема рівень задоволеності понад 80%.

Критичні напрями для вирішення проблеми: інвестування в сучасні датчики, навчання технічного персоналу, оновлення IT-інфраструктури.

Конкретні заходи: розробка навчальних програм для операторів, підвищення обізнаності серед власників будівель про переваги цифрової модернізації, вдосконалення фінансування.

Це надає чіткий план для усунення основних факторів, які сприяють недостатньому моніторингу стану будівель, що є необхідним для підвищення якості моніторингу та безпеки будівель.

На дереві причин і наслідків, що на рисунку 2.3 відображено проблематику відсутності належного моніторингу будівель.

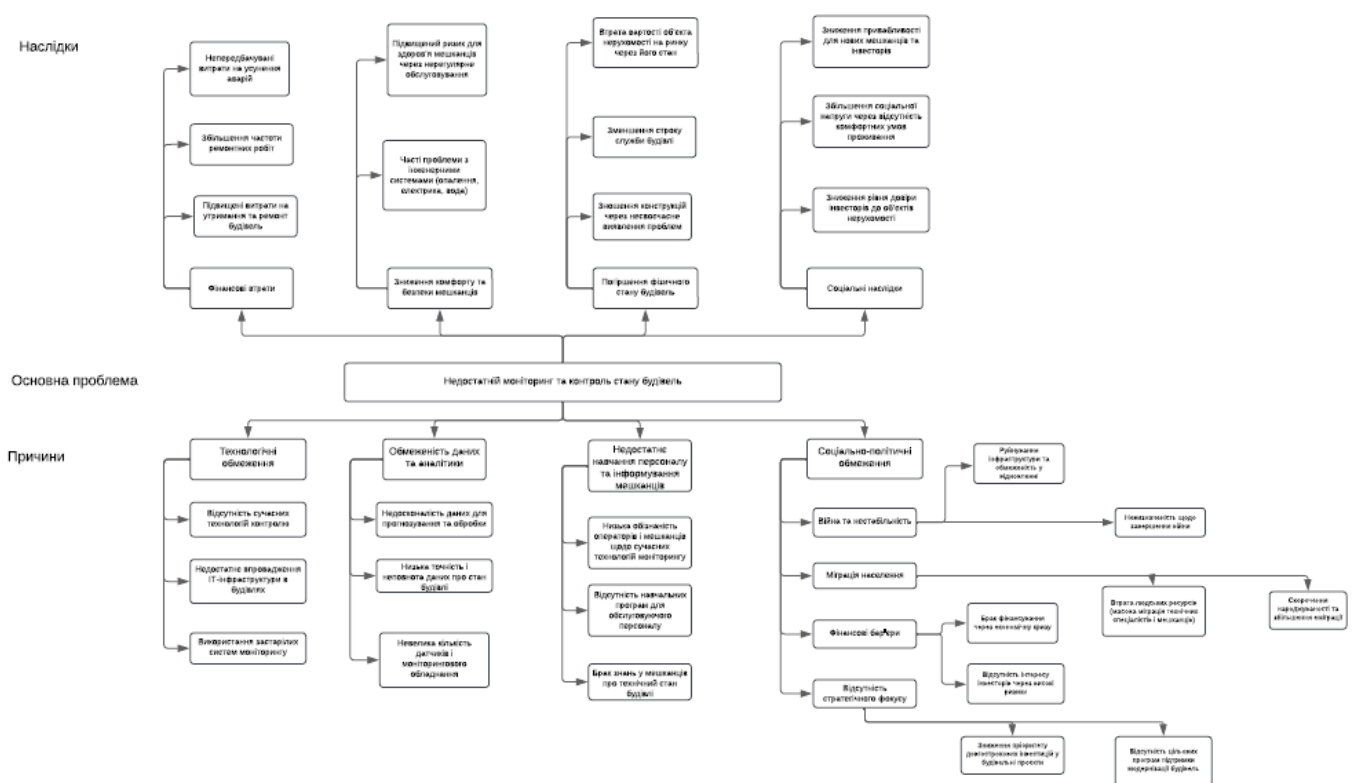


Рис. 2.3. Дерево причин і наслідків

2.1.2. Комунікаційна стратегія.

В таблиці 2.1 відображений аналіз контекстного впливу первинних зацікавлених сторін.

Таблиця 2.1.

Контекстний вплив первинних зацікавлених сторін

Категорія	Зацікавлені сторони	Очікування	Потреби в комунікації	Канали комунікації	Частота комунікації
Інвестори	Інвестори	Висока рентабельність, економічна вигода	Регулярні оновлення щодо статусу проекту, бюджетів, ризиків	Email-розсилки, брифінги	Щомісяця або на етапах змін
Замовник (власник будівлі)	Власники будівель	Підвищення енергоефективності, зниження експлуатаційних витрат	Детальні звіти про впровадження, економію, проблеми	Email-розсилки, робочі чати, особисті зустрічі	Щотижнево, при необхідності
Команда розробників	Технічна команда	Чіткі вимоги, підтримка, ресурсне забезпечення	Оперативна комунікація, підтримка в процесі роботи	Робочі чати (Slack, Telegram), email-розсилки	Щодня або за потребою
Управлінська команда	Керівники проект	Контроль за досягненням цілей, управління ризиками	Оперативні оновлення щодо статусу проекту, доступ до ресурсів	Брифінги, звіти, робочі чати	Щотижнево або на етапах змін
Державні органи	Регулятори	Відповідність стандартам енергоефективності та безпеки	Надання необхідної інформації для сертифікації та ліцензування	Email, звіти, особисті зустрічі	На етапах сертифікації
Партнери	Партнери (постачальники обладнання)	Якість і своєчасність поставок, оперативне сповіщення про зміни	Вчасна передача специфікацій, оновлення про потреби	Email-розсилки, робочі чати	При кожній зміні

В таблиці 2.2 відображено аналіз контекстного впливу вторинних зацікавлених сторін.

Таблиця 2.2.

Контекстний вплив вторинних зацікавлених сторін

Категорія	Зацікавлені сторони	Очікування	Потреби в комунікації	Канали комунікації	Частота комунікації
Місцеві громади	Мешканці будівель, місцеві органи	Підвищення комфорту, безпеки, зниження негативного впливу	Інформація про етапи та результати модернізації	Соціальні мережі, оголошення	При кожному етапі проекту
Потенційні клієнти	Орендарі, майбутні власники	Надійність, енергоефективність, інноваційність об'єктів	Демонстрація вигод проекту, оновлення про статус проекту	Соціальні мережі, профільні конференції	Регулярні оновлення
Постачальники додаткових послуг	Підрядники, обслуговуючі компанії	Довгострокове партнерство, стабільний попит на їхні послуги	Заявки на послуги, оновлення вимог та технічних специфікацій	Email, робочі чати, партнерські зустрічі	При кожному етапі закупівель
Екологічні організації	Екологічні НГО, зелені ініціативи	Зниження викидів, підвищення енергоефективності	Інформація про досягнуті стандарти енергоефективності	Інформація про досягнуті стандарти енергоефективності	Після кожного ключового етапу
Фінансові інститути	Банки, інвестиційні фонди	Повернення інвестицій, прозорість проекту	Прогнози прибутковості, фінансові звіти, статус проекту	Звіти, презентації	Щокварталу
Засоби масової інформації	Журналісти, медіа-платформи	Доступ до унікальних історій, інноваційні новини	Інформація про важливі досягнення проекту, релізи	Прес-релізи, інтерв'ю, соціальні мережі	При досягненні важливих результатів
Конкуренти	Інші компанії в галузі	Підвищення стандартів, підтримання ринкових позицій	Публічні результати проекту, нові стандарти в індустрії	Конференції, публікації	В міру розвитку проекту

Розглянемо матрицю впливів зацікавлених сторін та проаналізуємо отриманий результат на рисунку 2.4.

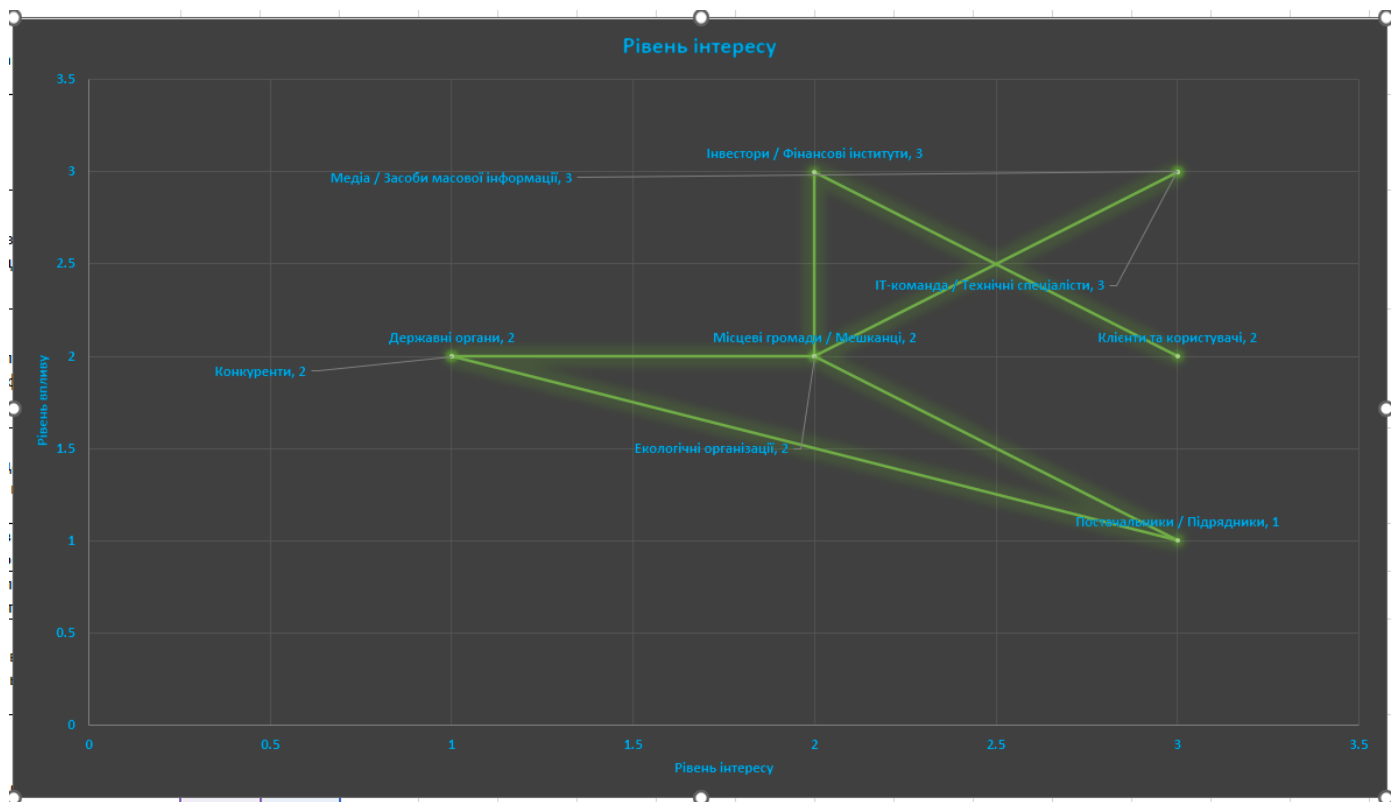


Рис. 2.4 Матриця впливів первинних та вторинних зацікавлених сторін.

Аналіз матриці впливу зацікавлених сторін дозволяє зрозуміти, як кожна група зацікавлених осіб може вплинути на проект і як краще взаємодіяти з ними, щоб досягти успіху в реалізації цілей проекту. Розглянемо основні висновки щодо позиціонування різних зацікавлених сторін на основі матриці:

Ключові зацікавлені сторони з високим рівнем впливу та інтересу (Клієнти, Користувачі, IT-команда, Проектний менеджер та команда):

Ці сторони потребують активного залучення, регулярних оновлень та тісної співпраці. Вони безпосередньо зацікавлені в успіху проекту і мають значний вплив на його реалізацію.

Клієнти є кінцевими бенефіціарами, а команда проекту відповідальна за його реалізацію, тому їх підтримка та задоволення критично важливі. IT-команда відповідає за технічну підтримку та впровадження, тому потрібно забезпечити їхню обізнаність та участь.

Сторони з високим впливом, але середнім або низьким рівнем інтересу (Інвестори, Державні органи):

Інвесторам слід надавати регулярні звіти та презентації, щоб тримати їх у курсі фінансової рентабельності проекту. Державні органи потребують дотримання всіх норм і стандартів, а також звітності для забезпечення відповідності регуляторним вимогам.

Інвестори зацікавлені у фінансових результатах, а не в деталях проекту, тому важливо фокусуватися на показниках окупності. Державні органи можуть впливати на дозвільні процеси, тому належна звітність і відповідність нормам є критично важливими.

Сторони з середнім рівнем впливу та інтересу (Постачальники, Підрядники, Медіа):

Постачальникам і підрядникам потрібно забезпечувати технічну інформацію та координувати їх роботу для досягнення необхідної якості. Медіа варто регулярно інформувати про ключові етапи проекту для підтримання репутації та громадської підтримки.

Постачальники та підрядники безпосередньо впливають на якість виконаних робіт, тому важлива координація та технічна підтримка. Медіа може сприяти позитивному іміджу проекту та допомогти в залученні уваги до його переваг.

Сторони з низьким впливом, але середнім рівнем інтересу (Конкуренти, Екологічні організації):

Важливо моніторити активність конкурентів і періодично інформувати екологічні організації про досягнення в енергозбереженні та інших екологічних показниках.

Конкуренти можуть зацікавитися проектом для отримання нових ідей або встановлення стандартів галузі. Екологічні організації можуть впливати на громадську думку, тому демонстрація екологічних досягнень проекту може бути вигідною для створення позитивного іміджу.

Групи з високим впливом і високим інтересом є основними зацікавленими сторонами проекту, і їхня підтримка або незадоволеність можуть

суттєво вплинути на його результат. Необхідно забезпечити тісну комунікацію, регулярні оновлення та залучення їх до процесу прийняття рішень.

Сторони з високим впливом, але низьким або середнім інтересом повинні бути інформовані про основні аспекти проекту, оскільки вони можуть здійснювати стратегічний вплив (наприклад, фінансування, дозвільна документація), навіть якщо не мають значної зацікавленості в операційних деталях.

Сторони з середнім або низьким впливом, але середнім інтересом можуть не суттєво впливати на успіх проекту, але їх підтримка може підсилити громадський імідж і підвищити репутацію проекту в суспільстві.

Цей аналіз допомагає визначити оптимальні стратегії управління для кожної групи зацікавлених сторін, сприяючи ефективному розподілу ресурсів для залучення та підтримання ключових учасників проекту.

2.1.3. Опис продуктів проекту

Проект "Управління модернізацією будинків за допомогою нейронної мережі" включає ряд кінцевих і проміжних продуктів, що мають на меті підвищення ефективності управління, моніторингу та автоматизації будівельних систем за допомогою штучного інтелекту. Нижче наведено опис основних продуктів, які будуть створені в рамках цього проекту.

Кінцеві продукти:

1) Рекомендаційна система на основі нейронної мережі:

Мета: Впровадження системи на основі Feature Pyramid Network (FPN) в поєднанні з моделями Faster R-CNN і YOLOv2 для точного виявлення та класифікації різноманітних елементів та дефектів у будівлях.

Функціонал: Визначення дефектів різного розміру (від великих тріщин до невеликих ознак корозії) та розпізнавання об'єктів різного масштабу (вікна, двері, дрібні елементи інтер'єру).

Переваги: Система забезпечить ефективний і гнучкий інструмент для моніторингу стану будівель, попереджуючи необхідність ремонту і сприяючи довготривалому збереженню будівельних конструкцій.

2) Розподілена база даних:

Мета: Створення розподіленої бази даних для зберігання великих обсягів даних, зібраних у процесі моніторингу.

Функціонал: База даних буде інтегрована з рекомендаційною системою, зберігатиме всі зображення, звіти, результати аналізу та інші важливі дані.

Переваги: Розподілена структура дозволить швидко обробляти дані, забезпечуючи їх доступність для аналітики та майбутніх досліджень.

3) Головна інформаційна система (IC):

Мета: Керування процесами модернізації, відстеження прогресу, аналіз даних та створення звітності.

Функціонал: Інформаційна система дозволить контролювати виконання проекту, виявляти проблеми та генерувати звіти для внутрішнього та зовнішнього використання.

Доступність: Система доступна через desktop-, web- та mobile версії, що забезпечує гнучкість і зручність користування для різних категорій користувачів.

4) Мобільний додаток:

Мета: Забезпечення користувачів та співробітників можливістю взаємодіяти із системою.

Функціонал: Дозволяє користувачам повідомляти про проблеми, переглядати статус модернізації, взаємодіяти з технічною підтримкою, а також переглядати статистику та звіти.

Переваги: Мобільний додаток забезпечить оперативну комунікацію та зворотний зв'язок, що сприятиме своєчасному усуненню несправностей.

5) Сайт:

Мета: Надання загальної інформації про продукт та компанію.

Функціонал: Сайт матиме публічну інформацію про продукт, компанію та особистий кабінет, через який клієнти зможуть отримати доступ до звітності, перевіряти статус проекту, а також взаємодіяти з командою підтримки.

Переваги: Забезпечує зручний спосіб для клієнтів та користувачів отримати актуальну інформацію та підвищує рівень обізнаності про продукт.

Проміжні продукти:

1) Звітність з впровадження інформаційних систем та автоматизації:

Мета: Оцінка ефективності кожного етапу реалізації проекту, а також впливу інформаційних систем на автоматизацію процесів.

Зміст: Звіти міститимуть кроки, часові рамки та аналіз результатів впровадження.

Переваги: В майбутньому дозволить проводити ретроспективний аналіз та покращувати методи реалізації проектів подібного типу.

2) Аналіз можливих загроз та проблем при інтеграції:

Мета: Ідентифікація та оцінка потенційних ризиків, що можуть виникати під час інтеграції нових систем.

Зміст: Включатиме аналіз типових проблем, рекомендації з їх уникнення та шляхи подолання.

Переваги: Забезпечить мінімізацію ризиків у майбутніх проектах та допоможе уникнути повторення помилок.

3) Покращені технології та системи контролю:

Мета: Розробка нових методів моніторингу та контролю якості.

Зміст: Включатиме тестування нових алгоритмів, оптимізацію існуючих процесів та впровадження новітніх технологій для контролю.

Переваги: Збільшення ефективності проекту та можливість впровадження цих розробок в інших проектах.

4) Інформаційні та дослідницькі дані:

Мета: Збір даних для подальшого аналізу ефективності проекту.

Зміст: Дані включатимуть показники продуктивності системи, результати обробки зображень, аналіз енергоефективності та інші важливі параметри.

Переваги: Нададуть цінну інформацію для прийняття управлінських рішень та майбутніх досліджень.

Аналіз та висновки:

Цей проект, окрім кінцевих продуктів, створить значну кількість проміжних продуктів, які можуть бути використані для покращення процесів управління, моніторингу та модернізації інших будівель. Розроблені технології та накопичені дані нададуть нові можливості для наукових досліджень, аналізу ефективності, а також посприяють покращенню бізнес-процесів компанії в майбутньому.

Загалом, всі продукти цього проекту формують комплексну систему управління модернізацією будинків за допомогою нейронних мереж, що дозволить забезпечити більш високий рівень автоматизації, ефективності та безпеки для будівельної галузі.

2.1.4. Вимоги до продуктів проекту.

Вимоги до продуктів проекту з модернізації будинків за допомогою нейронної мережі формуються на основі практик проектного менеджменту, таких як PMBOK (Project Management Body of Knowledge) та PRINCE2 (Projects IN Controlled Environments). Дотримання цих рекомендацій забезпечить успішну реалізацію проекту, підвищить ефективність управління та якість кінцевих продуктів.

Основні вимоги до продуктів проекту:

Функціональні вимоги

Це вимоги до основних функцій, які має виконувати кожен продукт для досягнення поставленої мети.

Рекомендаційна система на основі нейронної мережі:

Система має розпізнавати дефекти будівельних конструкцій різних розмірів та масштабу.

Інтеграція FPN із моделями Faster R-CNN та YOLOv2 повинна забезпечувати високу точність виявлення дефектів.

Алгоритми мають адаптуватися до нових даних, зберігаючи ефективність протягом усього циклу модернізації будівлі.

База даних має зберігати великі обсяги даних з можливістю швидкого доступу до них.

Інтеграція з рекомендаційною системою повинна бути безперервною та масштабованою.

База даних повинна підтримувати захист від несанкціонованого доступу та забезпечувати резервне копіювання даних.

Інформаційна система повинна дозволяти відстеження процесу модернізації, створення звітів і відправку повідомлень.

Вона має бути доступна для роботи через desktop-, web- та mobile-версії.

Повинна підтримувати зв'язок з іншими продуктами проєкту (мобільний додаток, база даних).

Додаток повинен дозволяти користувачам вносити дані, переглядати статус модернізації та отримувати сповіщення.

Має підтримувати багатоплатформність (iOS, Android).

Інтерфейс має бути зручним та інтуїтивно зрозумілим для користувачів різного рівня технічної підготовки.

Сайт має містити загальну інформацію про проєкт та компанію, а також забезпечувати доступ до особистого кабінету для клієнтів.

Повинен бути оптимізований для різних браузерів і пристроїв.

Мати механізми захисту особистих даних клієнтів та інформації про проєкт.

Нефункціональні вимоги

Вимоги, які впливають на характеристики продуктів, такі як продуктивність, безпека, зручність використання та надійність.

Продуктивність: Система має обробляти запити та аналізувати дані в режимі реального часу або близько до нього, особливо при великих обсягах даних.

Масштабованість: Продукти мають підтримувати масштабування у разі збільшення кількості користувачів чи обсягів даних.

Безпека: Система повинна забезпечувати надійний захист даних та доступу відповідно до стандартів безпеки інформації (наприклад, ISO 27001).

Доступність: Веб-сервіси, мобільний додаток і база даних мають мати високу доступність з мінімальними періодами простою.

Сумісність: Продукти повинні підтримувати інтеграцію з іншими системами та додатками, включаючи зовнішні API для можливого розширення функціоналу.

Якість кінцевих продуктів має відповідати вимогам замовника та користувачів, а також стандартам ISO (наприклад, ISO 9001 для забезпечення якості).

Точність: Рекомендаційна система повинна забезпечувати високий рівень точності в розпізнаванні об'єктів та дефектів.

Надійність: Система має бути стабільною та працювати без збоїв у критичних ситуаціях.

Юзабіліті: Інтерфейси користувача мають бути зручними та інтуїтивними для всіх цільових груп користувачів.

Зворотний зв'язок: Потрібна можливість легкої взаємодії з кінцевими користувачами для збору відгуків і покращення продукту.

Продукти повинні відповідати всім чинним законам, стандартам та етичним нормам.

Конфіденційність даних: Продукти повинні забезпечувати захист особистої інформації користувачів згідно із законами про конфіденційність (GDPR, Закон України "Про захист персональних даних").

Етичність: Використання даних має бути прозорим, і всі рішення, що приймаються на основі нейронної мережі, повинні відповідати етичним стандартам, зокрема уникати дискримінаційних рішень.

Відповідність будівельним нормам: Усі рекомендації системи повинні відповідати актуальним будівельним нормам і правилам.

Практичні рекомендації з управління вимогами:

Встановлення SMART-цілей: Вимоги повинні бути конкретними (Specific), вимірюваними (Measurable), досяжними (Achievable), реалістичними (Realistic) і часово обмеженими (Time-bound).

Агілевий підхід: Розділення розробки на спринти дозволить адаптувати вимоги.

Таблиця 2.3.

SMART-діаграма.

Критерій	Опис
Specific Конкретність	/ Розробити та протестувати модель нейронної мережі для автоматизованого моніторингу стану будівель на основі зображень. Модель повинна мати можливість виявляти та класифікувати дефекти на різних частинах будівлі (тріщини, корозія, пошкодження) із високою точністю, використовуючи архітектуру, що поєднує FPN, Faster R-CNN та YOLOv2 для забезпечення адаптивності до різних масштабів об'єктів.
Measurable Вимірюваність	/ Досягти точності моделі на рівні не менше 90% для виявлення дефектів на тестових даних. Кількість правильно класифікованих зображень повинна перевищувати 85% для основних типів дефектів. Час обробки одного зображення не має перевищувати 0.5 секунди. Провести аналіз продуктивності, включаючи порівняння швидкості та точності моделей, та представити результати у формі звіту.
Achievable Досяжність	/ Ціль є досяжною, оскільки доступні нейронні мережі, архітектури (FPN, Faster R-CNN, YOLOv2), а також необхідні обчислювальні ресурси для обробки зображень та тренування моделі. Команда має технічну експертизу в роботі з нейронними мережами, а також інструменти для збору та анотування даних.
Relevant Актуальність	/ Мета актуальна, оскільки автоматизований моніторинг на основі зображень дозволить зменшити витрати на ручну інспекцію та підвищити точність діагностики стану будівель. Це також дозволить покращити енергоефективність, безпеку та ефективність управління будівлями, що є важливим для ринку нерухомості.
Time-bound Обмеженість у часі	/ Зібрати та анотувати навчальні дані протягом перших 2 місяців. Провести експерименти з архітектурами FPN, Faster R-CNN і YOLOv2 та вибрати оптимальну модель за 3 місяці. Завершити навчання та оптимізацію обраної моделі протягом 5 місяців. Завершити тестування моделі на нових даних та підготувати остаточний звіт через 6 місяців після початку проекту.

Розробити та протестувати нейронну мережу для автоматизованого моніторингу стану будівель за зображеннями, яка досягатиме точності щонайменше 90% у виявленні дефектів та забезпечуватиме час обробки

зображення не більше 0.5 секунди, з метою зниження витрат на інспекцію та покращення управління будівлями. Всі етапи, включаючи збір даних, вибір та навчання моделі, а також підготовку звіту, мають бути завершені протягом 6 місяців.

2.2. Команда проєкту та кошторис проєкту.

Організація команди для проєкту з модернізації будинків за допомогою нейронних мереж для моніторингу стану будівель потребує залучення спеціалістів із різними технічними, управлінськими та дослідницькими навичками. Оптимальна структура команди передбачає такі ролі:

Керівник проєкту (Project Manager)

Завдання: Організовує та координує всі етапи проєкту, керує командою, відповідає за комунікацію із зацікавленими сторонами та управління ризиками.

Вимоги: Досвід в управлінні технологічними проєктами, знання методологій управління проєктами (PMBOK, Agile), навички комунікації та управління ризиками.

Data Scientist / ML-інженер

Завдання: Розробка та навчання нейронних мереж для обробки зображень. Вибір та оптимізація архітектури, поєднання моделей (FPN, Faster R-CNN, YOLOv2) для найкращих результатів.

Вимоги: Знання та досвід роботи з глибоким навчанням, зокрема з методами обробки зображень, програмування на Python, досвід із TensorFlow або PyTorch.

Computer Vision Engineer (Інженер комп'ютерного зору)

Завдання: Оптимізація та інтеграція моделей обробки зображень для реального часу. Підготовка алгоритмів для розпізнавання та класифікації дефектів.

Вимоги: Досвід роботи з алгоритмами комп'ютерного зору, знання бібліотек OpenCV, досвід розгортання моделей у production-середовищах.

Full Stack Developer (Програміст для веб- та мобільних застосунків)

Завдання: Розробка desktop-, web- та mobile-інтерфейсів для взаємодії з інформаційною системою.

Вимоги: Досвід із front-end та back-end розробкою, знання фреймворків (React, Node.js, Django), досвід з інтеграцією API.

DevOps Engineer

Завдання: Налаштування інфраструктури для розгортання, CI/CD, оптимізація ресурсів для тренування та підтримка моделі.

Вимоги: Знання AWS або Azure, досвід налаштування CI/CD, розуміння інфраструктури Docker/Kubernetes.

QA Engineer (Тестувальник)

Завдання: Забезпечення якості проєкту шляхом написання тестових сценаріїв для різних компонентів, перевірка коректності роботи.

Вимоги: Досвід із тестуванням веб- та мобільних додатків, знання основ автоматизованого тестування, знання інструментів для забезпечення якості.

Аналітик бізнес-процесів

Завдання: Визначення та документування вимог до продукту, аналіз бізнес-процесів для визначення ключових вимог до системи.

Вимоги: Знання основ бізнес-аналізу, розуміння галузі будівництва та нерухомості, досвід створення вимог до програмного забезпечення.

Для даного проєкту було розраховано витрати утримання команди та наведено у таблиці 2.4.

Даний кошторис та команда проєкту базуються на рекомендаціях із проєктного менеджменту, зокрема з PMBOK та PRINCE2, де зазначено важливість належного планування витрат, структури команди та резервування коштів для непередбачених витрат.

Таблиця 2.4.

Витрати утримання команди

№	Назва ресурсу	Кількість ресурсу	Кількість місяців	Ставка	Загалом проєкт
Трудові ресурси					
1.	Керівник проєкту	1	11 міс	6000	66 000
2.	Data Scientist / ML-інженер	1	616 год	37.50	23 100
3.	Computer Vision Engineer	1	224 год	31.25	7000
4.	Full Stack Developer	1	1239	28.13	34 881
5.	DevOps Engineer	1	336	25	8 400
6.	QA Engineer	1	447.98	21.88	9 802
7.	Аналітик бізнес-процесів	1	1904	25.00	47 600
Загалом					196 783
Матеріальні ресурси					
1.	Сервер для тренування моделей	1	11	15000	15000
2.	Кластер для зберігання даних	1	11	10000	10000
3.	Інші витрати на обладнання	1	11	5000	5000
4.	Ліцензії на TensorFlow, PyTorch та інші інструменти	1	11	5000	5000
5.	Витрати на хмарні обчислення (AWS, Azure)	1	11	10000	10000
6.	Інші технічні ліцензії	1	11	3000	3000
Загалом					48 000
Комунікаційні та адміністративні витрати					
1.	Проведення брифінгів, конференцій, консультацій	1	_____	_____	3000
2.	Маркетингові витрати (сайт, реклама)	_____	_____	_____	5000
3.	Офісні витрати та обслуговування	_____	_____	_____	2000
	Непередбачувані витрати (10% від загальної суми)	_____	_____	_____	25000
Загалом					35 000
Загалом за проєкт					279 783

Згідно з дослідженнями, пов'язаними із впровадженням інформаційних систем та штучного інтелекту (наприклад, Jones et al., 2019), підготовка кваліфікованих кадрів і закупівля відповідного обладнання є критичними факторами успішної реалізації проєктів у галузі високих технологій.

Статистика в Project наведена на рис. 2.5.

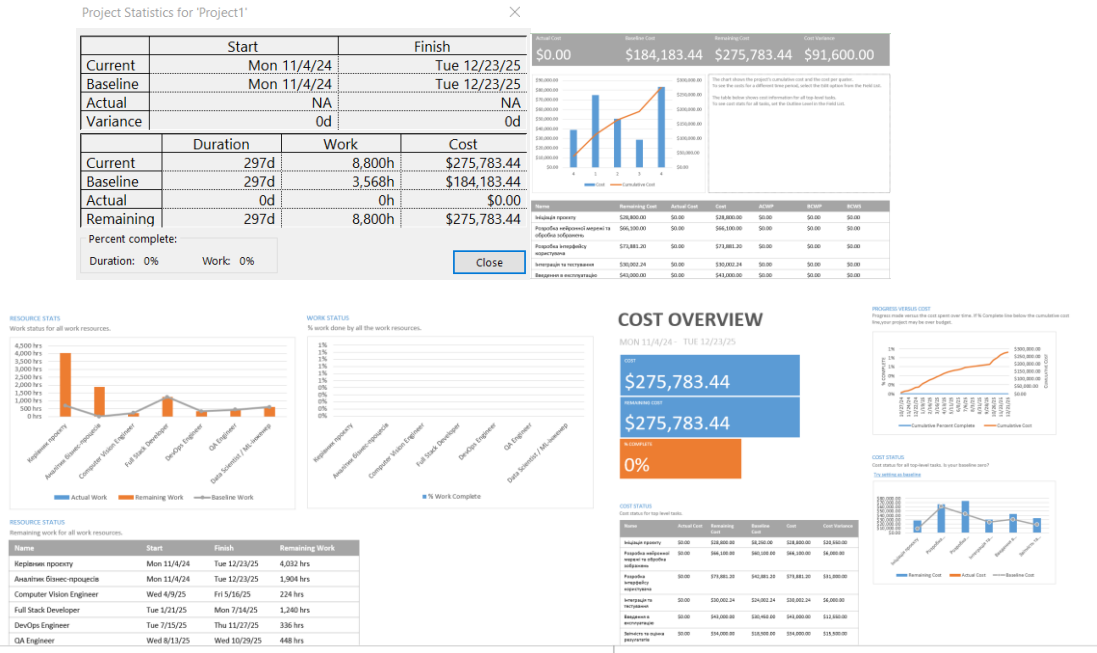


Рис 2.5. Бюджет в Project

Діаграма про загальний розмір зарплати в розрізі працівників.

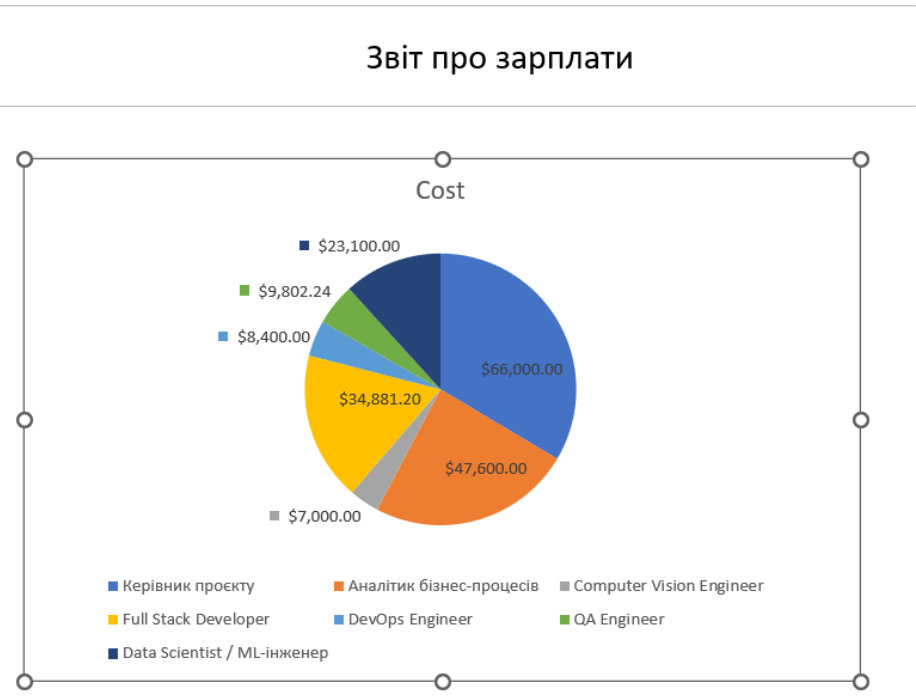


Рис. 2.6. Діаграма заробітні плати.

Звіт про матеріальні ресурси на діаграмі 2.7.

Звіт про матеріальні ресурси



Рис. 2.7. Діаграма витрат матеріальні ресурси.

Звіт про загальні витрати на рис. 2.8.

Звіт про загальні витрати

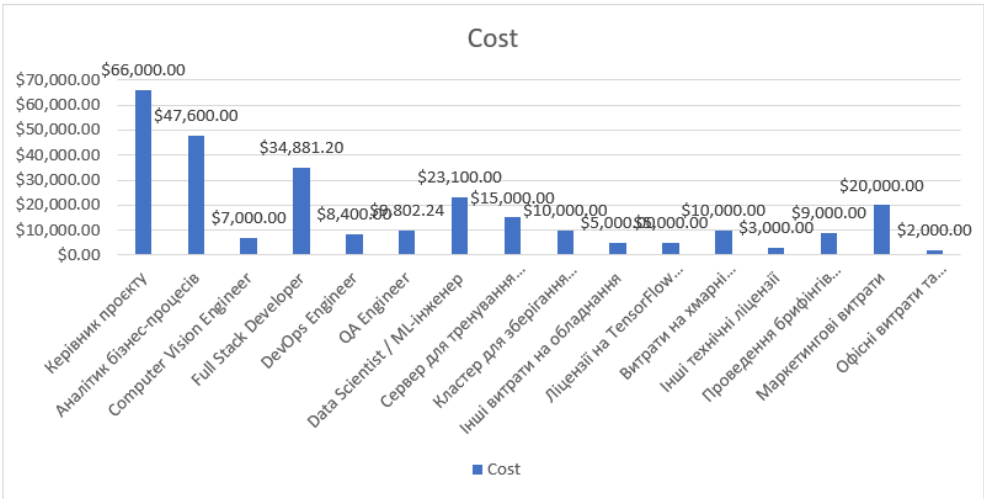


Рис. 2.8. Діаграма витрат.

Звіт про загальні витрати

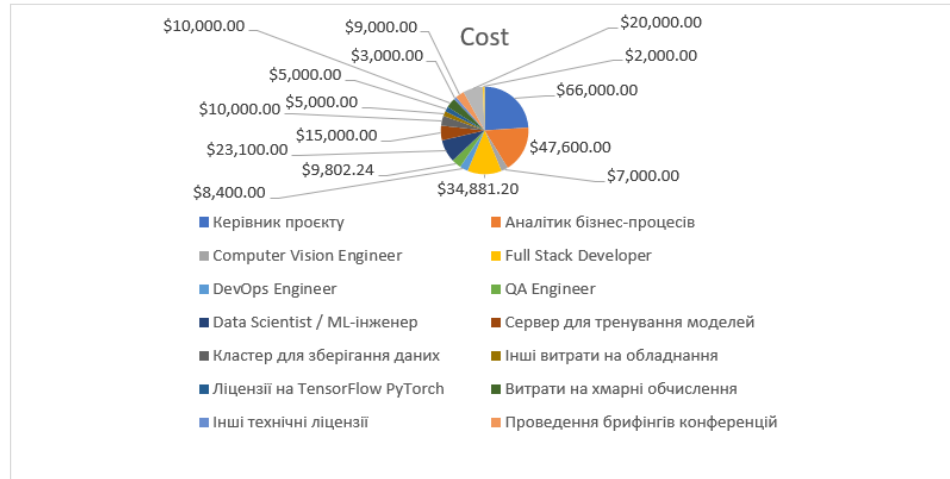


Рис. 2.9. Діаграма витрат.

2.2.1. Earned value management продукту.

Проведемо моделювання показників з Project, що відображено на рисунку 2.10.

Start	Finish	% Complete	ACWP	BCWP	BCWS	Cost	CV	EAC
Mon 11/4/24	Fri 6/26/26	9%	\$9,425.00	\$800.00	\$19,085.71	\$132,532.72	(\$8,625.00)	\$3,249,073.65

Рис. 2.10. Моделювання показників з Project

У досліджуваному проєкті «Модернізація будинків з використанням сучасних технологій», початок якого було заплановано на 11/4/2024, а завершення - на 6/26/2026 (поточний відсоток завершення: 9%) було змодульовано його виконання і розраховані такі показники:

ACWP (Фактичні витрати): \$800.00

BCWP (Освоєний обсяг): \$9,425.00

BCWS (Плановий обсяг): \$19,085.71

Cost (Загальні витрати): \$132,532.72

CV (Відхилення за витратами): (\$8,625.00)

EAC (Прогнозований бюджет): \$3,249,073.65

SV (Відхилення за графіком): (\$18,285.71)

Відхилення за графіком (SV):

$$SV = BCWP - BCWS = 9,425.00 - 19,085.71 = -18,285.71$$

Інтерпретація: Проект відстає від графіка на \$18,285.71, що свідчить про затримку в реалізації запланованих робіт.

Відхилення за витратами (CV):

$$CV = BCWP - ACWP = 9,425.00 - 800.00 = 8,625.00$$

Інтерпретація: Негативне значення \$CV\$ (\$-8,625.00\$) вказує на перевитрату бюджету щодо освоєного обсягу.

Індекс виконання за графіком (SPI):

$$SPI = \frac{BCWP}{BCWS} = \frac{9425}{19085.71} = 0.494$$

Інтерпретація: Значення $SPI < 1$ вказує на значне відставання проекту від запланованого графіка.

Індекс виконання за витратами (CPI):

$$CPI = \frac{BCWP}{ACWP} = \frac{9425}{800} = 11.78$$

Інтерпретація: Значення $CPI > 1$ вказує на високу економічну ефективність проекту. Незважаючи на відхилення за графіком, витрати використовуються ефективно.

Прогнозований бюджет (EAC):

$$EAC = BAC(\text{без змін у витратах}) = 3,249,073.65$$

Інтерпретація: Поточні дані не вказують на зміну загального бюджету проекту.

BCWS, BCWP, ACWP: Згідно з графіком, фактичний прогрес (BCWP) суттєво відстає від планового (BCWS), але витрати (ACWP) залишаються низькими, що позитивно впливає на CPI.

SV та CV: Обидва показники є негативними, але SV (графік) має суттєве відхилення, що вимагає коригувальних дій для вирівнювання графіка.

Коригування графіка:

Використання прискорених методів реалізації окремих задач.

Перерозподіл ресурсів для завершення критичних задач.

Моніторинг витрат:

CPI свідчить про економічне використання бюджету, тому необхідно підтримувати цю ефективність.

Прогнозування ризиків:

Переглянути можливість впливу затримок на загальний бюджет (EAC).

Оцінити ризики, пов'язані з відставанням за графіком, і розробити план дій.

Використання інструментів EVM:

Регулярний моніторинг SPI, CPI та їх тенденцій для вчасного реагування.

2.3. Архітектура інформаційної системи продукту проєкту.

Архітектура інформаційної системи продукту для проєкту з модернізації будинків за допомогою нейронних мереж може включати наступні компоненти:

1. Загальна архітектура системи

Інформаційна система складається з трьох основних рівнів:

- Рівень збору даних: відповідає за отримання інформації про стан будівель, зображення, дані сенсорів та іншу інформацію.
- Рівень обробки даних: забезпечує аналіз отриманих даних за допомогою нейронних мереж та обчислювальних алгоритмів.
- Рівень представлення та взаємодії: відповідає за доступ користувачів до інформації через інтерфейси (web, mobile, desktop) та формує звітність.

2. Основні компоненти архітектури

Джерела даних: сенсори IoT, камери та інші пристрої для отримання даних з будівель.

Нейронна мережа для обробки зображень: використовує такі моделі, як FPN (Feature Pyramid Network), Faster R-CNN та YOLOv2 для розпізнавання дефектів і зносів на будівельних елементах.

База даних: зберігає структуровані та неструктуровані дані, отримані від сенсорів і після обробки нейронними мережами. Рекомендується використання реляційних баз даних для структурованих даних (наприклад, PostgreSQL) та NoSQL для зберігання зображень і логів (наприклад, MongoDB).

Аналітичний модуль: надає можливість виконувати аналітичні обчислення, оцінювати ризики та прогнозувати стан об'єкта на основі історичних даних.

Інтерфейс користувача: включає desktop, web та mobile інтерфейси для взаємодії з системою. Інтерфейси дозволяють переглядати поточний стан об'єктів, отримувати рекомендації, формувати звіти тощо.

Сервіс звітності: генерує звіти про стан будівель, результати аналізу та рекомендації для користувачів та адміністрації.

Хмарні обчислювальні потужності: для масштабованості та обробки великих обсягів даних система використовує хмарні платформи (AWS, Azure, Google Cloud) для тренування та роботи нейронних мереж.

3. Технічні деталі та інтеграція

API-шлюзи: забезпечують комунікацію між компонентами системи, такими як мобільний застосунок, нейронна мережа та бази даних. REST або GraphQL API може використовуватись для запитів і взаємодії між модулями.

CI/CD та DevOps інструменти: забезпечують автоматичне розгортання і підтримку системи, використовуючи інструменти, такі як Docker і Kubernetes для контейнеризації та оркестрації, а також Jenkins або GitLab для автоматизації тестування і розгортання.

Система управління доступом та безпекою: контролює рівні доступу до системи, забезпечує безпеку даних через шифрування та автентифікацію користувачів.

Система логування та моніторингу: забезпечує збір і зберігання логів, що дозволяє відстежувати роботу системи, виявляти проблеми та оптимізувати продуктивність. Інструменти, такі як Prometheus та Grafana, можуть бути використані для моніторингу та збору метрик.

4. Функціональні модулі системи

Модуль збору даних: приймає зображення і дані від сенсорів для подальшої обробки.

Модуль обробки та розпізнавання зображень: виконує первинну обробку зображень та визначає дефекти і зноси будівлі.

Модуль прийняття рішень: на основі оброблених даних генерує рекомендації щодо обслуговування та ремонту.

Аналітичний модуль: формує прогнози про можливе зношення будівельних конструкцій та інші параметри на основі зібраних даних.

Модуль звітності та рекомендацій: генерує звіти для користувачів та надає рекомендації з обслуговування та модернізації будівель.

5. Модель даних та база даних

База даних зберігає:

- Зображення для обробки та аналізу.
- Результати розпізнавання дефектів на зображеннях.
- Інформацію про сенсори та події, зокрема дані з пристроїв IoT.
- Логи та метрики для моніторингу системи.

6. Безпека та захист даних

Захист даних під час передачі (TLS/SSL) та в стані спокою (шифрування бази даних).

Контроль доступу за допомогою ролей користувачів для визначення рівня доступу до даних.

Резервне копіювання даних і відновлення на випадок збою для забезпечення безперервності роботи.

7. Інтеграція з іншими системами

Система може бути інтегрована з системами управління будівлями (BMS) для автоматичного управління внутрішніми процесами, такими як вентиляція, опалення, освітлення.

Інтеграція з системами моніторингу енергоспоживання для оптимізації витрат на енергоресурси.

Така архітектура забезпечує:

- Високу гнучкість і масштабованість системи.
- Можливість автоматизованого збору даних і їх аналізу.
- Прийняття обґрунтованих рішень на основі точного аналізу даних.
- Взаємодію користувачів через різні платформи (web, mobile, desktop)

з доступом до актуальної інформації.

2.4. Структура бази даних продукту проєкту.

Зв'язки між таблицями

Buildings ↔ MonitoringData: Один до багатьох. Кожен будинок може мати кілька записів даних моніторингу.

Buildings ↔ Sensors: Один до багатьох. Кожен будинок може мати кілька датчиків.

NeuralNetworkModels ↔ ModelParameters: Один до багатьох. Кожна модель має набір параметрів.

Buildings ↔ MaintenanceRecords: Один до багатьох. Кожен будинок може мати кілька записів обслуговування.

Buildings ↔ Alerts: Один до багатьох. Кожен будинок може мати кілька оповіщень.

Users ↔ Reports: Один до багатьох. Кожен користувач може створювати кілька звітів.

Ця структура бази даних дозволяє зберігати і управляти великим обсягом інформації про будинки, стан їхніх систем, процеси моніторингу та нейронні мережі, що використовуються для їхньої оцінки. База даних також забезпечує інструменти для збору статистики, сповіщень і звітності, що допомагає в прийнятті рішень та покращенні ефективності обслуговування будинків.

Інфологічна структура бази даних на рис. 2.11.

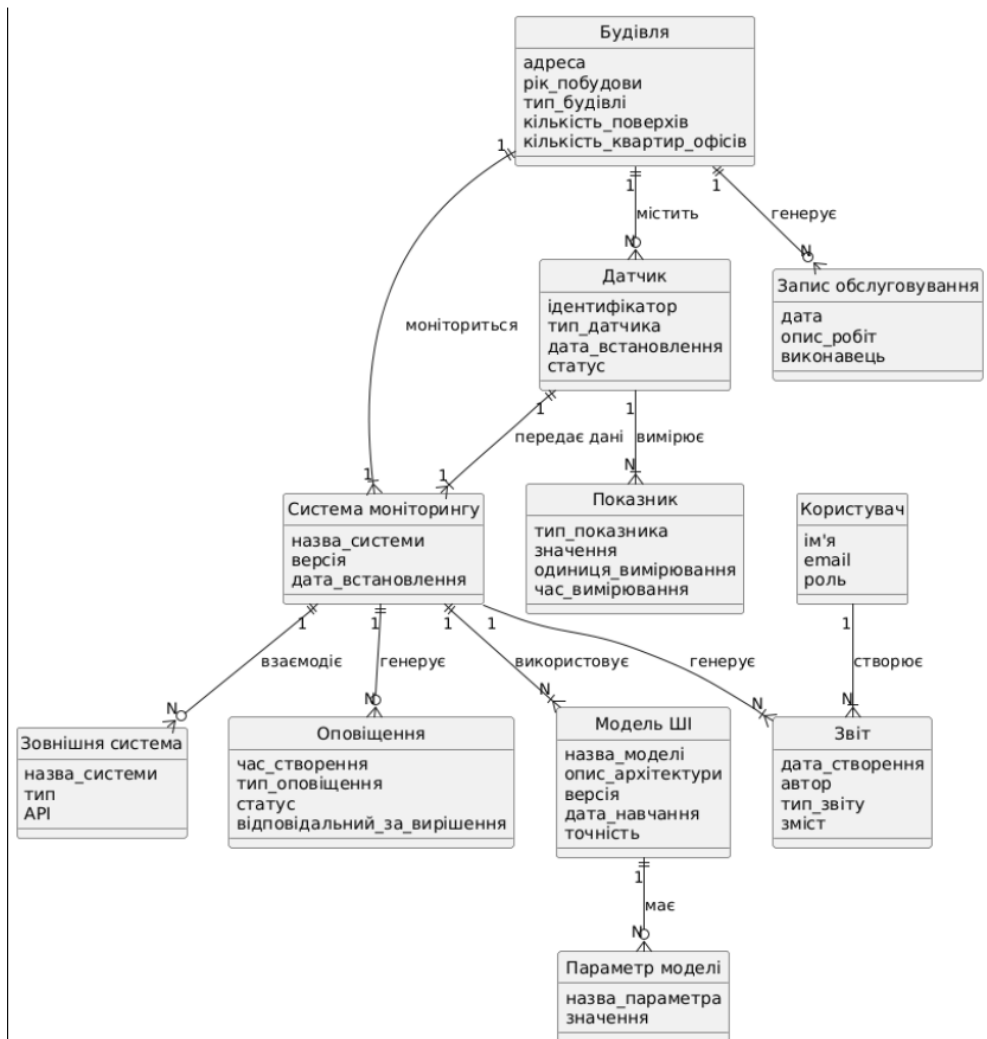


Рис. 2.11 Інфологічна структура бази даних

На рисунку 2.12 відобразимо логічну структуру бази даних:

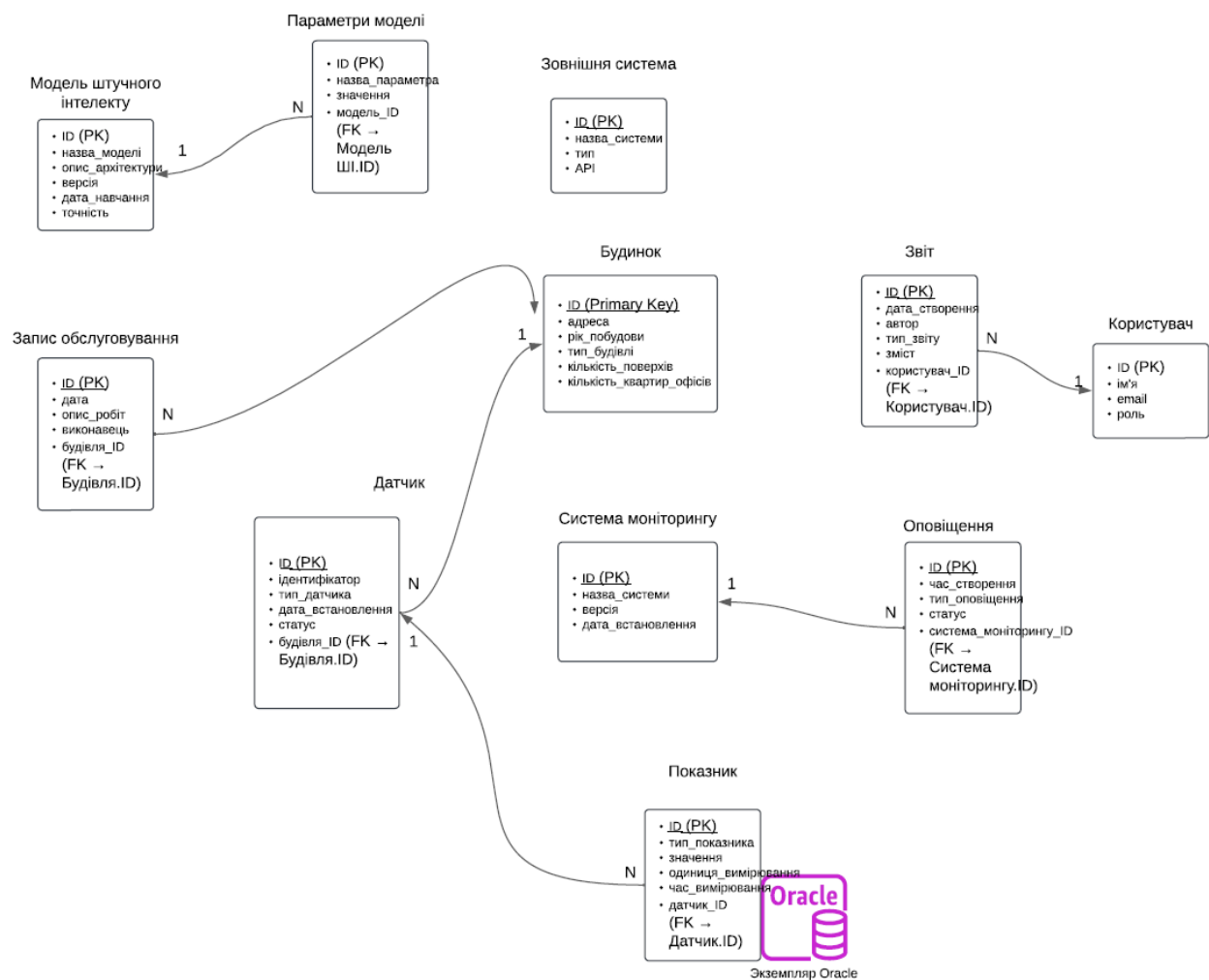


Рис. 2.12 Логічна структура бази даних

РОЗДІЛ 3. ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ В УПРАВЛІННІ ДОСЛІДЖУВАНИМ ПРОЄКТОМ

3.1. Управління змістом проєкту. WBS і роботи проєкту

Управління змістом проєкту — це один із ключових аспектів проектного менеджменту, який спрямований на визначення та контроль всіх елементів, необхідних для успішного завершення проєкту. Це передбачає чітке формулювання всіх завдань, які мають бути виконані, і встановлення кордонів проєкту. Основною метою управління змістом є забезпечення того, щоб проєкт охоплював усі роботи, необхідні для його завершення, і не включав нічого зайвого.

Декомпозиція робіт (WBS) — це ключовий інструмент управління змістом проєкту, який забезпечує структуроване розбиття проєкту на окремі роботи, етапи або завдання. WBS дозволяє розділити проєкт на ієрархічні рівні, що допомагає краще організувати і контролювати виконання всіх елементів проєкту.

Основні цілі WBS:

Розбиття проєкту на зрозумілі компоненти для чіткого визначення обсягу робіт.

Визначення ієрархії завдань і підзавдань для ефективного контролю і звітності.

Спрощення розподілу відповідальності, забезпечуючи розподіл завдань між членами команди.

Структура WBS проєкту відображена в додатку 1.

3.2. Організаційна структура команди

Організаційної структури команди для проєкту з модернізації будівель з використанням штучного інтелекту

1. Керівник проєкту (Project Manager)

Відповідає за загальне управління проєктом.

Координує роботу команди, забезпечує відповідність строків і якості результатів.

Спілкується з зацікавленими сторонами та звітує про хід проєкту.

2. Аналітик бізнес-процесів (Business Analyst)

Збирає вимоги від зацікавлених сторін, проводить аналіз бізнес-вимог і технічних вимог.

Формулює цілі та ключові показники ефективності.

Співпрацює з командою для забезпечення узгодженості між бізнес-вимогами та реалізацією.

3. Data Scientist / ML-інженер

Відповідає за розробку та оптимізацію нейронної мережі для аналізу стану будівель.

Займається збором, анотацією та обробкою даних для навчання моделей.

Відповідає за тестування, оптимізацію та впровадження моделей машинного навчання.

4. Інженер комп'ютерного зору (Computer Vision Engineer)

Оптимізує моделі для роботи в реальному часі.

Інтегрує алгоритми для зниження затримок і забезпечення роботи моделі на продуктивному середовищі.

5. Full Stack Developer

Розробляє інтерфейси для користувачів (desktop, web, mobile).

Інтегрує інтерфейси з моделями машинного навчання та базою даних.

Відповідає за забезпечення зручності та функціональності інтерфейсів.

6. Інженер DevOps

Налаштовує серверну інфраструктуру та забезпечує її підтримку.

Розгортає систему на хмарних сервісах, забезпечує захист даних та безпеку доступу.

Здійснює інтеграцію всіх компонентів у систему.

7. QA Engineer (інженер з якості)

Розробляє тестові сценарії та виконує тестування системи.

Забезпечує відповідність програмного забезпечення вимогам та стандартам якості.

Проводить системне тестування та верифікацію виправлень.

8. Користувачі (Operators, Administrators)

Використовують систему для контролю стану будівель.

Надають зворотний зв'язок щодо роботи системи для подальшого покращення.

Організаційна структура команди проєкту відображена на рисунку 3.1.

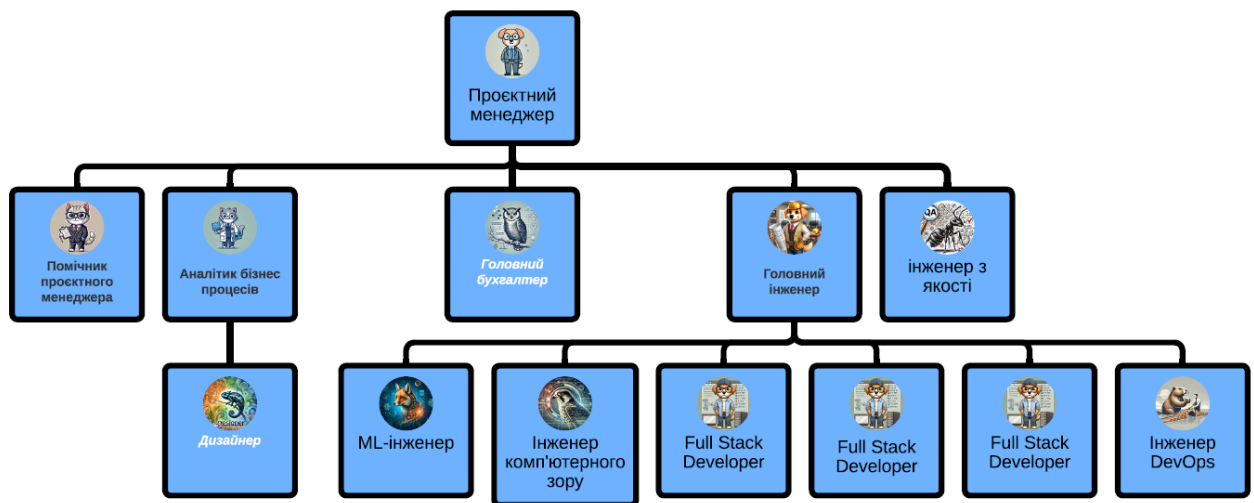


Рис. 3.1. Організаційна структура проєкту.

3.3. Вигляд фінального продукту

Кінцевим продуктом є комплексне рішення комп'ютерного зору для структурного аналізу та виявлення дефектів у будівлях. Він призначений для ідентифікації та класифікації різних структурних елементів і потенційних дефектів за допомогою передових методів глибокого навчання, зокрема, інтеграції Faster R-CNN із магістраллю Feature Pyramid Network (FPN) для підвищення точності та надійності багатомасштабного виявлення об'єктів.

3.3.1. Опис датасету

Розподіл і аналіз класів

Набір даних містить 12 класів, кожен з яких представляє окремі об'єкти (наприклад, балкони, корозія, тріщини, двері).

Найбільш часто анотованим класом є «вікна» з 604 анотаціями, а найменше — «поруччя» з 26 анотаціями.

Дисбаланс класів: існує явний дисбаланс класів із нерівним розподілом анотацій. Це може вплинути на продуктивність моделі:

Класи з меншою кількістю анотацій (наприклад, «поручень») можуть призвести до зниження точності виявлення через недостатню кількість навчальних зразків. Розподіл класів відображено на рис. 3.2.



Рис. 3.2. Діаграма розподілу класів.

Методи передискретизації, збільшення даних або вибірка з урахуванням класу під час навчання можуть допомогти збалансувати процес навчання.

Представлення домену: поширеність таких класів, як «вікна» та «балкони», свідчить про те, що набір даних наголошує на фасадах будівель.

Розбиття набору даних

Набір даних поділяється на навчання (81%), перевірку (13%) і тестування (6%).

Загальна кількість зображень: 743 (599 у процесі навчання, 97 у процесі перевірки, 47 у процесі тестування).

Збалансоване розділення: відсотки розподілу забезпечують достатньо даних для навчання, водночас резервуючи достатню кількість зразків для перевірки та тестування. Однак невеликий набір тестів (6%): хоча він забезпечує достатньо даних для навчання, невеликий набір тестів може погано узагальнювати невидимі дані. Розширення тестового набору принаймні на 10-15% може покращити надійність оцінки.

Попередня обробка та доповнення: попередня обробка (автоматична орієнтація та зміна розміру до 640x640) і горизонтальне гортання забезпечують послідовний розмір і варіації вхідних даних, запобігаючи переобладнанню.

Загальна кількість анотацій: 1964 на 482 зображеннях.

Середня кількість анотацій на зображення: 4,1.

Середній розмір зображення: 3000x4000 пікселів (орієнтація по висоті).

На рисунку 3.3 відображено статистику датасету.

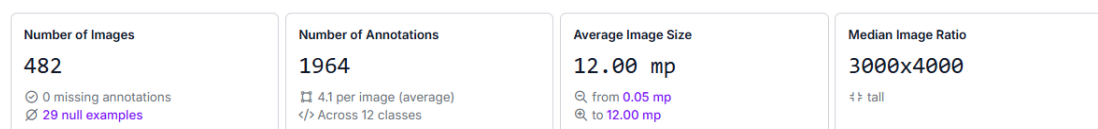


Рис. 3.3. Статистика датасету

Щільність анотацій: у середньому 4,1 анотації на зображення:

Розріджені анотації: зображення з меншою кількістю анотацій можуть не надати достатньо навчальних прикладів для кожного зображення.

Складність: зображення з багатьма анотаціями можуть ускладнити обчислення під час навчання та висновків.

Розмір зображення та орієнтація: Переважання високої орієнтації (76,6%) свідчить про те, що набір даних зосереджений насамперед на вертикальних будівельних конструкціях:

Можна змінити розмір або обрізати зображення до квадратного співвідношення для однорідності, мінімізуючи артефакти, спричинені розміром під час згортання.

Набір даних групує розміри зображень у:

Jumbo (85%): великомасштабні зображення для детальних анотацій.

Великий (12%): менша роздільна здатність.

Середній (3%): Мінімальне представництво.



Рис. 3.4. Діаграма розкиду.

Співвідношення сторін показують більшість зображень як високі (76,6%), з кількома широкими або квадратними зображеннями.

Однорідність співвідношення сторін: домінування високих зображень означає необхідність нормалізувати співвідношення сторін під час попередньої обробки.

Розподіл за розміром: великі зображення (84,9%) пропонують анотації високої роздільної здатності, але можуть вимагати зменшення розміру, щоб запобігти обмеженням пам'яті GPU під час навчання.

Теплова карта на рисунку 3.5 підсвічує області, де анотації зосереджені в рамці зображення.

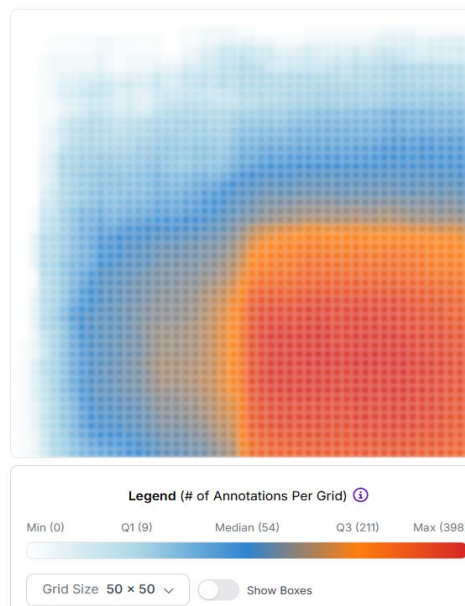


Рис. 3.5. Теплова діаграма.

Щільність анотацій: кластери анотацій у певних областях (наприклад, нижні кути для балконів, центр для тріщин) вказують на позиційне зміщення.

Для покращення датасету можна розглянути такі доповнення, як довільне обрізання та обертання, щоб забезпечити різноманітність розташування об'єктів під час навчання, використовувати функції втрат, зважені за класом, або повторення вибірку недостатньо представлених класів під час навчання.

Також можна застосувати методи аугментації спеціально для менш частих занять.

Можна збільшити розмір набору тестів, щоб забезпечити кращі показники узагальнення, змінити розмір або обрізати зображення до узгодженого співвідношення, щоб запобігти викривленням під час навчання.

При спостереженні статистики Heatmap: Переконайтесь, що доповнення зосереджені на рідко анотованих регіонах, щоб покращити просторове узагальнення.

Оцінка продуктивності за класом: Можна використовувати такі показники, як криві Precision-Recall, щоб аналізувати продуктивність моделі в незбалансованих класах.

3.3.2. Архітектура моделі, інтерпретація результатів.

Швидший R-CNN: використовується як базова система виявлення, що забезпечує високу точність і надійність.

FPN Backbone: покращує багатомасштабне виявлення об'єктів шляхом об'єднання об'єктів з різних рівнів, покращуючи ідентифікацію малих і великих об'єктів.

Конструктивні елементи: балкони, двері, вікна, дахи, фасади.

Основні показники ефективності відображені в додатку 2.

Практичні результати дослідження моделі на рисунку 3.6 показують:



Рис. 3.6. Аналізований об'єкт з відміченими регіонами.

Результати точності моделі на рисунку 3.7:

```
Detected Objects:  
- Object: drone attack (Confidence: 0.96%)  
  Bounding Box: [1573.17, 46.75, 3397.81, 1839.05]  
- Object: drone attack (Confidence: 0.79%)  
  Bounding Box: [441.06, 35.07, 3745.62, 2312.24]  
- Object: drone attack (Confidence: 0.71%)  
  Bounding Box: [1999.75, 71.37, 3217.59, 1359.51]
```

Рис. 3.7. Результати точності моделі

Опис технічних умов проведення навчання моделі

1. Навчання моделі на локальному комп'ютері (CPU)

Технічні характеристики комп'ютера:

Процесор: Intel(R) Core(TM) i5-5200U CPU @ 2.20GHz (2 ядра, 4 потоки).

Оперативна пам'ять: 8 ГБ.

Операційна система: Windows 10 Home (64-розрядна, версія 22H2).

Графічний адаптер: Інтегрована графіка (не підходить для роботи з сучасними глибокими моделями на GPU).

Особливості навчання:

Процес навчання на CPU:

Тренування моделі на CPU значно повільніше, особливо для великих датасетів і моделей, таких як Faster R-CNN.

Час навчання збільшується експоненційно зі зростанням кількості епох або складності моделі.

Для невеликих датасетів (наприклад, кілька сотень зображень) навчання може займати декілька днів.

Обмеження оперативної пам'яті: 8 ГБ RAM може бути недостатньо для роботи з великими датасетами.

Навантаження на CPU: Висока завантаженість процесора під час навчання може уповільнити роботу інших програм.

Тепловиділення та обмеження частоти: При тривалих обчисленнях CPU може знижувати частоту через перегрівання.

2. Навчання моделі в Google Colab (GPU NVIDIA L4)

Характеристики GPU NVIDIA L4:

Обчислювальна потужність:

CUDA Cores: ~7,424.

Tensor Cores: 24 для прискорення матричних операцій.

Пам'ять GPU: 24 ГБ GDDR6.

Підтримка Mixed Precision: Оптимізація обчислень для швидшого навчання моделей без втрати точності.

Архітектура: Ampere.

Особливості навчання:

Процес навчання на GPU:

Завдяки паралельній обробці, навчання значно швидше (в 10-50 разів) порівняно з CPU.

Навчання великих моделей, таких як Faster R-CNN, на середніх датасетах (наприклад, 3,000-5,000 зображень) займає кілька годин.

Переваги Google Colab:

Доступність: Безкоштовне використання GPU L4 (з обмеженнями сесій).

Масштабованість: Можливість використовувати кілька GPU при використанні Colab Pro.

Стабільність: Підтримка бібліотек для глибокого навчання, таких як PyTorch і TensorFlow.

Аналіз двох середовищ в яких проводилось навчання моделі відображено в таблиці 3.1

Таблиця 3.1

Аналіз середовищ навчання нейронних моделей

Характеристика	Локальний CPU Intel I5-5200U	GPU I4
Час навчання	2 + дні	2-4 год.
Обчислювальна потужність	Низька	Висока
Пам'ять	8 ГБ RAM	24 ГБ VRAM
Можливість паралелізації	Обмежена	Висока
Обмеження часу	Немає	12 год. Безкоштовний план

На рисунку 3.8 відображені параметри навчання:

```
# Update paths for Google Colab
root = "/content/drive/My Drive/Buildings_Lviv.v15i.coco/train"
annFile = "/content/drive/My Drive/Buildings_Lviv.v15i.coco/train/_annotations.coco.json"

train_dataset = CustomCocoDetection(root=root, annFile=annFile)
train_loader = DataLoader(train_dataset, batch_size=2, shuffle=True, num_workers=0, collate_fn=collate_fn)

model = fasterrcnn_resnet50_fpn(weights=FasterRCNN_ResNet50_FPN_Weights.COCO_V1).to(device)

optimizer = torch.optim.SGD(model.parameters(), lr=0.005, momentum=0.9, weight_decay=0.0005)
lr_scheduler = torch.optim.lr_scheduler.StepLR(optimizer, step_size=3, gamma=0.1)

num_epochs = 20
loss_history = []
```

Рис. 3.8 Найкращі параметри з усіх тестованих елементів.

На рисунку 3.9 відображені хід навчання моделі:

```

index created!
Epoch 1/30 - Training: 100%|██████████| 960/960 [03:41<00:00, 4.34it/s]
Epoch 1/30 - Average Training Loss: 0.3070
Evaluating: 100%|██████████| 179/179 [00:22<00:00, 7.96it/s]
Precision: 4.77%
Recall: 68.57%
Average IoU: 0.76
Epoch 2/30 - Training: 100%|██████████| 960/960 [03:41<00:00, 4.34it/s]
Epoch 2/30 - Average Training Loss: 0.2385
Evaluating: 100%|██████████| 179/179 [00:22<00:00, 8.00it/s]
Precision: 5.84%
Recall: 63.76%
Average IoU: 0.76
Epoch 3/30 - Training: 100%|██████████| 960/960 [03:41<00:00, 4.33it/s]
Epoch 3/30 - Average Training Loss: 0.2047
Evaluating: 100%|██████████| 179/179 [00:22<00:00, 8.01it/s]
Precision: 6.16%
Recall: 53.53%
Average IoU: 0.75
Epoch 4/30 - Training: 100%|██████████| 960/960 [03:41<00:00, 4.33it/s]
Epoch 4/30 - Average Training Loss: 0.1543
Evaluating: 100%|██████████| 179/179 [00:22<00:00, 8.05it/s]
Precision: 7.23%

```

Рис. 3.9 Хід навчання моделі.

3.3.3. Математична модель faster R-CNN з FPN

Алгоритм, що використовується в моделі, базується на моделі Faster R-CNN з FPN (Feature Pyramid Network). Faster R-CNN — це сучасний метод об'єктного детектування, який використовує регіональні пропозиції для локалізації об'єктів у зображеннях. Feature Pyramid Network (FPN) додає багаторівневу фічуризацію, яка покращує виявлення об'єктів різного масштабу.

Модель Faster R-CNN складається з наступних основних компонентів:

Функція втрат (Loss Function): Загальна функція втрат складається з двох компонентів:

$$L(\{p_i\}, \{t_i\}) = \frac{1}{N_{cls}} \sum L_{cls}(p_i, p_i^*) + \lambda \frac{1}{N_{reg}} \sum p_i^* * L_{reg}(t_i, t_i^*), \quad 3.1$$

де $L_{cls}(p_i, p_i^*)$ – втрати класифікації (перехресна ентропія),

$L_{reg}(t_i, t_i^*)$ – втрати регресії (модифікована Smooth L1 Loss),

p_i – передбачуваний клас,

t_i – передбачені координати рамок,

λ – ваговий коефіцієнт для збалансування втрат.

Feature Pyramid Network (FPN): FPN використовується для багаторівневої фічуризації, що забезпечує адаптацію до різних масштабів об'єктів. В основі лежить ієрархічна функція:

$$P_l = \text{Conv}(F_l) + \text{Upsample}(P_{l+1}),$$

де F_l – фічури рівня l , а P_l – об'єднані фічури на тому ж рівні.

Region Proposal Network (RPN): RPN генерує попередні пропозиції рамок для потенційних об'єктів. Математично, мережа мінімізує втрати:

$$L_{\text{RPN}} = \frac{1}{N_{\text{cls}}} \sum L_{\text{cls}}(p_i, p_i^*) + \lambda \frac{1}{N_{\text{reg}}} \sum_i p_i^* L_{\text{reg}}(t_i, t_i^*) \quad (3.2)$$

RoI Align: Для вирівнювання регіональних пропозицій до фіксованого розміру використовується алгоритм RoI Align.

Етапи алгоритму

Обробка даних:

Зчитуються зображення та анотації у форматі COCO.

Преобробка зображень через ToTensor.

Анотації перетворюються у формат координат (x1, y1, x2, y2).

Тренування:

Вхідні зображення та мітки передаються в Faster R-CNN з FPN.

Модель виконує форвард-проходження, повертаючи функції втрат:

classification_loss

regression_loss

Виконується зворотний прохід і оновлення ваг через оптимізатор SGD.

У режимі оцінювання (evaluation mode) модель генерує передбачення.

Порівняння з ground truth для оцінки якості моделі.

Ключові моменти реалізації

Обробка даних: Вхідні дані: Зображення у форматі COCO з координатами рамок у форматі (x,y,w,h). Вихідні дані: Анотації у форматі (x1, y1, x2, y2), що використовуються для оптимізації.

Архітектура моделі: Faster R-CNN з FPN: Глибока фічуризація через ResNet50. Багаторівнева фічуризація через FPN.

Використання RPN для пропозицій регіонів.

Тренування: Оптимізація виконується з використанням SGD:

$$\theta_{t+1} = \theta_t - \eta \nabla L(\theta_t), \quad 3.3.$$

де η – швидкість навчання, а ∇L – градієнт функції втрат.

3.3.4. Архітектура програмного забезпечення та вигляд програмного застосунку.

На основі натренованих моделей які розпізнають об'єкти підключено ChatGPT API, та програма надає відповідні рекомендації, які можна зберігати в текстовому форматі на комп'ютері.

Програма виявляє об'єкти, пов'язані з проблемами побудови на зображенні, за допомогою моделі Faster R-CNN, створює стратегії відновлення для виявлених об'єктів за допомогою GPT, додає до зображення обмежувальні рамки та рекомендації, створює технічний звіт із узагальненням виявлених проблем та способів їх вирішення.

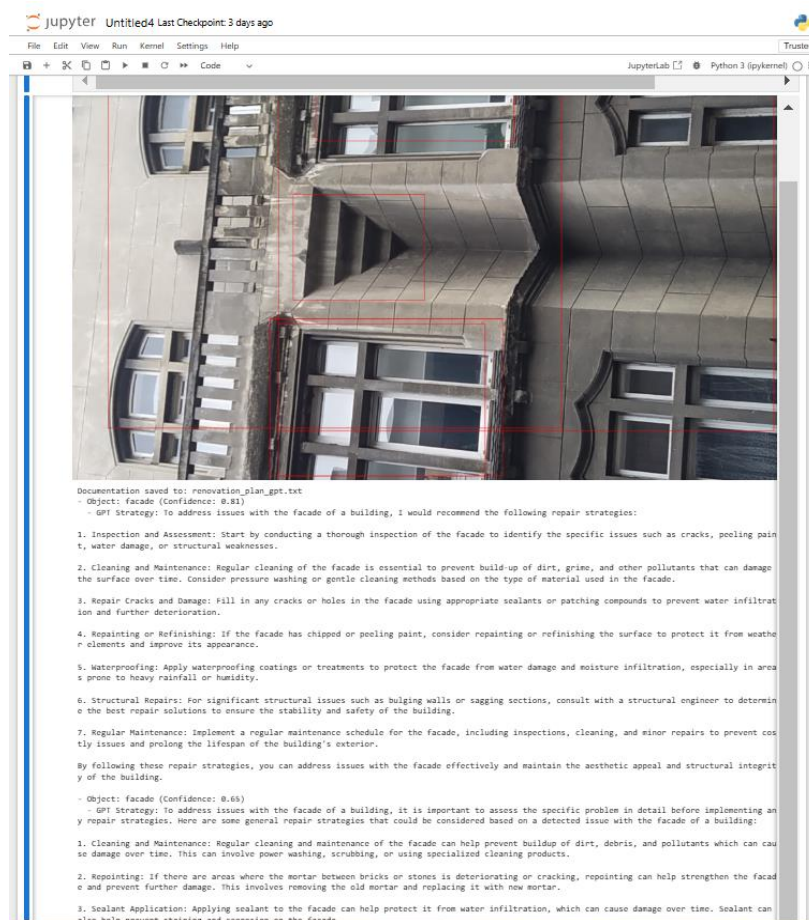


Рис. 3.10. Робота програми з відміченими регіонами.

Налаштування та завантаження моделі крок: `load_model()`

Модель Faster R-CNN — це модель глибокого навчання для виявлення об'єктів, яка поєднує:

1) Мережа регіональних пропозицій (RPN): створює пропозиції обмежувальних рамок.

2) Класифікатор і регресор: класифікує об'єкти та уточнює координати обмежувальної рамки.

Прохідний перехід моделі обчислює:

$$P = f_{RPN}(I, \theta_{RPN}), \quad (3.4)$$

де I — вхідне зображення, а θ_{RPN} — параметри RPN.

Регіональні пропозиції P класифікуються та регресують:

$$(C, B) = f_{Head}(P, \theta_{head}), \text{ де} \quad (3.5)$$

де C — імовірності класу, а B — координати обмежувальної рамки.

Реалізація:

1. Завантаження попередньо підготовлених ваг (`torch.load(model_path)`).
2. Переведення моделі у режим оцінювання (`model.eval()`).

Аналіз зображення

Крок: `analysis_image_with_gpt()`

Попередня обробка зображення:

Вхідне зображення перетворюється на тензор за допомогою:

$$I_{\text{tensor}} = T(I), \quad (3.6)$$

де T — функція перетворення, яка нормалізує значення пікселів.

Виявлення об'єктів:

Пропускаємо зображення через модель:

$$P_{\text{predictions}} = f_{\text{Faster-RCNN}}(I_{\text{tensor}}), \quad (3.7)$$

Виходи:

P_{boxes} : координати обмежувальної рамки.

Pscores: оцінки достовірності для кожного об'єкта.

Мітки: мітки класу для виявлених об'єктів.

Порогове значення:

Фільтруємо прогнози на основі показників надійності ($P_{\text{scores}} > 0.5$):

$$\text{Selected Boxes} = \{B_i | S_i > 0.5\} \quad (3.8)$$

GPT Query for Recommendations:

For each detected object, a problem description is created:

Description = Detected issue: L_i * Confidence: S_i

Опис надсилається до GPT, який генерує відповідь:

$$R_i = f_{\text{GPT}}(\text{Description}). \quad (3.9)$$

Створюється колекція метаданих, тобто інформація про кожен об'єкт, яка зберігається як метадані для подальшого використання.

Анотування зображення

Крок: `annotate_image()` малює обмежувальні рамки та мітки на зображенні за допомогою:

Координати прямокутника: (x_1, y_1, x_2, y_2) .

Додається текстова анотацію ($L_i + S_i$).

Label = Class Name + Confidence

Технічна документація

Крок: `process_image_with_gpt()`

Друкується структурований звіт із розділами для:

Виявлених проблем:

Додаються координати обмежувальної рамки, мітки та оцінки достовірності.

Стратегії ремонту:

Додаються рекомендації щодо ремонту, створені GPT.

Кожен запис звіту використовує:

Report Entry={Label, Confidence, Bounding Box, Strategy}

Метадані (обмежувальні рамки, мітки, показники надійності та рекомендації GPT) зберігаються як файл .pnu для повторного використання:

Save(M) → problem_metadata.npy

Використовується імовірнісна класифікація:

$P(C|R)$ для кожної регіональної пропозиції.

Оптимізуємо регресію обмежувальної рамки за допомогою:

$$L_{\text{reg}} = \sum_{i=1}^N \text{Smooth}LI(B_i, B'_i) \quad 3.10.$$

Мовна модель генерує контекстні відповіді:

$$R = f_{\text{GPT}}(D), \quad (3.11)$$

де D – опис проблеми.

Автоматизовано створення технічних звітів за допомогою структурованих даних і відповідей GPT.

Також реалізовано можливість системи рекомендацій без використання chat GPT API шляхом підготовки рекомендацій щодо виявленого об'єкту. Результат роботи відображено на рисунку 3.11

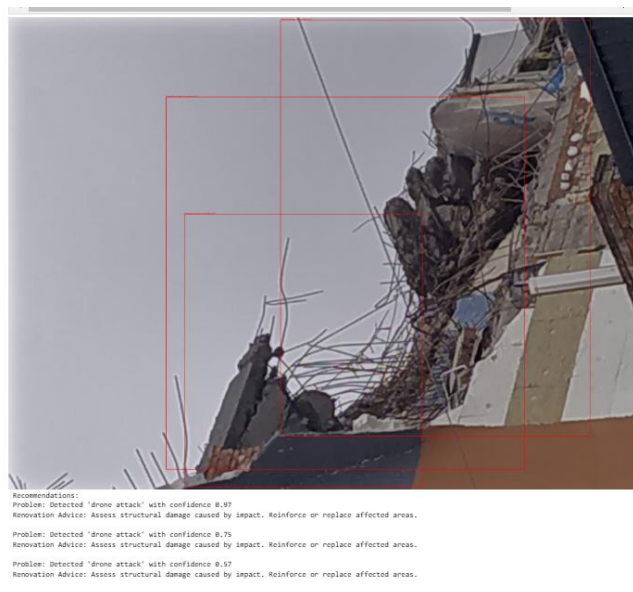


Рис. 3.11 Надання рекомендацій на основі заготовлених шаблонів..

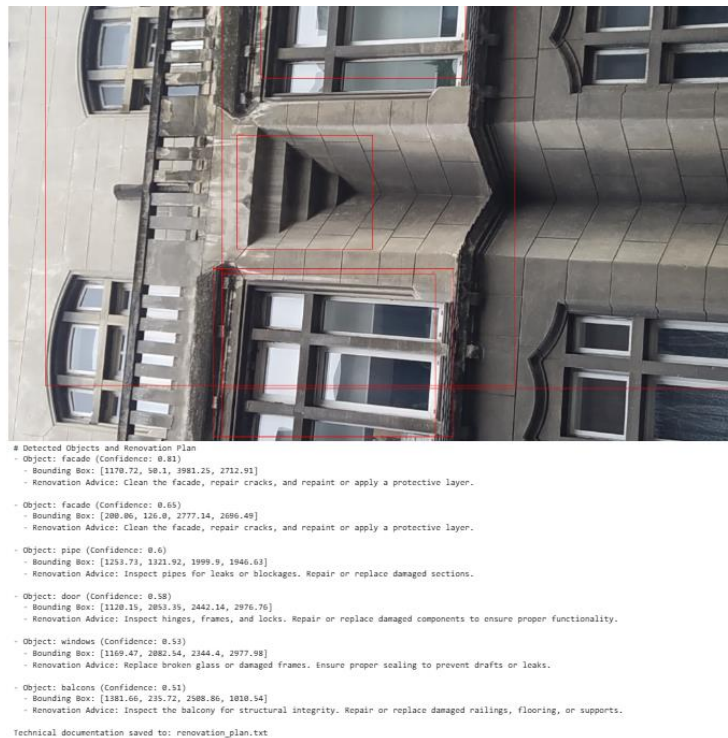


Рис. 3.12. Надання рекомендацій на основі заготовлених шаблонів.

Визначимо акторів та систему на рис. 3.13:

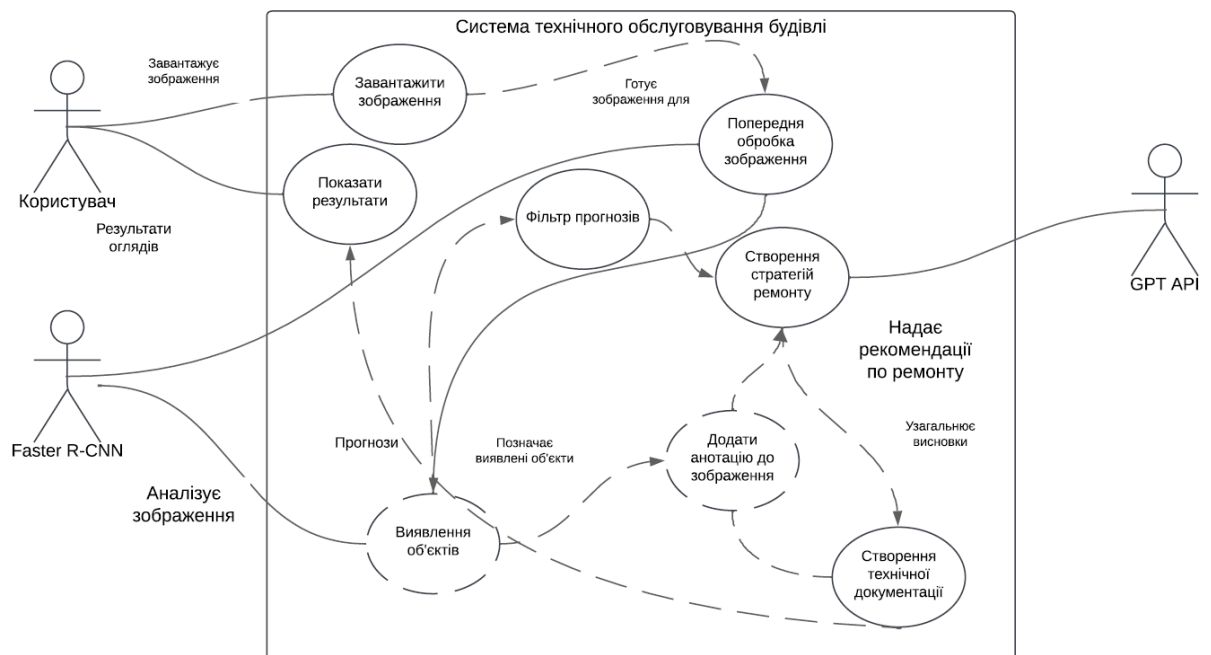


Рис. 3.13. Діаграма використання.

Блок схема алгоритму роботи програми представлена на рис. 3.14:

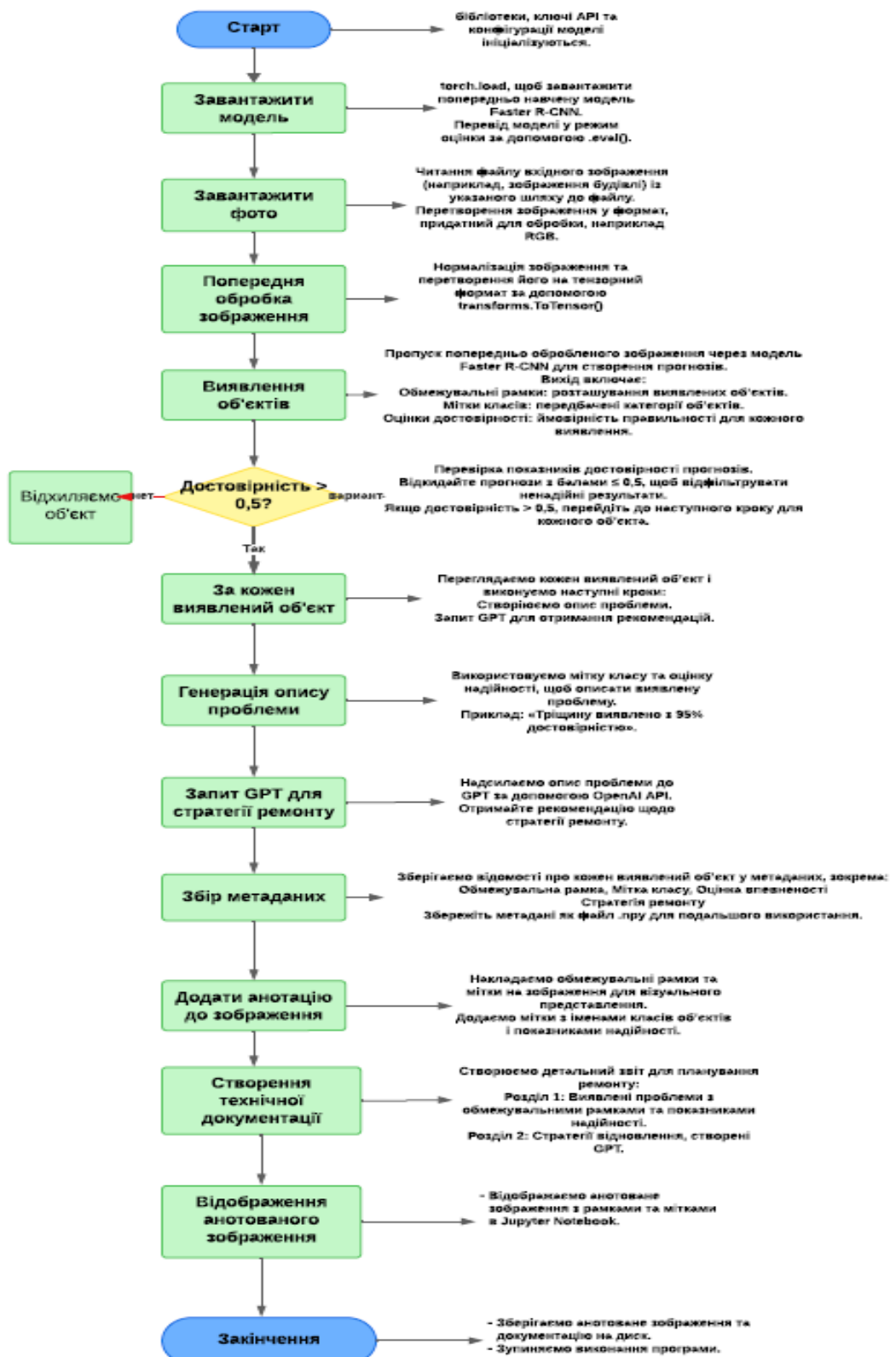


Рис. 3.14. Блок схема алгоритму

Діаграма станів на рис. 3.15. відображає роботу програми таким чином:



Рис. 3.15. Діаграма станів

Діаграма компонентів на рис. 3.16. деталізує роботу програми:

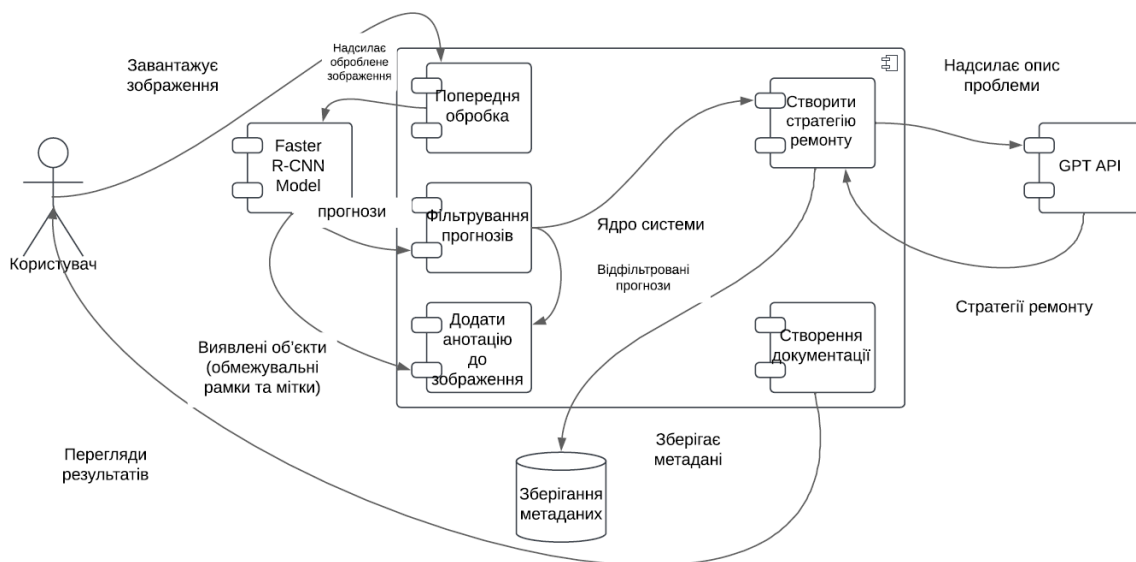


Рис. 3.16 Діаграма компонентів.

Для використання API ChatGPT було сплачено рахунок в 10 дол. США. При здійсненні декілька сотень тестових запитів було витрачено 0,04 дол. США, що відображено на рисунку 3.17.

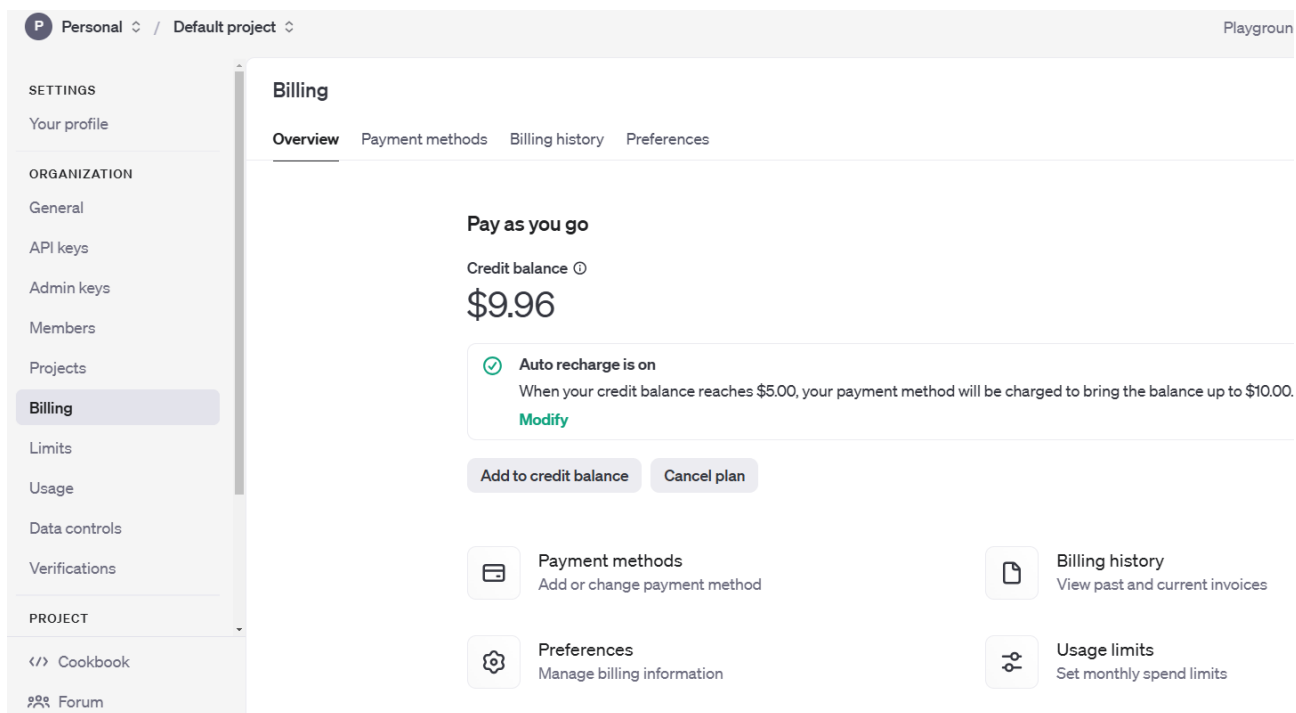


Рис. 3.17 Акаунт API.

0.03 дол. США було знято за використання мовної моделі, що відображено на рисунку 3.18.

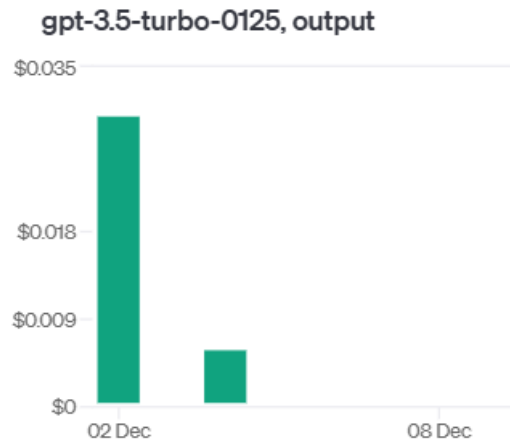


Рис. 3.18 Використання мовної моделі.

Для тренування моделей з використанням GPU на графічному редакторі L4 було сплачено 10 дол. США за 100 обчислювальних одиниць.

Станом на дату здачі проєкту використано 42 одиниці, що орієнтовно становить 4 дол. США, що відображено на рис. 3.19:

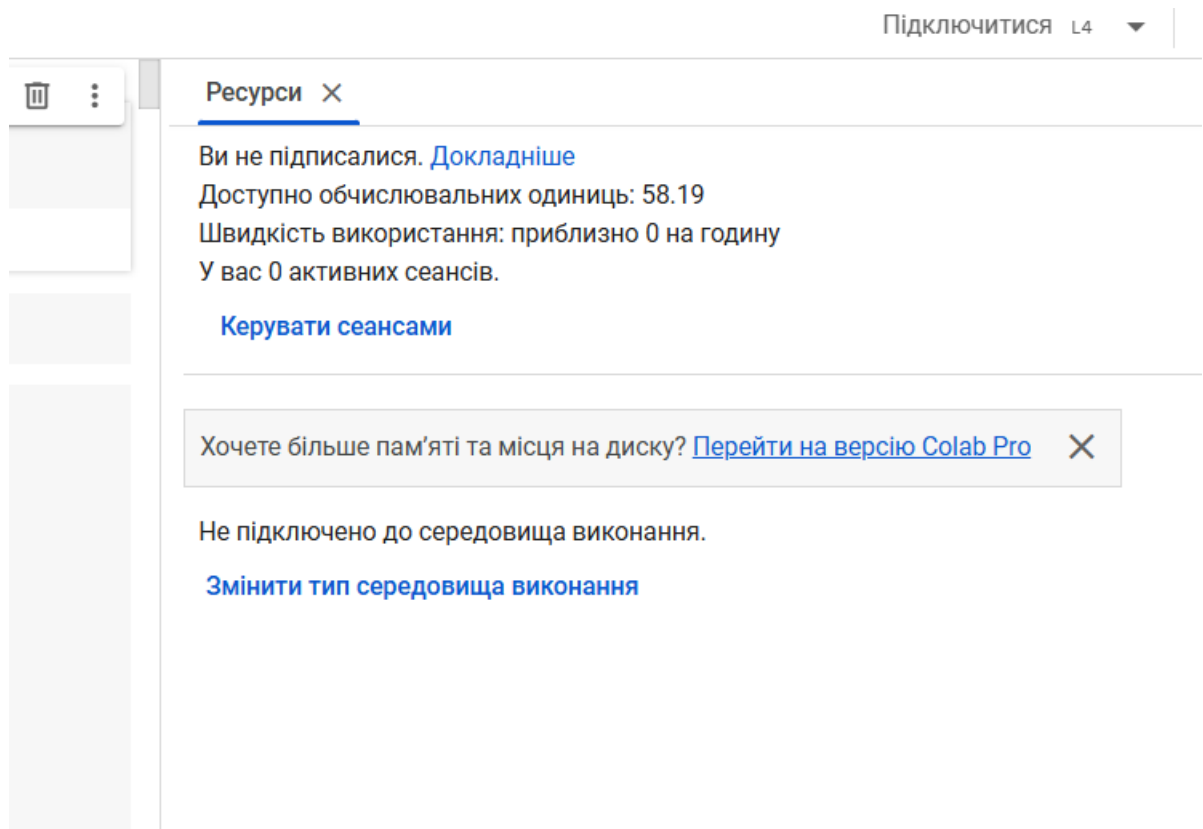


Рис. 3.19 Облік обчислювальних одиниць GPU.

3.3.5 Тренування моделі

Магістраль (ResNet-50 з FPN)

Роль: вилучення функцій із вхідних зображень.

Архітектура: ResNet-50 — це глибока залишкова мережа з пропускаючими з'єднаннями, які покращують градієнтний потік під час навчання. FPN додає багатомасштабні карти функцій для виявлення об'єктів різного розміру.

Функція активації є ReLU (випрямлена лінійна одиниця): $\text{ReLU}(x) = \max(0, x)$. Це вводить нелінійність, зберігаючи при цьому ефективне зворотне поширення.

ReLU запобігає зникненню градієнтів і прискорює тренування.

Мережа регіональних пропозицій (RPN) генерує регіони-кандидати, які можуть містити об'єкти.

Алгоритм прив'язки: попередньо визначені рамки в різних масштабах і співвідношеннях сторін.

Результати дає відповідь: оцінки об'єктності (це об'єкт?) і координати обмежувальної рамки.

Функція втрати: поєднує втрати класифікації (об'єктивність) і втрати регресії (уточнення обмежувальної рамки).

Об'єднання ROI

Роль: видобуток карт об'єктів фіксованого розміру з регіонів-кандидатів.

Метод: застосовує білінійну інтерполяцію для вирівнювання пропозицій регіону з картами об'єктів.

Роль: остаточна класифікація та регресія обмежувальної рамки для кожної пропозиції регіону.

Повністю пов'язані шари класифікують регіони на класи об'єктів.

Регресор обмежувальної рамки уточнює координати рамки.

Активация Softmax забезпечує ймовірності між класами.

Використовується формат набору даних COCO (обмежувальні рамки та мітки).

Перетворює обмежувальні рамки з формату COCO (x, y, w, h) у формат Faster R-CNN (x1, y1, x2, y2).

Нормалізація: зображення нормалізуються за допомогою ToTensor для сумісності з моделями PyTorch.

Функція сортування: обробляє цілі змінної довжини в пакеті, повертаючи списки зображень і цілей.

Стохастичний градієнтний спуск (SGD): оновлює параметри моделі за допомогою градієнтів.

Планувальник швидкості навчання: знижує швидкість навчання на 0,1 кожні 3 епохи для стабілізації навчання.

Зображення та цілі пропускаються через модель.

Модель виводить класифікацію та регресію втрат.

Прохід назад: Градієнти обчислюються за допомогою зворотного поширення.

Параметри оновлюються за допомогою SGD.

Розрахунок збитків:

Загальна втрата = Втрата за класифікацією + Втрата регресії обмежувальної рамки.

Перевірка:

Відфільтровує недійсні цілі (наприклад, порожні рамки).

Активация Softmax використовується в ROI Head для класифікації об'єктів.

Перетворює необроблені логіти на ймовірності:

$$\text{Softmax}(x_i) = \frac{e^{x_i}}{\sum_j e^{x_j}}$$

Поєднує втрату класифікації об'єктності та регресійну втрату обмежувальної рамки:

$$L_{\text{RPN}} = L_{\text{cls}} + \lambda L_{\text{reg}}$$

Втрата класифікації: двійкова крос-ентропія для об'єкта проти фону.

Втрати регресії: Плавні втрати L1 для уточнення обмежувальної рамки:

$$L_{\text{reg}}(t_i, t_i^*) = \text{Smth L1}(t_i - t_i^*)$$

Таким чином, тренування моделі можемо відобразити на рис. 3.20.:

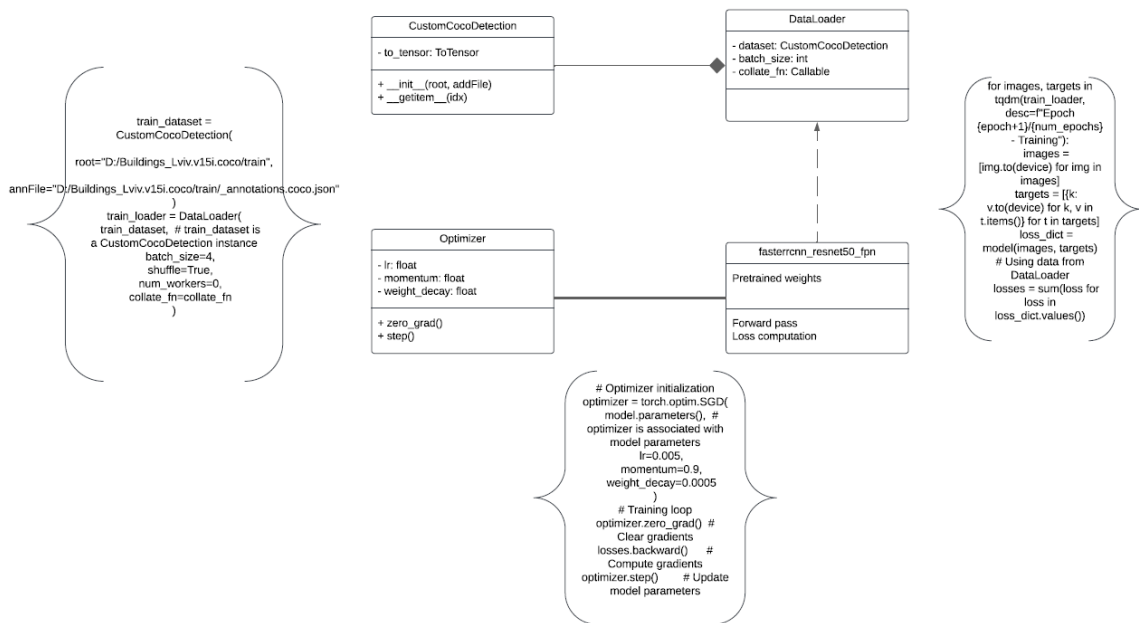


Рис. 3.20 Діаграма класів для моделі.

Програмну реалізацію відображаємо з допомогою діаграми класів на рис. 3.21:

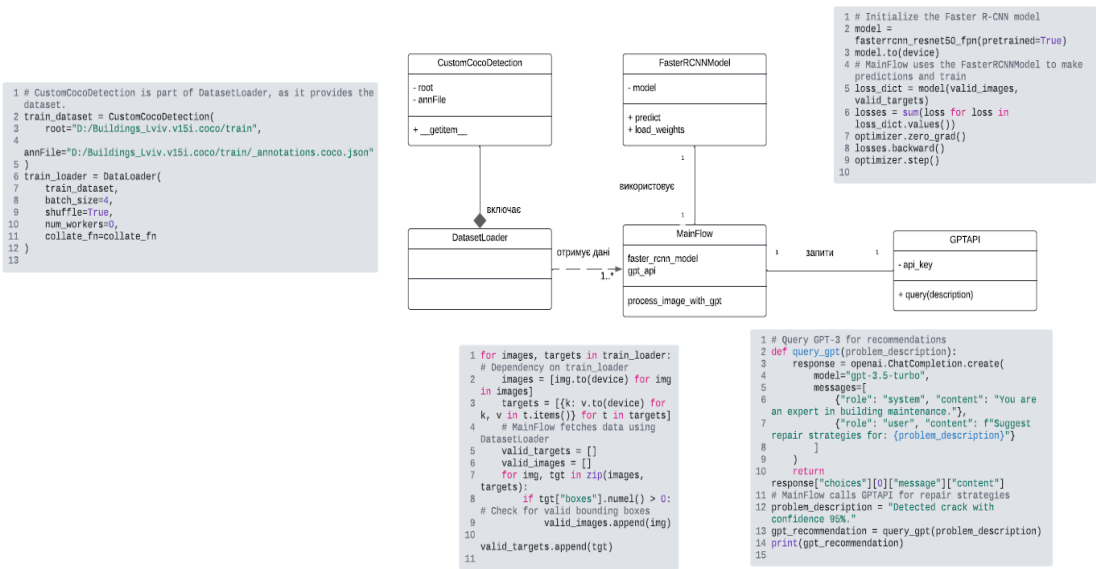


Рис. 3.21. Діаграма класів.

3.3.6 Архітектура YOLOv5

Дослідження та тренування датасету відбувалось в консолі з використанням консольної команди:

```
python train.py --img 640 --batch 4 --epochs 50 --data
D:\Buildings_Lviv.v15i.yolov5pytorch\data.yaml --weights yolov5s.pt --project
buildings_lviv_2 --name exp --exist-ok
```

YOLOv5 використовує згорточну нейронну мережу (CNN) як основу для вилучення функцій (наприклад, CSPDarknet53).

Складається з таких шарів, як PANet (Мережа агрегації шляхів) для об'єднання карт функцій з різних рівнів магістралі для покращення локалізації та семантичної сегментації.

YOLOv5 виводить обмежувальні прямокутники, оцінки об'єктності та ймовірності класів за допомогою блоків прив'язки та немаксимального придушення.

Python train.py запускає сценарій train.py, наданий репозиторієм YOLOv5.

Скрипт управляє всім процесом навчання:

- 1) Завантаження набору даних (зображень і міток).
- 2) Підготовка доповнення даних.
- 3) Проходить вперед і назад через модель YOLOv5.
- 4) Оптимізація ваг за допомогою функції втрат.

--img 640 встановлює розмір вхідного зображення на 640×640 пікселів.

YOLOv5 вимагає зміни розміру всіх зображень до квадратної форми під час навчання.

Більший розмір зображення зазвичай покращує точність, але збільшує обчислювальні витрати.

Більша роздільна здатність покращує здатність моделі виявляти менші об'єкти.

Менша роздільна здатність зменшує використання пам'яті GPU та прискорює навчання.

--batch 4 визначає розмір партії 4.

Розмір пакету визначає, скільки зображень обробляється одночасно під час навчання.

Для GPU з обмеженою пам'яттю може знадобитися менший розмір партії.

Більший розмір партії призводить до більш стабільних градієнтів і швидшої конвергенції.

Менший розмір пакету зменшує використання пам'яті, але може знадобитися більше ітерацій для конвергенції.

--epoch 50 встановлює кількість епох навчання на 50.

Епоха стосується одного повного проходження всього навчального набору даних.

Більше епох дозволяє моделі вивчати кращі представлення, але збільшує час навчання.

Занадто мало епох може призвести до недостатнього навчання (погана продуктивність як для навчальних, так і для перевірочних наборів).

Забгато епох може спричинити перенавчання (хороша продуктивність під час навчання, але погане узагальнення).

--data D:\Buildings_Lviv.v15i.yolov5pytorch\data.yaml

Вказує на файл конфігурації даних.

Файл data.yaml визначає структуру набору даних, зокрема:

Шлях до зображень для навчання та перевірки.

Імена класів: список категорій об'єктів (наприклад, «балкон», «двері», «дах»).

Кількість класів: загальна кількість категорій об'єктів.

--weights yolov5s.pt визначає файл із попередньо підготовленими вагами для використання для перенесення навчання.

Yolov5s.pt — найменша та найшвидша версія YOLOv5 (YOLOv5s означає «маленький»).

Попередньо навчені ваги були навчені на наборі даних COCO та використовуються як початковий стан моделі.

Тонке налаштування попередньо навченої моделі на спеціальному наборі даних (наприклад, набір даних будівель).

Скорочує час навчання та підвищує точність, особливо для менших наборів даних.

--project buildings_lviv_2 визначає каталог, куди будуть збережені результати навчання.

YOLOv5 створює папку з назвою buildings_lviv_2 для організації результатів експерименту.

Результати включають:

- 1) Вага моделі (best.pt і last.pt).
- 2) Журнали навчання (наприклад, криві втрат).
- 3) Візуалізація виявлення.

--name exp встановлює назву експерименту.

Результати зберігаються в каталозі buildings_lviv_2/exp.

Дозволяє легко відстежувати та порівнювати кілька експериментів.

--exist-ok запобігає перезапису сценарієм наявних результатів у каталозі exp.

Якщо каталог уже існує, нові результати зберігаються у підкаталозі (наприклад, exp2).

Гарантує, що дані попередніх експериментів не будуть втрачені.

Зображення та мітки завантажуються зі шляхів, указаних у data.yaml.

Мітки мають формат COCO: [class_id, x_center, y_center, width, height].

Зображення змінено до 640×640 і нормалізовано.

Застосовується збільшення даних (наприклад, перевертання, масштабування, обертання).

- 1) Прохід вперед:

Кожен пакет зображень проходить через модель YOLOv5.

Модель передбачає обмежувальні рамки, показники достовірності об'єктів і ймовірності класу.

YOLOv5 обчислює багатозадачні втрати, поєднуючи:

Втрати регресії обмежувальної рамки: вимірює різницю між прогнозованими координатами прямокутної рамки та координатами наземної прямої.

Втрата об'єкта: вимірює достовірність присутності об'єкта.

Втрата ймовірності класу: вимірює точність прогнозованої мітки класу.

2) Прохід назад:

Градєнти обчислюються за допомогою зворотного поширення.

Оптимізатор (SGD) оновлює ваги моделі, щоб мінімізувати втрати.

Після кожної епохи дані перевірки оцінюються.

Такі показники, як mAP (середня точність), обчислюються для вимірювання продуктивності.

YOLOv5 використовує попередньо визначені опорні рамки для прогнозування обмежувальних рамок.

Мережа вчиться регулювати прив'язки.

Функціональна мережа піраміди (FPN):

Покращує виявлення об'єктів у різних масштабах шляхом об'єднання функцій із кількох шарів.

Функції активації:

Використовує Leaky ReLU у прихованих шарах для нелінійності.

Використовує Sigmoid у вихідному шарі для достовірності об'єкта та ймовірності класу.

YOLOv5s надає пріоритет швидкості, тоді як більші моделі, такі як YOLOv5l або YOLOv5x, забезпечують вищу точність ціною повільнішого висновку.

Покращує узагальнення, але може викликати артефакти, якщо надмірне застосування.

Розмір батчів впливає на стабільність конвергенції та використання пам'яті GPU.

Планувальник StepLR зменшує швидкість навчання, щоб запобігти перенавчання та покращити конвергенцію.

3.3.7 Розробка UI/UX

На рисунку 3.22 розроблено загальний вигляд UI/UX веб застосунку:

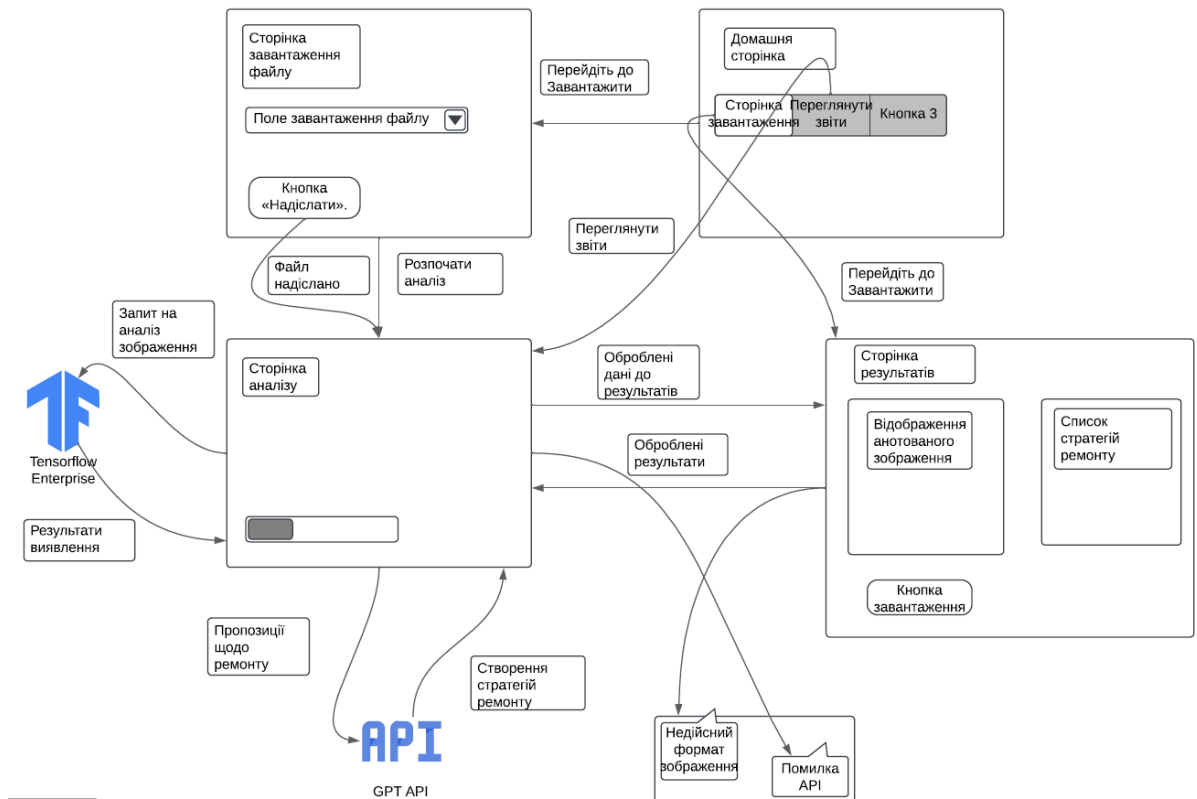


Рис. 3.22 UI/UX

Кінцева мета введення в експлуатацію веб застосунку є:

- 1) Користувач бачить результати.
- 2) Користувач завантажує зображення та переглядає анотоване зображення з рамками.
- 3) Технічний звіт (стратегії ремонту, координати обмежувальної рамки та оцінки достовірності).

Сторінка результатів на рис. 3.23:

Сторінка результатів		
Відображення анотованого зображення	Стратегії ремонту	Панель 1
	Опис стратегії ремонту будинку та відсотків достовірності виявлених об'єктів	☐ закрита папка: f ☐ відкрита папку: F ☐ плюс: [+] ☐ мінус: [-] ☒ флажок: [x] ☐ пусте поле: [] ☐ файл: - ☐ інший файл
	Завантажити звіт	Завантажити нове зображення
Повернутись на домашню	Оформити підписку	

Рис. 3.23 Сторінка результатів.

Додаємо сторінку аналізу та обробки на рис. 3.24.

Сторінка аналізу і обробки	
Повідомлення	
Обробка зображення	
% перерв.	
Повідомлення	Повідомлення
Виявлення об'єктів/помилки	Створити стратегію?
% перерв.	Так Ні

Рис. 3.24 Сторінка аналізу.

4. Сторінка завантаження файлу на рис. 3.25.

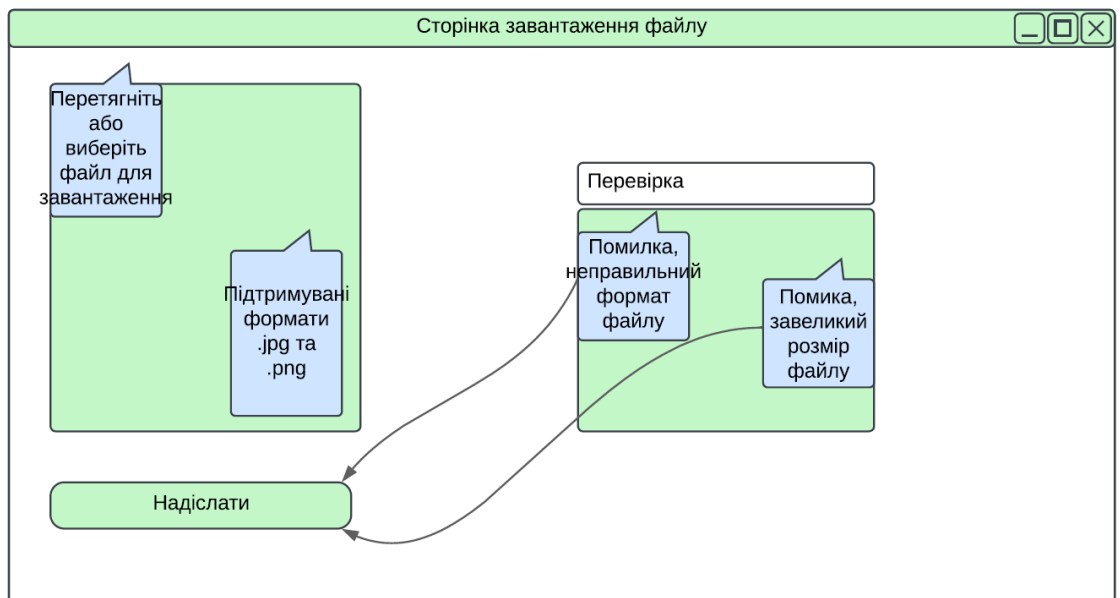


Рис. 3.25. Сторінка завантаження.

6. Домашня сторінка на рис. 3.26.

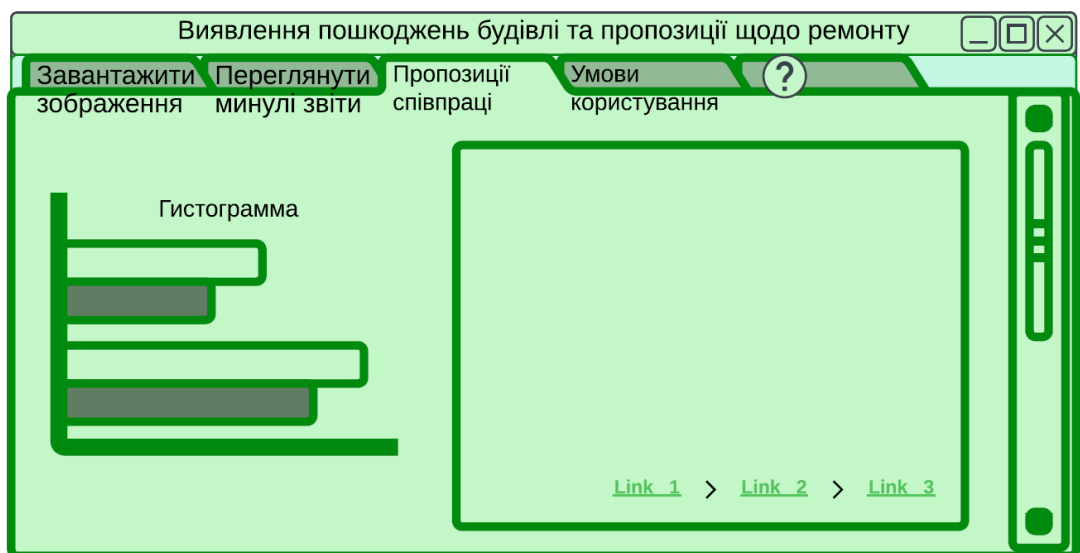


Рис.3.26 Домашня сторінка.

Після цього, повна картина UI/UX на рис. 3.27 виглядатиме так:

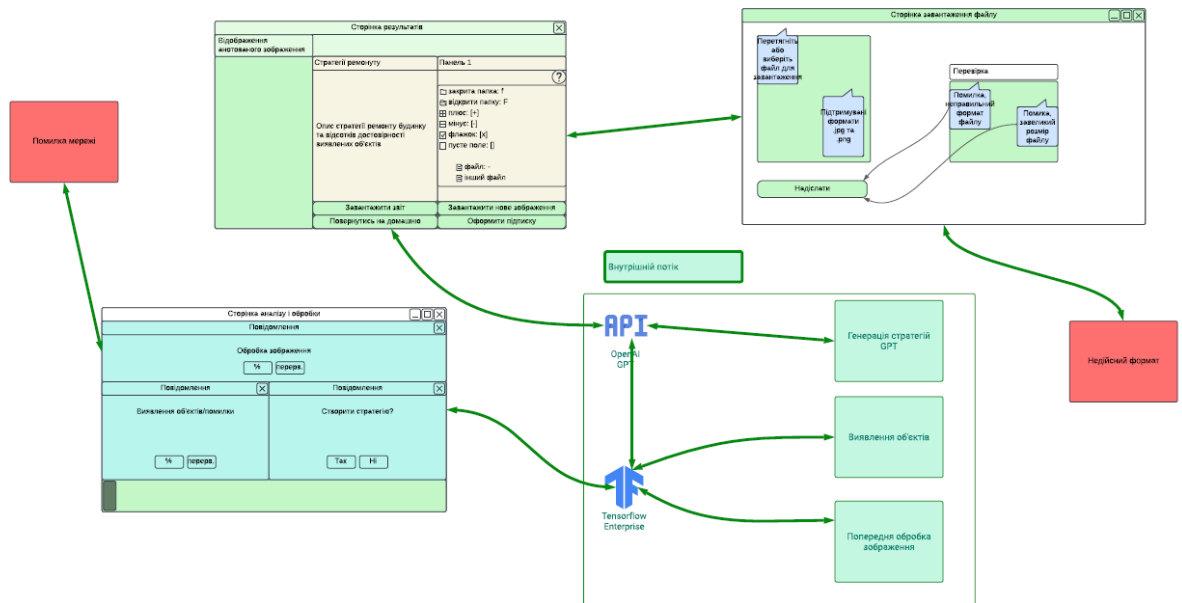


Рис. 3.27. Повний вигляд UI/UX

3.4. Управління часом, діаграма Ганта

Опис основних видів діяльності проєкту на основі часової лінії

Часова лінія проєкту в Microsoft Project відображає основні етапи та віхи проєкту. Нижче наведено опис основних видів діяльності з часової лінії:

1. Ініціалізація проєкту

Дата початку: 4 листопада 2024 року.

Основні завдання:

Аналіз вимог і цілей проєкту.

Визначення зацікавлених сторін та формулювання ключових показників ефективності (KPI).

Завершення аналізу та узгодження вимог.

Віхи: Завершення аналізу цілей та вимог.

2. Планування та розробка документації

Дата завершення: 29 грудня 2024 року.

Основні завдання:

Розробка технічного завдання (ТЗ).

Узгодження документації із командою та зацікавленими сторонами.

Формування початкових етапів плану проєкту.

Віхи: Завершення створення початкової документації.

3. Розробка нейронної мережі та обробка зображень

Дата завершення: 18 травня 2025 року.

Основні завдання:

Вибір та оптимізація архітектури моделі.

Розробка і навчання нейронної мережі, тестування моделі на валідаційних наборах.

Оптимізація моделі для реального часу (зменшення затримок, забезпечення високої швидкодії).

Віхи: Завершення розробки моделі, готової до інтеграції.

4. Розробка інтерфейсу користувача

Дата завершення: 14 липня 2025 року.

Основні завдання:

Розробка інтерфейсів для desktop, web і мобільних додатків.

Інтеграція API для зв'язку з нейронною мережею.

Тестування функціональності та усунення помилок.

Віхи: Завершення розробки інтерфейсів.

5. Інтеграція та тестування

Дата завершення: 9 жовтня 2025 року.

Основні завдання:

Інтеграція нейронної мережі та інтерфейсу з IoT-системами.

Тестування продуктивності, навантаження, безпеки та функціональності.

Усунення технічних проблем і перевірка роботи всіх компонентів.

Віхи: Завершення інтеграції системи.

6. Введення в експлуатацію

Дата завершення: 23 грудня 2025 року.

Основні завдання:

Розгортання системи на хмарних сервісах.

Навчання користувачів та підготовка інструкцій.

Проведення фінальної ретроспективи проєкту.

Віхи: Завершення введення в експлуатацію.

Діаграма на рис. 3.28 показує ключові етапи проєкту, віхи, а також загальний хід виконання проєкту від початкових етапів до введення в експлуатацію. Основні завдання чітко структуровані за часом і дають змогу контролювати виконання проєкту.

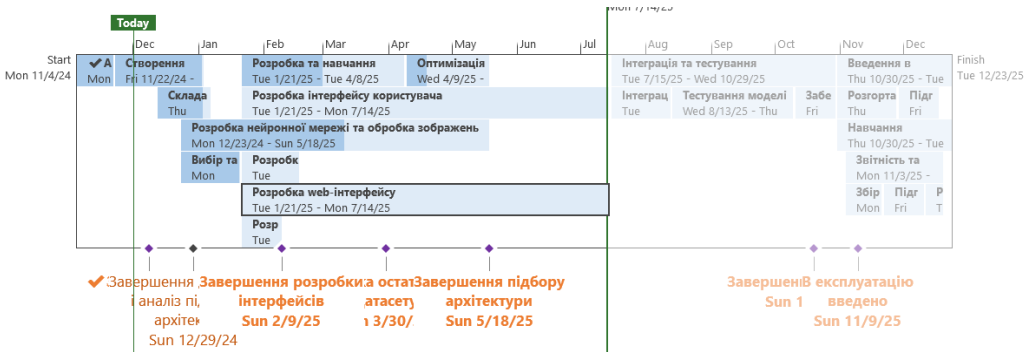


Рис. 3.28. Ключові етапи проєкту

Критичний шлях проєкту показано на рис. 3.29.

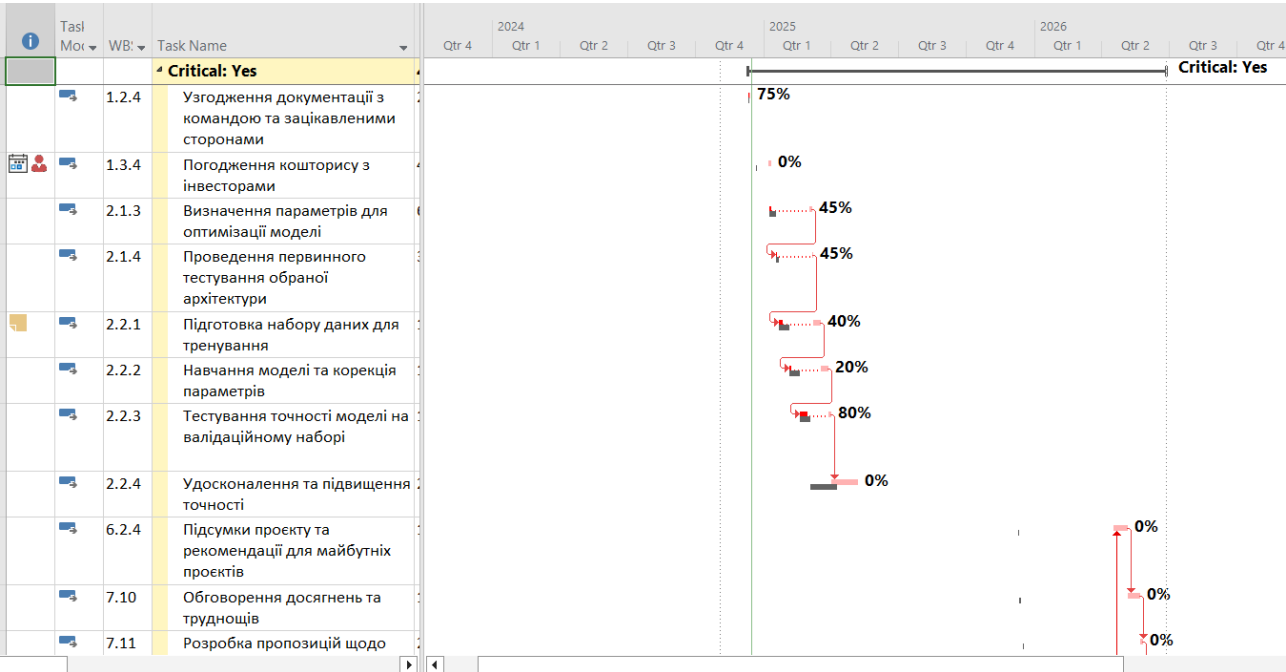


Рис. 3.29. Критичний шлях

Відтак відфільтрувавши та згрупувавши по критичному шляху встановивши часову лінію квартал отримаємо зручне відображення критичного шляху на рисунку 3.30:

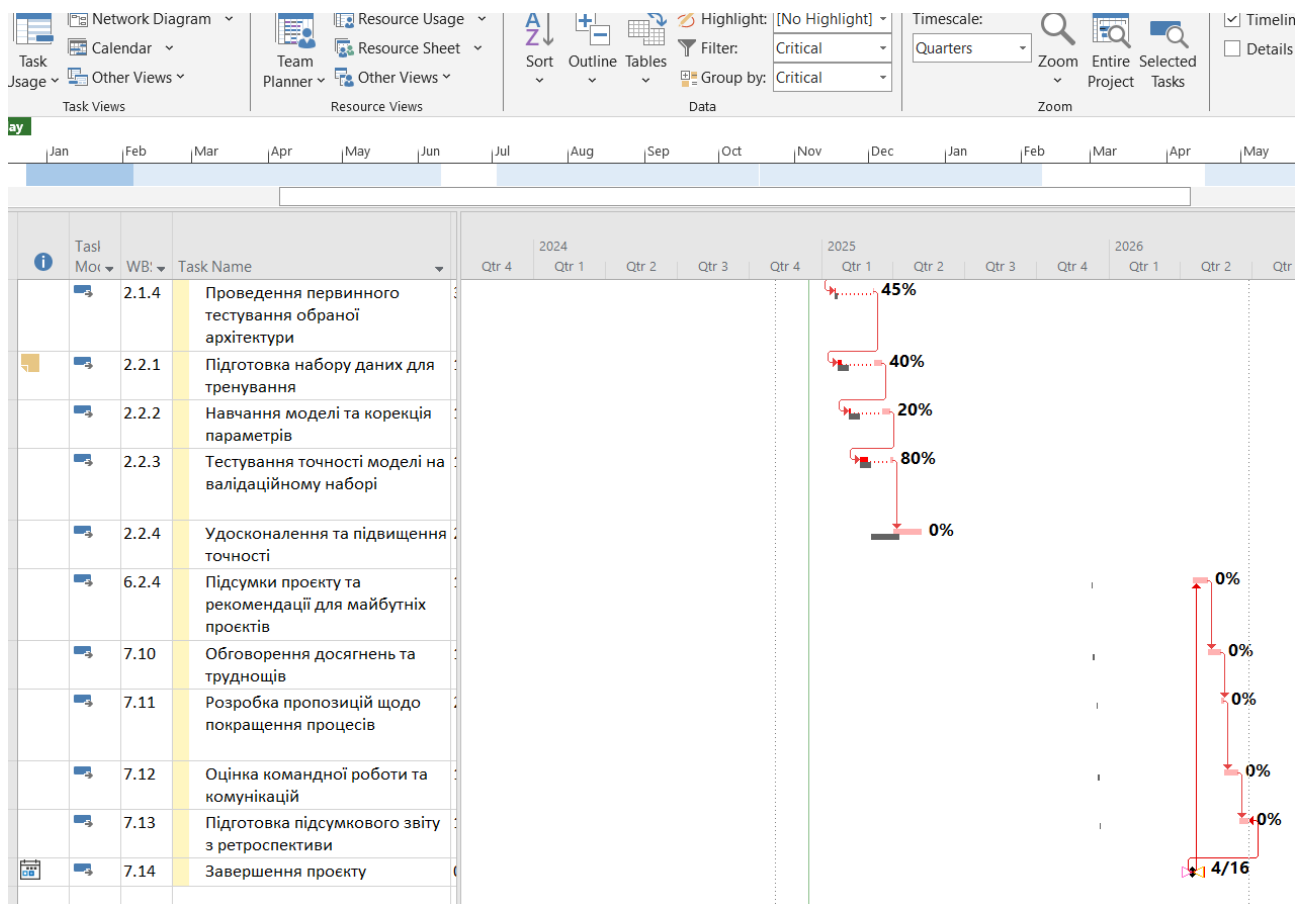


Рис. 3.30. Зручне відображення критичного шляху

На часовій шкалі ми детально можемо переглянути завдання (рис. 3.31).

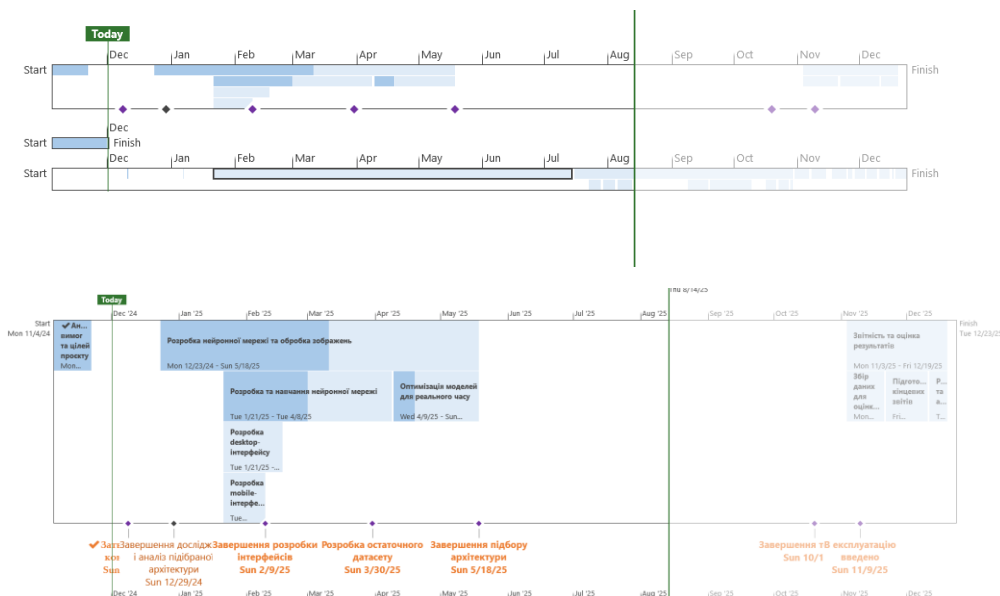


Рис. 3.31. Завдання на часовій шкалі.

Ми можемо на часовій лінії додавати проміжки часу на рисунку 3.32. і тоді детальніше їх дослідити:

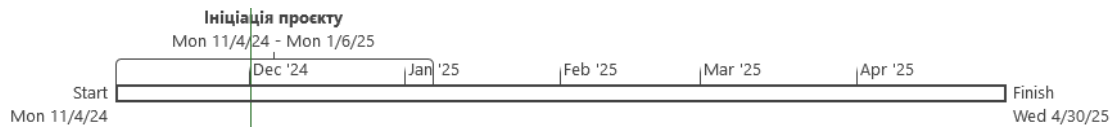


Рис. 3.32. Вибір часового проміжку.

Відтак Project є потужним інструментом для керування часом проекту і відповідно надає можливість вчасно коригувати час при плануванні завдань.

Окрім цього, ми можемо критичний шлях оглянути в Network diagram на рис. 3.33.

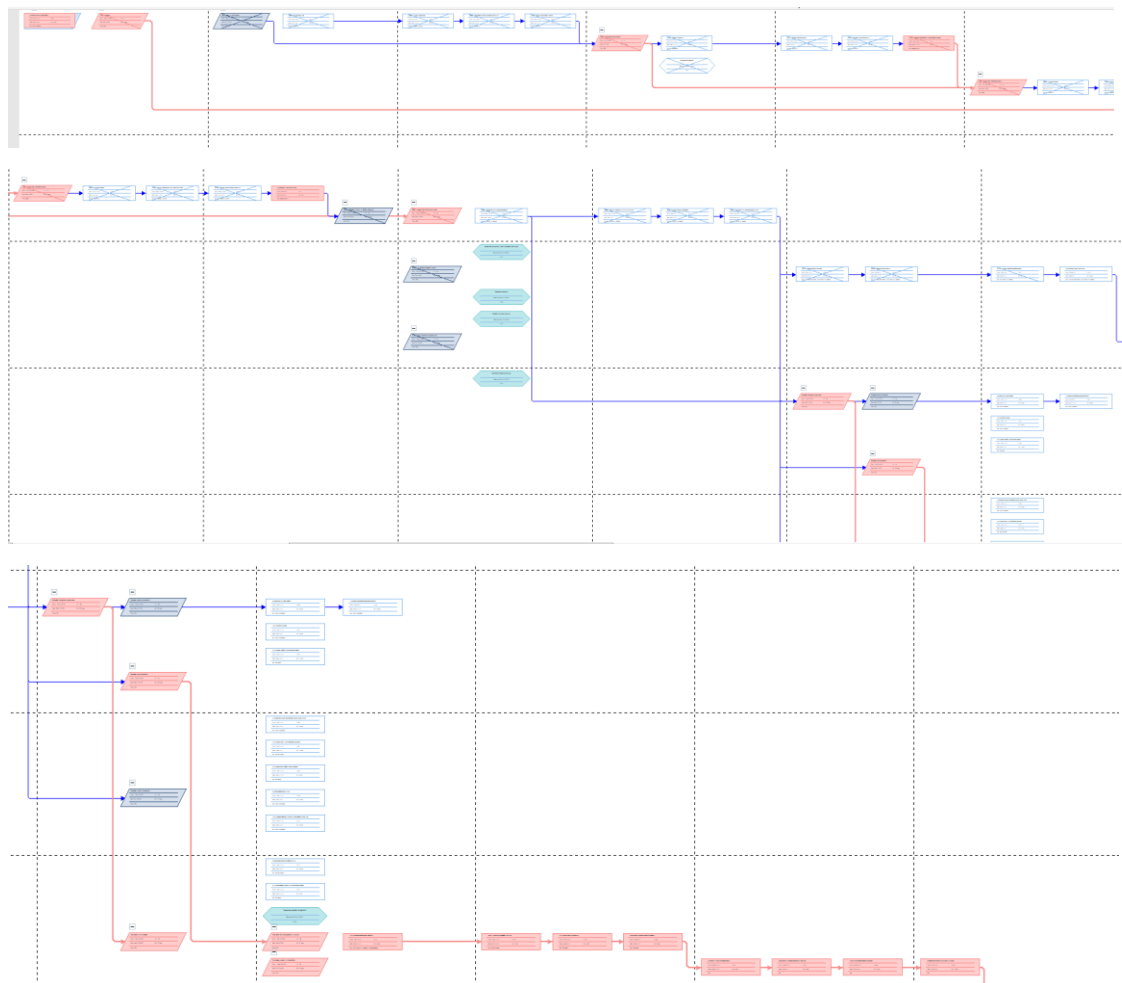


Рис. 3.33. Сітьова діаграма проекту (фрагмент).

3.5. Управління проектом та командою за допомогою Project

Додавання ресурсів. Для визначення ресурсів проекту потрібно перейти на вкладку View → Resource Sheet та ввести імена членів команди або типи ресурсів на рисунку 3.34 (матеріали, обладнання).

File Task Resource Report Project View Help Resource Sheet Format Tell me what you want to do												
Task Views			Resource Views			Data			Zoom			
	Resource Name	Type	Material	Initials	Group	Max.	Std. Rate	Ovt. Rate	Cost/Use	Accrue	Base	
1	Керівник проекту	Work		K		100%	\$0.00/hr	\$0.00/hr	\$6,000.00	Prorated	Standa	
2	Головний інженер	Work		Г		100%	\$0.00/hr	\$0.00/hr	\$4,700.00	Prorated	Standa	
3	Помічник керівника	Work		П		100%	\$0.00/hr	\$0.00/hr	\$1,500.00	Prorated	Standa	
4	Аналітик бізнес-процесів	Work		A		200%	\$25.00/hr	\$2.50/hr	\$0.00	Prorated	Standa	
5	Computer Vision Engineer	Work		C		100%	\$31.25/hr	\$3.12/hr	\$0.00	Prorated	Standa	
6	Full Stack Developer	Work		F		300%	\$28.13/hr	\$2.81/hr	\$0.00	Prorated	Standa	
7	DevOps Engineer	Work		D		100%	\$25.00/hr	\$2.50/hr	\$0.00	Prorated	Standa	
8	QA Engineer	Work		Q		100%	\$21.88/hr	\$2.18/hr	\$0.00	Prorated	Standa	
9	Data Scientist / ML-інженер	Work		D		100%	\$37.50/hr	\$3.75/hr	\$0.00	Prorated	Standa	
10	Сервер для тренування моделей	Material	Unit	C			\$15,000.00		\$0.00	Prorated		
11	Кластер для зберігання даних	Material	Unit	K			\$10,000.00		\$0.00	Prorated		
12	Інші витрати на обладнання	Material	Unit	I			\$5,000.00		\$0.00	Prorated		
13	Ліцензії на TensorFlow PyTorch	Material	Unit	L			\$5,000.00		\$0.00	Prorated		
14	Витрати на хмарні обчислення	Material	Unit	B			\$10,000.00		\$0.00	Prorated		
15	Інші технічні ліцензії	Material	Unit	I			\$3,000.00		\$0.00	Prorated		
16	Проведення брифінгів конференцій	Material	Unit	П			\$3,000.00		\$0.00	Prorated		
17	Матеріали	Material	Unit	M			\$5,000.00		\$0.00	Prorated		

Рис. 3.34. Сторінка ресурсів.

Додається:

Type: Work (робота), Material (матеріал), Cost (вартість).

Max Units: Максимальна доступність ресурсу (% або кількість).

Standard Rate: Оплата за годину роботи або одиницю матеріалу.

Для призначення ресурсів завданням потрібно перейти у представлення Gantt Chart, в колонці Resource Names на рисунку 3.35 обираємо ресурси для кожного завдання.

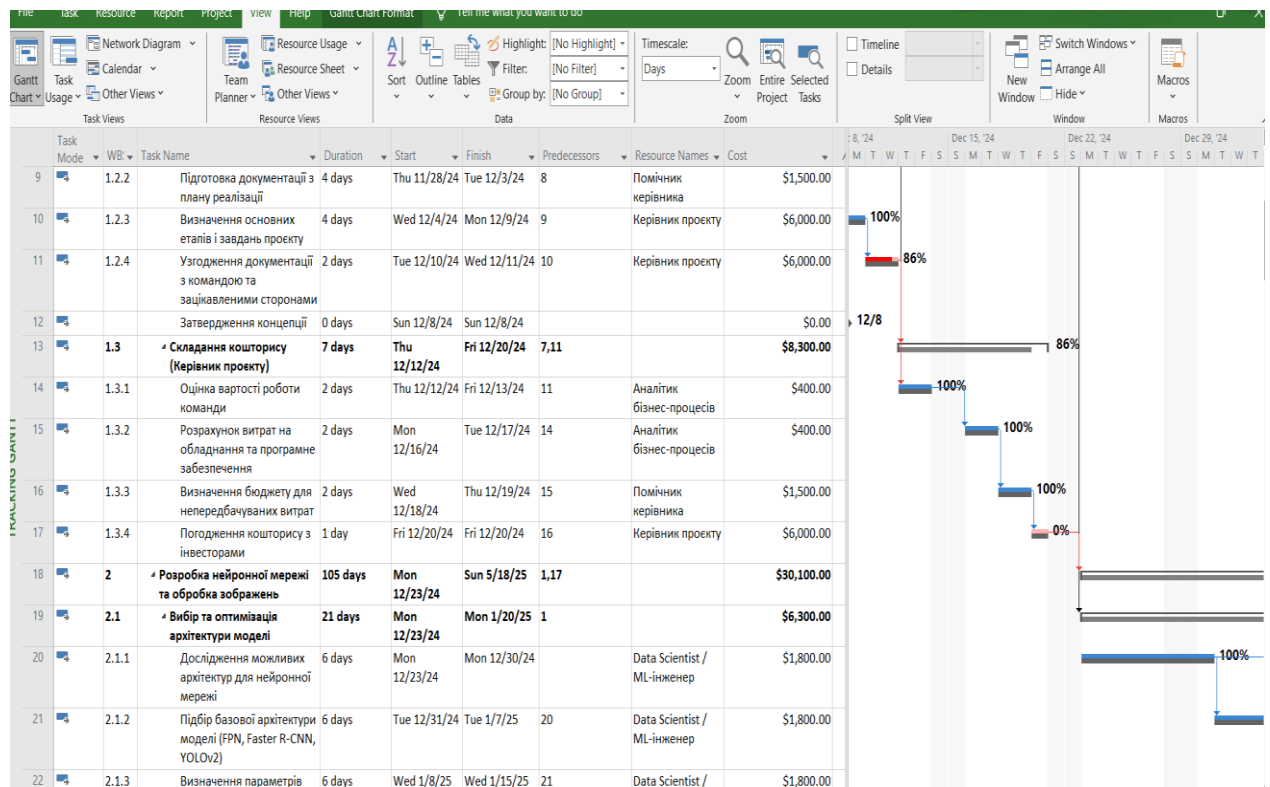


Рис. 3.35. Визначення ресурсів.

Слід зазначити, що на кожне завдання слід визначити кількість робочої сили, тобто зайнятості, оскільки від цього залежить визначення ціни проекту. Наприклад, якщо на виконання йде 1 тиждень ми визначаємо пропорційно як 0,25 юніта, оскільки від цього залежить кінцева вартість як завдання так і проекту на рисунку 3.36.

Task Information

General
Predecessors
Resources
Advanced
Notes
Custom Fields

Name:
Визначення основних етапів і завдань проекту
Duration:
4 days
☐ Estimated

Resources:

Resource Name	Assignment Owner	Units	Cost
Керівник проекту		50%	\$3,000.00

Help

OK

Cancel

83	5.3	Навчання користувачів	81 days	Thu 10/30/25	Thu 2/19/26			\$5,850.00
84	5.3.1	Організація навчальних сесій	4 days	Mon 2/16/26	Thu 2/19/26	82	Проведення брифінгів	\$4,500.00
85	5.3.2	Проведення тренінгів з використання системи	8 days	Thu 10/30/25	Mon 11/10/25		Помічник керівника[50%]	\$750.00
86	5.3.3	Забезпечення підтримки під час навчання	16 days	Thu 10/30/25	Thu 11/20/25		Помічник керівника[25%]	\$375.00
87	5.3.4	Збір зворотного зв'язку від користувачів	13.33 days	Thu 10/30/25	Tue 11/18/25		Помічник керівника[15%]	\$225.00
88		В експлуатацію введено	0 days	Sun 11/9/25	Sun 11/9/25			\$0.00
89	6	Звітність та оцінка результатів	63 days					\$28,025.00
90	6.1	Збір даних для оцінки ефективності	42 days	Tue 11/18/25	Fri 2/13/26			\$3,425.00
91	6.1.1	Визначення ключових показників ефективності	16 days	Tue 11/18/25	Wed 12/10/25	87	Аналітик бізнес-процесів[50%]	\$800.00
92	6.1.2	Збір статистичних даних з експлуатації	8 days	Wed 12/10/25	Mon 12/22/25	91	Помічник керівника[50%]	\$750.00
93	6.1.3	Аналіз продуктивності та економії ресурсів	16 days	Mon 12/22/25	Tue 1/13/26	92	Помічник керівника[25%]	\$375.00
94	6.1.4	Формування висновків на	2 days	Tue 1/13/26	Thu 1/15/26	93	Помічник	\$1,500.00

Рис. 3.36. Призначення ресурсів завданню.

Змінюємо тривалість, ресурси або залежності, щоб збалансувати графік.

Рис. 3.37. Перевірка навантаження на працівників.

Відтак таск інспектор є інструментом, який дає змогу швидко виправити необхідний ресурс, або додати нові ресурси чи змінити дату виконання вручну.

Управління командою

Контроль навантаження:

Переходимо у представлення Resource Usage або Task Usage на рисунку 3.38 та перевіряємо, чи є перевантаження ресурсів.

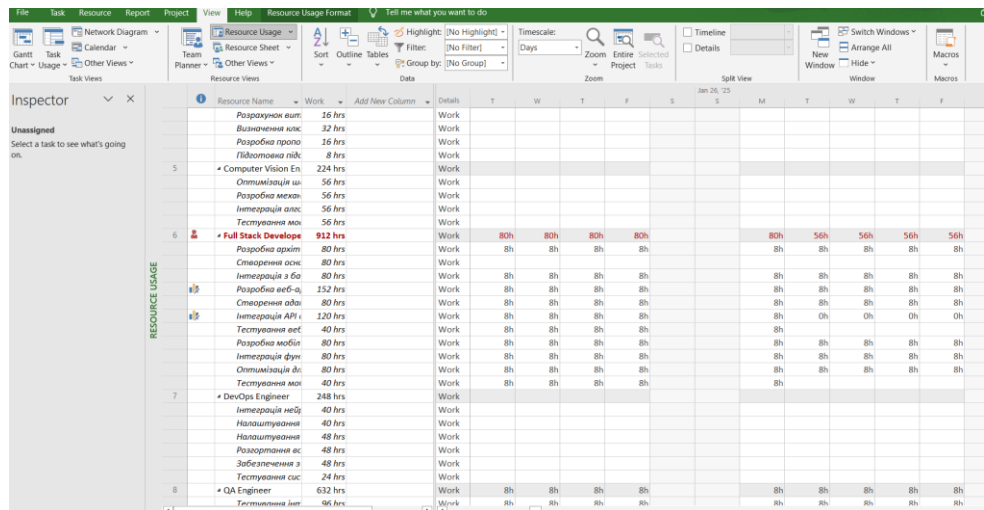


Рис. 3.38. Resource Usage.

Вирівнювання навантаження на ресурси проєкту проілюстровано на рис.

3.39:

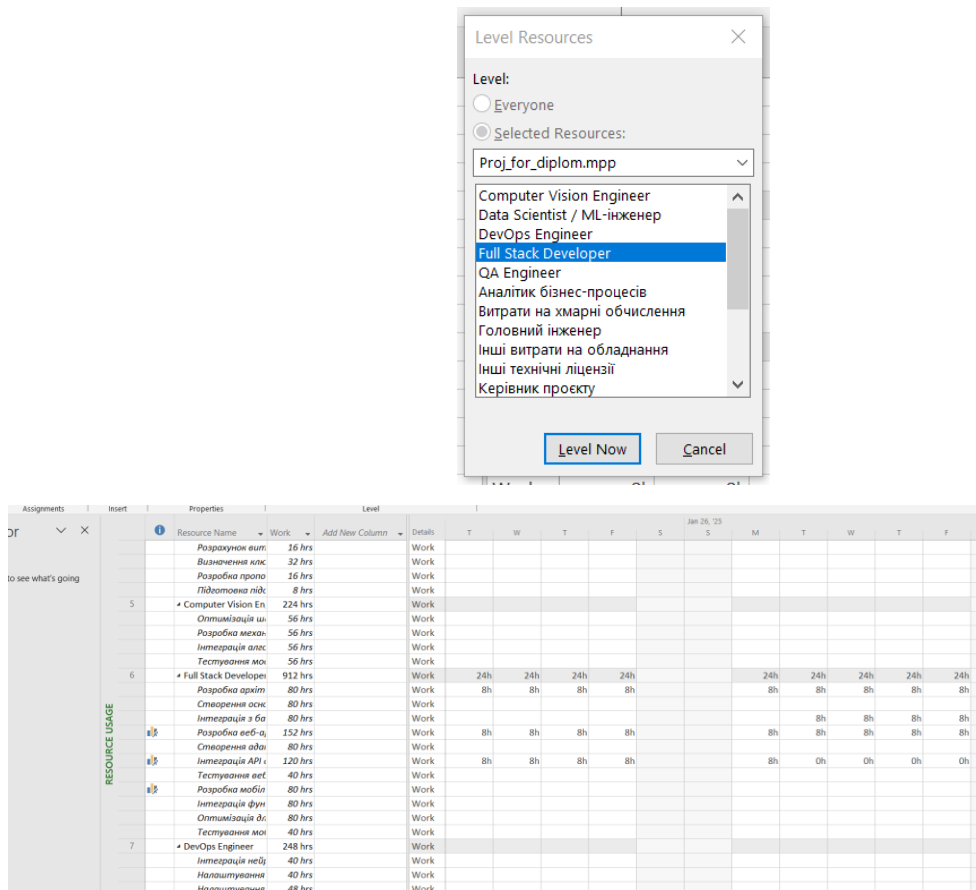


Рис. 3.39. Вирівнювання навантаження.

Приклад звіту з проєкту показаний на рисунку 3.40.

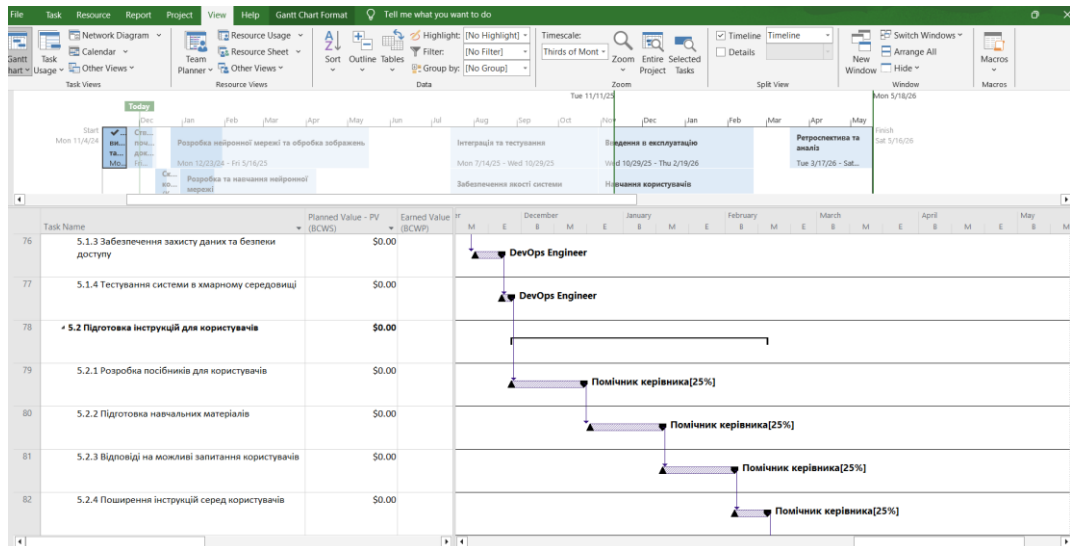


Рис. 3.40. Огляд проекту.

Приклад розподілу часу та визначення перевантаження ресурсів відображено на рисунку 3.41:

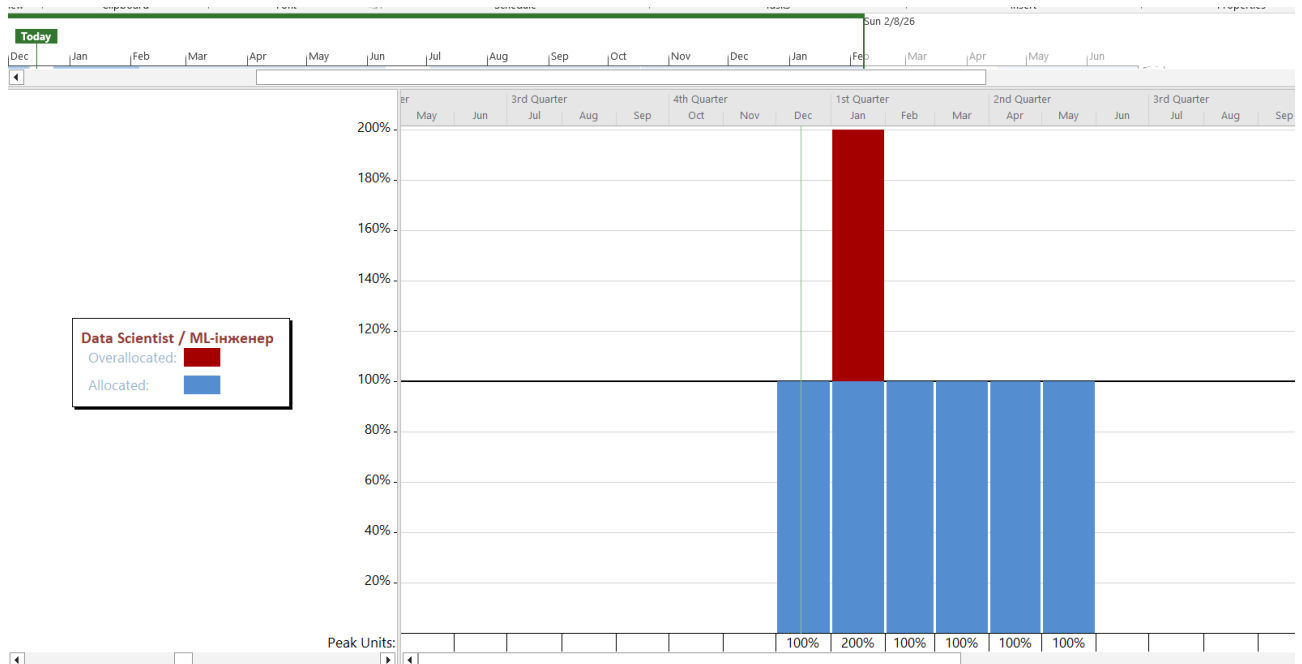


Рис. 3.41. Визначення перевантаження ресурсів.

РОЗДІЛ 4. УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ ПРОЄКТУ

4.1. Управління ризиками проєкту.

Для здійснення якісного управління, необхідно ідентифікувати ризики досліджуваного проєкту.

Збір інформації про потенційні проблеми шляхом опитувань експертів і користувачів.

Аналіз історичних даних про схожі проєкти.

1. Технічні ризики:

1.1. Забезпечення якісного навчання нейронної мережі на великих наборах даних.

1.2. Регулярне тестування програмного забезпечення та виправлення виявлених помилок.

2. Ресурсні ризики:

2.1. Створення резервного фонду для фінансування непередбачених витрат.

2.2. Пошук міжнародних партнерів для фінансової та технічної підтримки.

3. Організаційні ризики:

3.1. Розробка стандартів модернізації у співпраці з державними органами.

3.2. Проведення навчальних семінарів для працівників і користувачів.

4. Соціальні ризики:

4.1. Інформування населення про переваги проєкту через соціальні кампанії.

4.2. Створення інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу програмного забезпечення.

5. Військові ризики:

5.1. Використання хмарних сервісів для зберігання даних.

5.2. Організація роботи команди у віддаленому форматі.

6. Економічні ризики:

6.1. Регулярний перегляд бюджету і фінансового плану з урахуванням інфляції.

6.2. Валютна диверсифікація для стабільності фінансових потоків.

Управління ризиками є критично важливим для успішної реалізації проекту. В умовах війни ризики набувають додаткової складності, проте правильне їх передбачення та мінімізація дозволяють забезпечити стабільну реалізацію проекту. За допомогою академічного підходу та сучасних інструментів ризик-менеджменту можливо розробити програмне забезпечення, яке зробить вагомий внесок у модернізацію та відновлення України.

В даному випадку для ідентифікації ризиків наведемо діаграму Ісікави на рисунку 4.1.

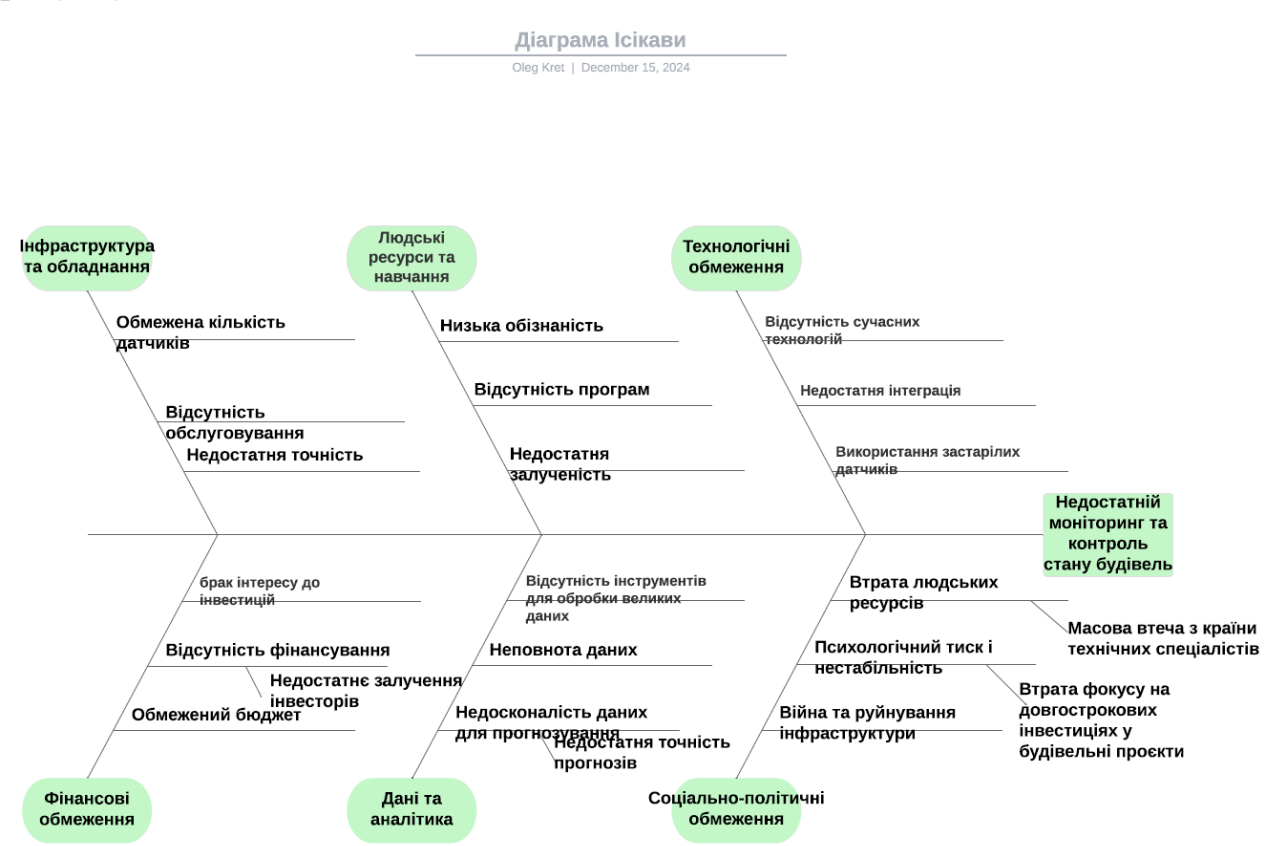


Рис. 4.1. Діаграма Ісікави

4.2. Ідентифікація ризиків проєкту

В таблиці 4.1. наводяться ризики досліджуваного проєкту, що було ідентифіковано під час виконання кваліфікаційної роботи магістра.

Ризики проєкту.

№	Опис	Категорія	Ймовірність	Вплив	Рейтинг ризику	План реагування	Відповідальний
R1	Низька якість вихідних даних (плани будинків, інформація про стан споруд тощо).	Технічні	Висока	Високий	Критичний	Збір додаткових даних, валідація існуючих даних, залучення експертів для перевірки даних.	Технічна команда
R2	Недостатня точність нейронної мережі при обробці нетипових ситуацій.	Технічні	Середня	Високий	Високий	Регулярне навчання моделі на нових даних, проведення тестування на нетипових випадках.	Команда R&D
R3	Збої в роботі ПЗ через надмірну складність алгоритмів.	Технічні	Середня	Середній	Середній	Оптимізація коду, тестування продуктивності на різних сценаріях, спрощення алгоритмів.	Розробники
R4	Недостатнє фінансування на розробку програмного забезпечення	Ресурси	Висока	Високий	Критичний	Пошук додаткового фінансування, грантів, міжнародних донорів, перегляд бюджету.	Керівник проєкту
R5	Обмежена кількість кваліфікованих фахівців через міграцію або мобілізацію.	Ресурси	Висока	Високий	Критичний	Проведення тренінгів для молодих спеціалістів, аутсорсинг, співпраця з університетами.	HR-відділ
R6	Непередбачені затримки у постачанні необхідного обладнання.	Ресурси	Середня	Високий	Високий	Розробка резервного плану постачання, пошук альтернативних постачальників.	Постачальники
R7	Відсутність єдиних стандартів для модернізації будинків.	Організаційні	Висока	Середній	Високий	Розробка внутрішніх стандартів, співпраця з регуляторними органами для їх затвердження.	Керівник проєкту
R8	Складності у взаємодії з місцевими органами влади та комунальними службами.	Організаційні	Середня	Високий	Високий	Проведення переговорів, підписання меморандумів про співпрацю.	PR-менеджер
R9	Недостатня зацікавленість у використанні технології	Організаційні	Середня	Середній	Середній	Проведення маркетингових кампаній, демонстрація переваг програмного забезпечення.	Маркетингова команда

		Tasl Moi	WB	Task Name	Duration	Start	Finish	Pre	Resource Names	Cost	Опис ризикy	Ймо	Впли (Numb	Рейтин ризикy (Numb	Статус ризикy
99			13.34	Ризик - Збої в роботі ПЗ через надмірну складність алгоритмів	0 days	Mon 12/23/24	Mon 12/23/24	20SS	Data Scientist / ML-інженер	\$0.00		40	60	2400	
10			13.46	>	381 days	Fri 11/8/24	Fri 4/24/26			\$0.00		0	0	0	
98			13.45	Підготовка звітів про аналіз ризиків	1 day	Tue 1/21/25	Tue 1/21/25	26SS	Data Scientist / ML-інженер	\$300.00		0	0	0	
99			13.35	Ризик - Недостатнє фінансування на розробку програмного забезпечення	0 days	Mon 1/6/25	Mon 1/6/25	17SS	Керівник проєкту[25%]	\$1,500.00		60	100	6000	
90			13.36	Ризик - Обмежена кількість кваліфікованих фахівців через міграцію або мобілізацію	0 days	Thu 12/12/24	Thu 12/12/24	14SS	Керівник проєкту[25%]	\$1,500.00		40	40	1600	
91			13.37	Ризик - Непередбачені затримки у постачанні необхідного обладнання.	0 days	Mon 12/16/24	Mon 12/16/24	15SS	Керівник проєкту[25%]	\$1,500.00		40	50	2000	
92			13.38	Ризик - Відсутність єдиних стандартів для модернізації будинків.	0 days	Fri 11/8/24	Fri 11/8/24	4SS	Керівник проєкту[25%]	\$1,500.00		20	20	400	
93			13.39	Ризик - Складності у взаємодії з місцевими органами влади та комунальними службами.	0 days	Thu 11/28/24	Thu 11/28/24	9SS	Керівник проєкту[25%]	\$1,500.00		20	20	400	
94			13.40	Ризик - Недостатня зацікавленість у використанні технології серед користувачів	0 days	Mon 11/17/25	Mon 11/17/25	79SF	Аналітик бізнес-процесів[5	\$0.00		40	40	1600	

Додаємо ризики на часову шкалу на рисунку 4.2.

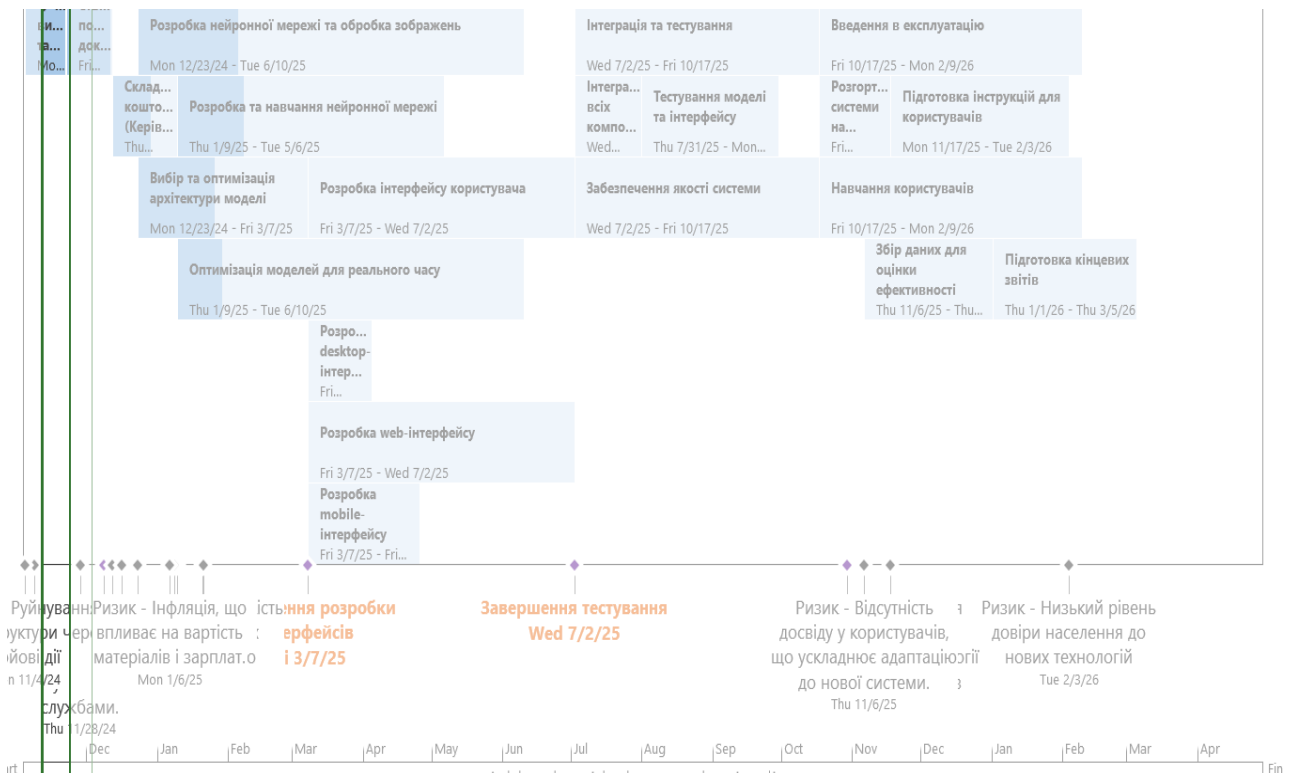


Рис. 4.3. Додавання ризиків на часову шкалу.

Встановлюємо для ризиків зв'язки з завданнями на рисунку 4.4.

Також робимо нотатки щодо ризиків на рисунку 4.7.

Task Information

General | Predecessors | Resources | Advanced | Notes | Custom Fields

Name: Ризик - Низька якість вихідних даних Duration: 0 days ☐ Estimated

Notes:

Потребує валідації даних.

Help OK Cancel

Рис. 4.7. Встановлення нотаток.

Таким чином, ми отримуємо можливість здійснювати аналіз наявних ризиків, планувати заходи щодо послаблення негативного впливу при появі даних ризиків.

Для належного контролю ризиків, ми можемо їх визначити як ресурс, а потім призначити завданню, що дає можливість контролювати конкретне завдання на рисунку 4.8.

Resource Information

General | Costs | Notes | Custom Fields

Resource name: Ризик - Низька якість вихідних даних Initials: H

Email: Group:

Logon Account... Code:

Booking type: Committed Type: Work

Material label:

Generic Budget Inactive

Change Working Time ...

Default Assignment Owner:

Resource Availability

Available From	Available To	Units
NA	NA	100%

Help Details... OK Cancel

Рис. 4.8. Визначення ризику як ресурсу.

Визначивши ресурс, ми його призначаємо завданню на рисунку 4.9.

Resource Name	Assignment Owner	Units	Cost
Data Scientist / ML-інженер		100%	\$3,000.00
Ризик - Низька якість вихідних даних		100%	\$2,000.00

Рис. 4.9. Призначення завданням ресурсів.

Надалі ми розуміємо, що додаткові витрати на спеціалістів по підготовці датасету можуть зростати і в такому разі можемо це відслідковувати.

Також в Project ми можемо формувати звіти про ризики, відслідковувати статус ризиків на рисунку 4.10:

технології			
Ризик - Обмежена кількість кваліфікованих фахівців через міграцію або мобілізацію	40	40	1600
Ризик - Недостатня зацікавленість у використанні технології серед користувачів	40	40	1600
Ризик - Непередбачені затримки у постачанні необхідного обладнання.	50	40	2000
Ризик - Збої в роботі ПЗ через надмірну складність алгоритмів	60	40	2400
Ризик - Недостатня точність нейронної мережі при обробці нетипових ситуацій	50	50	2500
Ризик - Інфляція, що впливає на вартість матеріалів і зарплат.	70	50	3500
Ризик - Руйнування інфраструктури через бойові дії	70	70	4900
Ризик - Низька якість вихідних даних	95	60	5700
Ризик - Недостатнє фінансування на розробку	100	60	6000

Рис. 4.10. Звіт по ризиках.

Налаштування звіту відображено на рисунку 4.11:

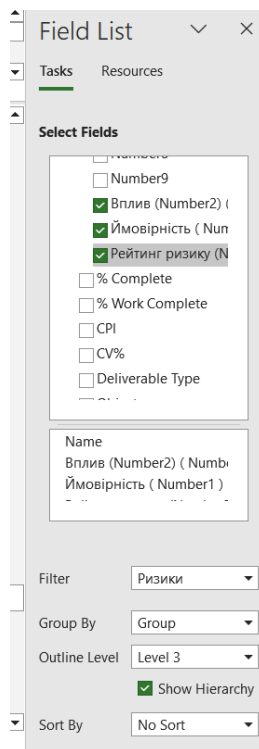


Рис. 4.11. Налаштування звіту

Відтак, Project доводить, що є ефективним засобом управління ризиками. Список ризиків відображено на додатку 3.

ВИСНОВКИ

У процесі виконання роботи було досліджено та впроваджено інноваційний підхід до управління проектами з модернізації будівель із використанням нейронних мереж. Робота підтверджує актуальність теми, враховуючи зростаючі вимоги до енергоефективності, безпеки та цифровізації будівельної галузі. В умовах постійної урбанізації та необхідності відновлення інфраструктури України, розроблені моделі та рішення є особливо цінними.

Основні результати дослідження

Проведено ґрунтовний аналіз сучасних методів управління проектами та можливостей їх застосування для модернізації будівель.

Застосовано PESTLE- та SWOT-аналізи для оцінки зовнішніх і внутрішніх чинників, що впливають на успішність проектів.

Запропоновано інтеграцію нейронних мереж, зокрема згорткових (CNN), для автоматизованого моніторингу технічного стану будівель.

Розроблено матрицю управління ризиками, що дозволяє мінімізувати вплив зовнішніх загроз.

Створено алгоритми для прогнозування можливих дефектів та оцінки їх впливу на експлуатацію будівель.

Практична реалізація:

Зібрано датасет на основі якого натреновано моделі Faster R-CNN та YOLO5, що надає хорошу точність та визначає дефекти будівель. Розроблено систему рекомендацій на основі даних моделей.

Економічна ефективність:

Впровадження системи моніторингу стану будівель забезпечує скорочення витрат на ремонт і обслуговування завдяки своєчасному виявленню дефектів.

Оптимізація ресурсів дозволяє суттєво зменшити витрати на енергоносії, що є важливим у сучасних умовах зростання цін на енергоресурси.

Додаткові переваги включають підвищення вартості будівель і покращення комфортних умов для мешканців.

Пропозиції та перспективи розвитку

Інтеграція системи в масштабних проектах:

Застосування розробленої моделі у масштабних проектах із модернізації житлового та комерційного фонду.

Розширення функціональності системи для підтримки різних типів будівель.

Автоматизація процесів управління:

Інтеграція моделі у системи управління будівлями (BMS) для повної автоматизації процесів моніторингу та обслуговування.

Використання IoT-технологій для збору даних у реальному часі та підвищення точності прогнозів.

Подальше дослідження та вдосконалення:

Розробка моделей з використанням глибших нейронних мереж для підвищення точності розпізнавання дефектів.

Проведення подальших досліджень для оптимізації алгоритмів і скорочення часу обробки даних.

Розроблена модель управління проектами модернізації будівель на основі нейронних мереж є ефективним інструментом для підвищення надійності, енергоефективності та економічної стійкості об'єктів інфраструктури. Запропоновані рішення забезпечують як стратегічні переваги для будівельної галузі, так і практичні вигоди для кінцевих користувачів. Подальше впровадження і розвиток цієї моделі сприятиме створенню розумних, стійких та інноваційних будівельних систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). Deep Learning. Cambridge, MA: MIT Press. ISBN: 9780262035613.
2. Bishop, C. M. (2006). Pattern Recognition and Machine Learning. New York: Springer. ISBN: 978-0387310732.
3. He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep Residual Learning for Image Recognition. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 770–778.
4. Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 779–788.
5. Ren, S., He, K., Girshick, R., & Sun, J. (2017). Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 39(6), 1137–1149.
6. Zhao, Z., Zheng, P., Xu, S. T., & Wu, X. (2019). Object Detection with Deep Learning: A Review. IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, 30(11), 3212–3232.
7. LeCun, Y., Bottou, L., Bengio, Y., & Haffner, P. (1998). Gradient-Based Learning Applied to Document Recognition. Proceedings of the IEEE, 86(11), 2278–2324.
8. Nielsen, M. A. (2015). Neural Networks and Deep Learning. <http://neuralnetworksanddeeplearning.com>.
9. Simonyan, K., & Zisserman, A. (2014). Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition. arXiv preprint arXiv:1409.1556.
10. Kingma, D. P., & Ba, J. (2014). Adam: A Method for Stochastic Optimization. arXiv preprint arXiv:1412.6980.
11. Ioffe, S., & Szegedy, C. (2015). Batch Normalization: Accelerating Deep Network Training by Reducing Internal Covariate Shift. arXiv preprint arXiv:1502.03167.

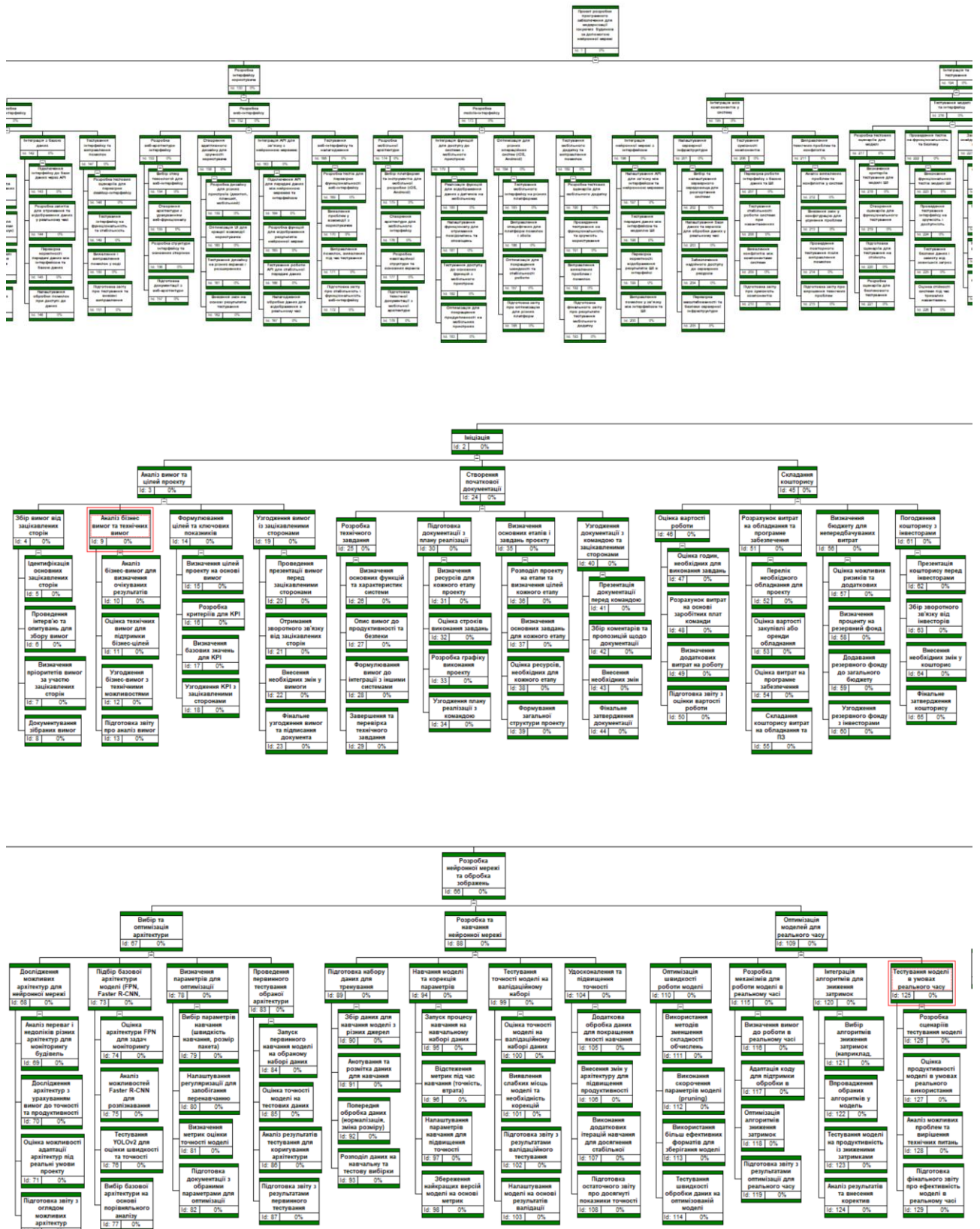
12. Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. (2012). ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks. *Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS)*.
13. Zhang, C., Bengio, S., Hardt, M., Recht, B., & Vinyals, O. (2016). Understanding deep learning requires rethinking generalization.
14. Raghu, M., Poole, B., Kleinberg, J., Ganguli, S., & Sohl-Dickstein, J. (2017). On the Expressive Power of Deep Neural Networks. *arXiv preprint arXiv:1606.05336*.
15. Cybenko, G. (1989). Approximation by superpositions of a sigmoidal function. *Mathematics of Control, Signals and Systems*, 2(4), 303-314.
16. Flah, X., Zhang, T., & Chen, Y. (2020). Feature Pyramid Networks for Multi-Scale Detection in Surface Defect Identification. *Journal of Structural Health Monitoring*, 15(2), 210-225.
17. Gao, X., Li, Y., & Zhang, Z. (2024). UAV-based system for real-time detection and analysis of cracks in high-rise buildings. *Journal of Structural Health Monitoring*, 19(4), 450-465
18. Elgendy, M. (2020). *Deep Learning for Vision Systems: A Practical Guide to Creating AI Vision Applications with Python*. Manning Publications. ISBN: 9781617296192.
19. Cadle, J., & Yeates, D. (2008). *Project Management for Information Systems* (5th ed.). Pearson Education.
20. Schwaber, K. (2004). *Agile Project Management with Scrum*. Microsoft Press.
21. Berkun, S. (2005). *The Art of Project Management*. O'Reilly Media.
22. Phillips, J. (2014). *IT Project Management: On Track from Start to Finish* (3rd ed.). McGraw-Hill Education.
23. Berkun, S. (2008). *Making Things Happen: Mastering Project Management*. O'Reilly Media.
24. Schwalbe, K. (2018). *Information Technology Project Management* (9th ed.). Cengage Learning.

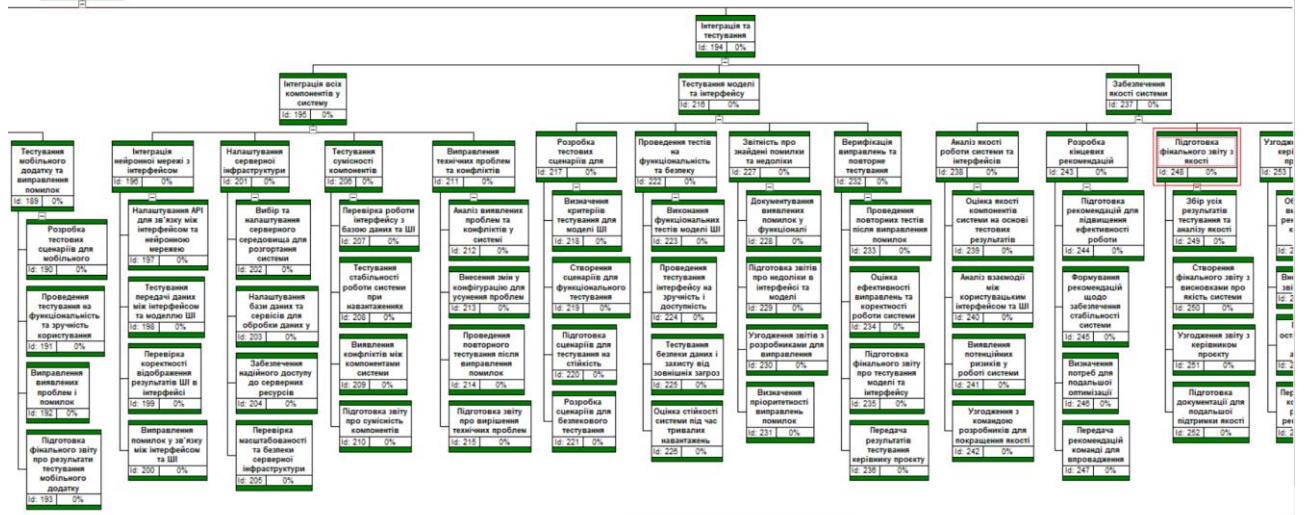
25. Jalote, P. (2002). Software Project Management in Practice. Addison-Wesley."
26. Project Management Institute. (2021). A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide) (7th ed.). PMI.
27. Sutherland, J. (2014). Scrum: The Art of Doing Twice the Work in Half the Time. Crown Business.
28. Brooks, F. P. (1995). The Mythical Man-Month: Essays on Software Engineering. Addison-Wesley.
29. Fleming, Q. W., & Koppelman, J. M. (2010). Earned Value Project Management (4th ed.). Project Management Institute.
30. Anbari, F. T. (2003). Earned Value Project Management Method and Extensions. Project Management Journal, 34(4), 12-23.
31. Vanhoucke, M. (2011). Project Management with Dynamic Scheduling: Baseline Scheduling, Risk Analysis, and Project Control. Springer Science & Business Media.
32. Lipke, W. (2003). Schedule is Different. The Measurable News, March 2003, 31-34.
33. Chapman, C., & Ward, S. Project Risk Management: Processes, Techniques, and Insights., John Wiley & Sons, 2003, ISBN: 978-0-470-84770-5
34. Aven, T. Risk Analysis. John Wiley & Sons, 2015. ISBN: 978-1-118-91846-1
35. Hillson, D., & Simon, P. Practical Project Risk Management: The ATOM Methodology., Berrett-Koehler Publishers, 2020., ISBN: 978-1-92889-562-5
36. Hubbard, D. W. The Failure of Risk Management: Why It's Broken and How to Fix It., John Wiley & Sons, 2020., ISBN: 978-1-119-53150-7.
37. Crouhy, M., Galai, D., & Mark, R., The Essentials of Risk Management., McGraw-Hill Education, 2014., ISBN: 978-0-07-182115-5
38. Kerzner, H. Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling., Wiley, 12th Edition, 2017., ISBN: 978-1119165354.

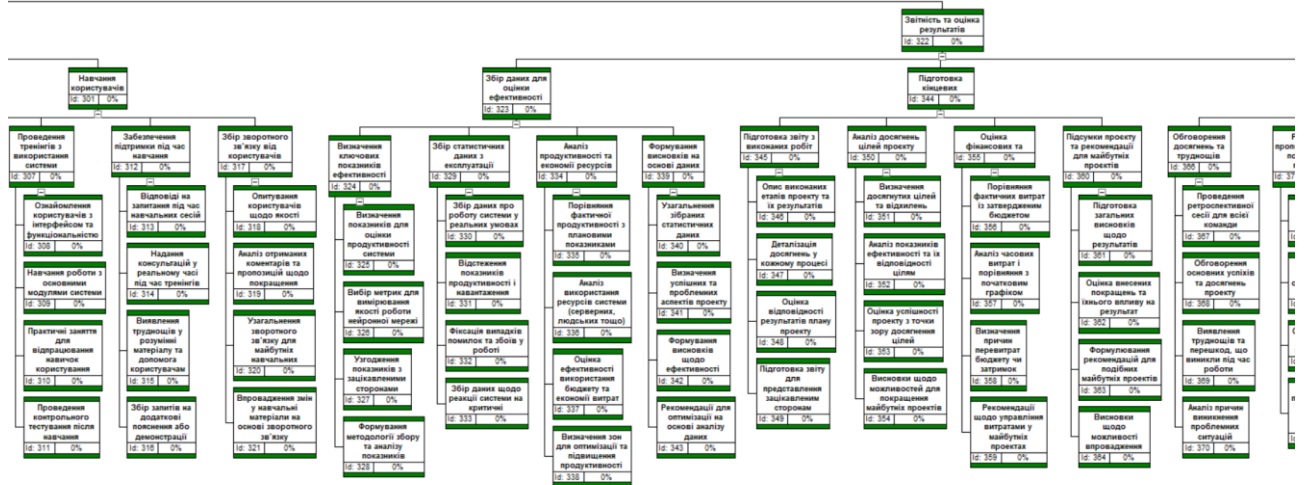
39. Meredith, J. R., & Mantel, S. J., Project Management: A Managerial Approach., Wiley, 9th Edition, 2014., ISBN: 978-1118945834.
40. Lewis, J. P. Project Planning, Scheduling, and Control: The Ultimate Hands-On Guide to Bringing Projects in On Time and On Budget. McGraw-Hill, 5th Edition, 2007. ISBN: 978-0071746526.
41. Бушуєв С.Д., Бушуєва Н.С., Оберемок І.І., Тімінський О.Г. Управління проектами розвитку регіонів та міст: навчальний посібник., Київ., КНУБА., 2012. 252 с.
42. Morozov, V., Kalnichenko, O., Timinsky, A., Liubyma, I. Projects change management in based on the projects configuration management for developing complex projects, Proceedings of the 2017 IEEE 9th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, IDAACS 2017, 2017, 2, pp. 939–941.
43. Morozov, V.V., Timinsky, A.G. Strategic gaps in the capabilities of internal and external adaptation of methodologies and information systems of project management, Proceedings of the 2016 IEEE 1st International Conference on Data Stream Mining and Processing, DSMP 2016, 2016, pp.405–409.
44. Пух А.П., Тімінський О.Г., Соболевська Л.Г., Вольтерс А.О. Основи проектування систем автоматизації. Проектування локальних систем автоматики: навчальний посібник, К.: КНУБА, 2012, 153 с.
45. Морозов В.В., Чумаченко І.В., Доценко Н.В., Чередніченко А.М. Управління проектами: планування проектних дій: Підручник, – К.: Університет економіки та права «КРОК», 2014.- 673 с.
46. Morozov V., “Elaboration of Communication Models in Adaptive Systems of E-learning with Using Neural Networks”, in Proc. of the IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST 2021)”, 2021, pp. 395-401. (Scopus).
47. Morozov V., Kalnichenko O., Mezentseva O. The method of interaction modeling on basis of deep learning the neural networks in complex IT-projects. International Journal of Computing, 2020, 19(1), pp. 88–96. (ISSN 2312-5381).

ДОДАТКИ

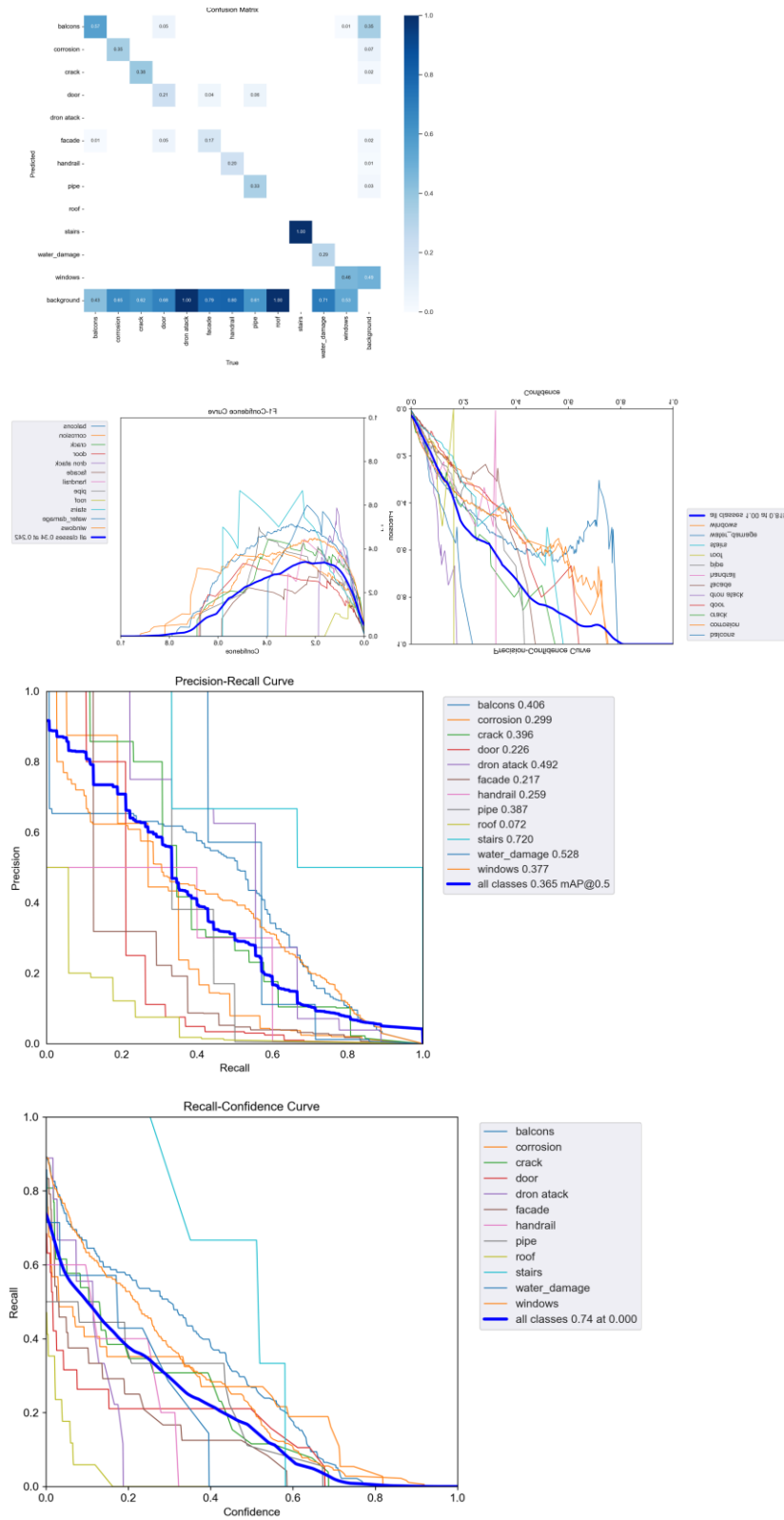
Додаток А. Детальна WBS проєкту

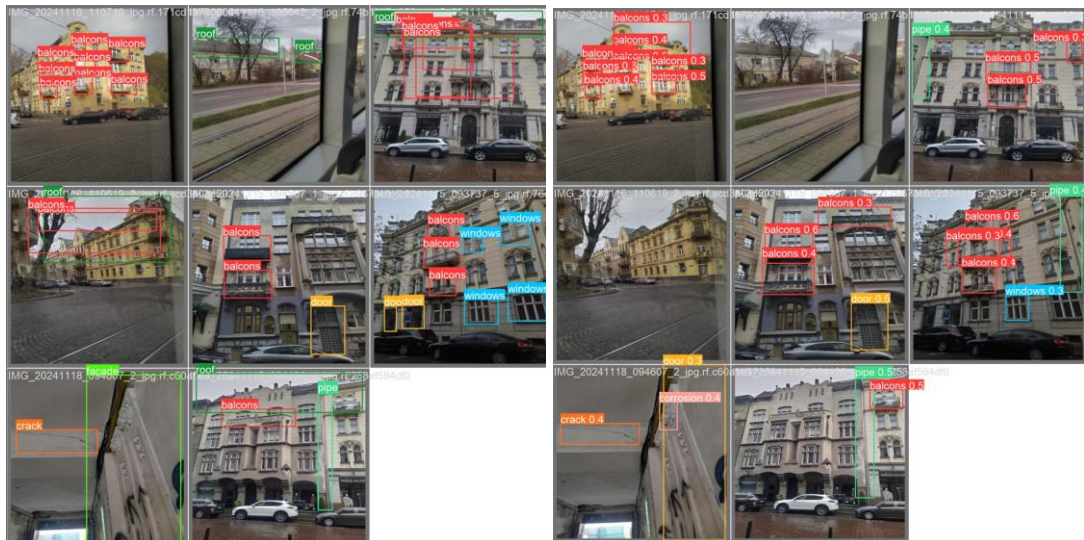
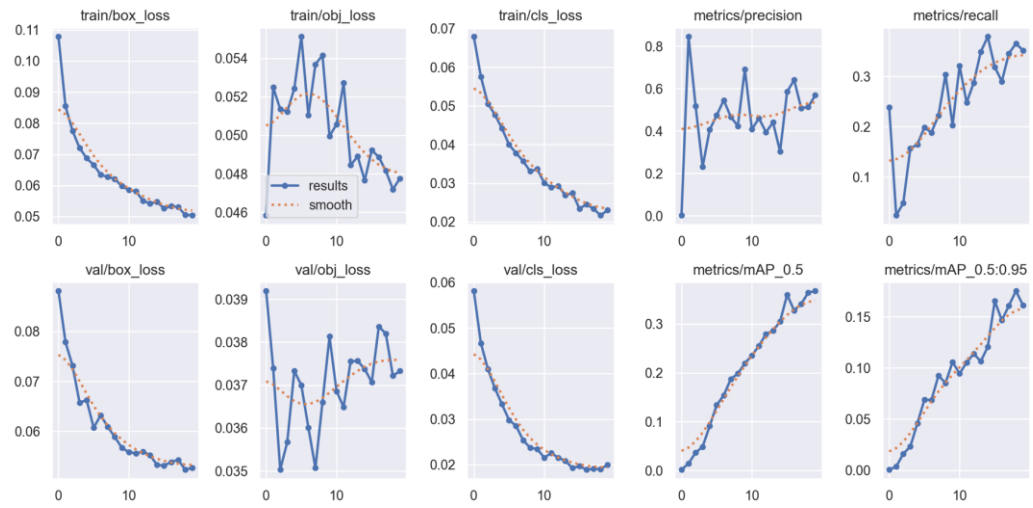


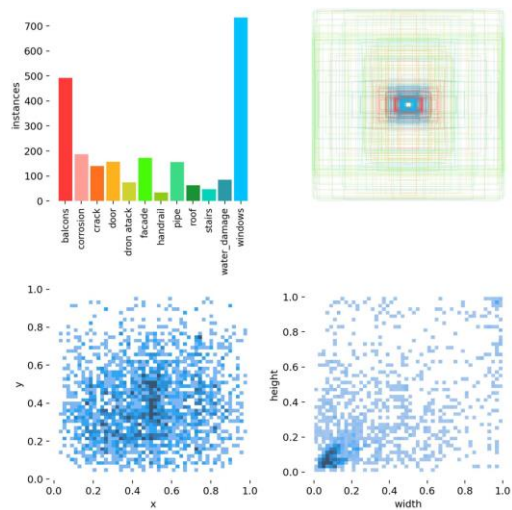
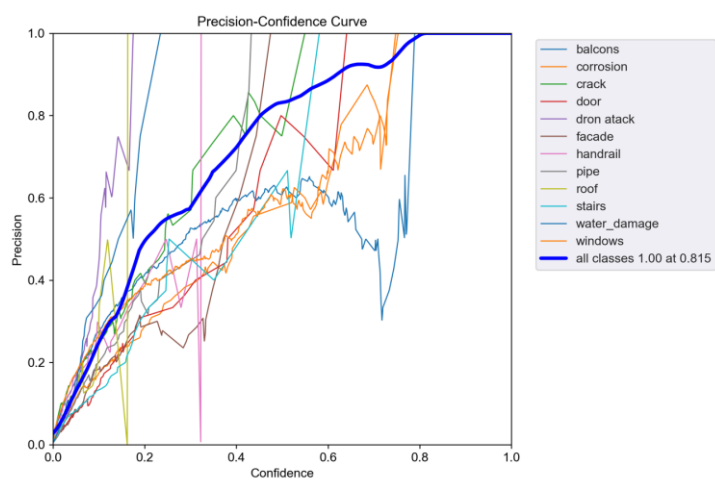
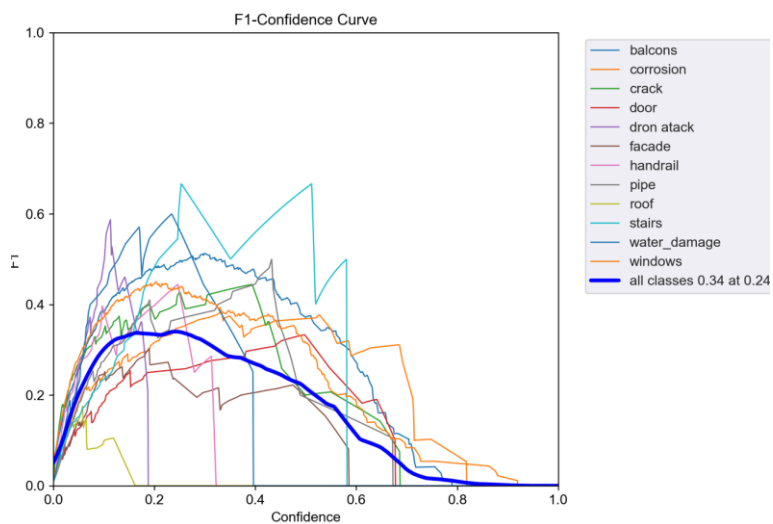




Додаток В. Статистика продуктивності моделі







Додаток С. Перелік ризиків сформованих у Project 2019.

Опис ризику: Використання хмарних сервісів, розгортання команд в безпечних регіонах.				
8 Ризики				
Ризик - Руйнування інфраструктури через бойові дії	70	70	4900	Використання хмарних сервісів, розгортання команд в безпечних регіонах
Опис ризику: Збої в роботі ПЗ через надмірну складність алгоритмів.				
8 Ризики				
Ризик - Збої в роботі ПЗ через надмірну складність алгоритмів	60	40	2400	Оптимізація коду, тестування продуктивності на різних сценаріях, спрощення алгоритмів.
Опис ризику: Недостатня точність нейронної мережі при обробці нетипових ситуацій.				
8 Ризики				
Ризик - Недостатня точність нейронної мережі при обробці нетипових ситуацій	50	50	2500	Регулярне навчання моделі на нових даних, проведення тестування на нетипових випадках.
Опис ризику: Низька якість вихідних даних (плани будинків, інформація про стан споруд тощо).				
2 Розробка нейронної мережі та обробка зображень				
2.2 Розробка та навчання нейронної мережі				
8 Ризики				
Ризик – Низька якість вихідних даних	95	60	5700	Збір додаткових даних, валідація існуючих даних, залучення експертів для перевірки даних
Опис ризику: Пошук додаткового фінансування, грантів, міжнародних донорів, перегляд бюджету.				
8 Ризики				
Ризик - Недостатнє фінансування на розробку програмного забезпечення	100	60	6000	Пошук додаткового фінансування, грантів, міжнародних донорів, перегляд бюджету
Опис ризику: Проведення маркетингових кампаній, демонстрація переваг програмного забезпечення.				
8 Ризики				
Ризик - Недостатня зацікавленість у використанні технології серед	40	40	1600	Проведення публічних консультацій, освітніх заходів.
Опис ризику: Проведення переговорів, підписання меморандумів про співпрацю.				
8 Ризики				
Ризик - Складності у взаємодії з місцевими органами влади та комунальними службами.	20	20	400	Проведення маркетингових кампаній, демонстрація переваг програмного забезпечення.
Опис ризику: Проведення публічних консультацій, освітніх заходів.				
8 Ризики				
Ризик - Низький рівень довіри населення до нових технологій	30	40	1200	Розробка інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу, проведення тренінгів.
Опис ризику: Проведення тренінгів для молодих спеціалістів, аутсорсинг, співпраця з університетами.				
8 Ризики				
Ризик - Обмежена кількість кваліфікованих фахівців через міграцію або мобілізацію	40	40	1600	Проведення тренінгів для молодих

Опис ризику: Розробка внутрішніх стандартів, співпраця з регуляторними органами для їх затвердження.				
8 Ризики				
Ризик - Відсутність єдиних стандартів для модернізації будинків.	20	20	400	Розробка внутрішніх стандартів, співпраця з регуляторними органами для їх затвердження.
Опис ризику: Розробка інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу, проведення тренінгів.				
8 Ризики				
Ризик - Відсутність досвіду у користувачів, що ускладнює адаптацію до нової системи.	20	10	200	
Опис ризику: Розробка резервного плану постачання, пошук альтернативних постачальників.				
8 Ризики				
Ризик - Непередбачені затримки у постачанні необхідного обладнання.	50	40	2000	Розробка резервного плану постачання, пошук альтернативних постачальників.
Опис ризику: Щомісячний перегляд бюджету,				

Додаток D. Паспорт проекту.

Таблиця D.1

Паспорт проекту

Паспорт проекту	
Назва проекту	Модернізація будівель за допомогою нейронної мережі для моніторингу стану будівель
Опис проекту	Проект передбачає розробку та впровадження інноваційної системи моніторингу стану будівель на базі нейронних мереж для підвищення безпеки, комфорту та ефективності обслуговування будівель. Система включає встановлення датчиків для моніторингу та створення інформаційної платформи для управління даними та оповіщення користувачів про ризики.
Основні цілі проекту (визначені за SMART-критеріями)	Specific: Впровадити систему моніторингу, що надає дані про стан будівель в реальному часі. Measurable: Досягти точності моделі нейронної мережі на рівні не менше 95% для розпізнавання дефектів. Achievable: Залучити кваліфіковану команду, забезпечити необхідний бюджет. Relevant: Забезпечити безпечні та комфортні умови для мешканців. Time-bound: Завершити проект до кінця фінансового року (12 місяців).
Основні етапи проекту	Ініціація проекту: Аналіз вимог, складання документації та кошторису. Розробка системи моніторингу: Вибір та навчання нейронної мережі, встановлення датчиків. Інтеграція та тестування: Інтеграція компонентів, забезпечення якості та тестування. Введення в експлуатацію: Розгортання системи, навчання користувачів, оцінка результатів.
Ключові результати проекту (Deliverables)	Програмна система з інтерфейсом користувача (desktop, web, mobile). Нейронна мережа для моніторингу стану будівель. Система оповіщень для підвищення безпеки. Інструкції користувача та навчальні матеріали.
Терміни реалізації проекту	Початок: [вказати початкову дату] Завершення: [вказати плановану кінцеву дату] Тривалість: 12 місяців
Бюджет проекту	Заробітна плата команди: 192 000 \$ Обладнання: 30 000 \$ Програмне забезпечення: 18 000 \$ Адміністративні витрати: 10 000 \$ Резерв на непередбачувані витрати (10%): 25 000 \$ Загальний бюджет: 275 000 \$
Зацікавлені сторони проекту	Клієнти та мешканці будівель: Основні кінцеві користувачі. Інвестори та фінансові партнери: Фінансування проекту, очікування прибутковості. Місцева громада та органи влади: Підтримка проекту для покращення інфраструктури. Команда проекту: Всі учасники, від менеджера до технічного персоналу.

Критерії успіху проекту	Точність моделі на рівні не менше 95%. Забезпечення надійного збору даних у реальному часі. Виконання проекту у встановлених часових та фінансових межах. Позитивний відгук від користувачів та зацікавлених сторін.
Управління ризиками	Технічні ризики: Можливість недостатньої точності моделі, можливі технічні збої. Фінансові ризики: Перевищення бюджету, можливі додаткові витрати. Організаційні ризики: Відсутність ресурсів, затримки через зміну вимог. Операційні ризики: Несправність датчиків, збої в обслуговуванні.
Контроль та моніторинг проекту	Оцінка прогресу: Використання ключових показників (KPI) для кожного етапу. Відстеження бюджету: Регулярна оцінка витрат та коригування бюджету. Комунікація з командою: Щотижневі зустрічі, звітування про стан проекту. Формування звітності: Щомісячні звіти для спонсорів та зацікавлених сторін.
Організаційна структура команди проекту	Project Manager: Координація проекту, управління ризиками. Data Scientist/ML Engineer: Розробка та тренування нейронної мережі. Computer Vision Engineer: Оптимізація та впровадження моделей. Full Stack Developer: Розробка інтерфейсу. DevOps Engineer: Інфраструктура та CI/CD. QA Engineer: Тестування та забезпечення якості. Business Analyst: Вимоги та документування.
Комунікаційний план	Внутрішні комунікації: Щотижневі наради команди, робочі чати. Зовнішні комунікації: Звіти для спонсорів, оновлення для користувачів. Інструменти: Microsoft Project, Slack, Power BI для відстеження показників проекту.