

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

Факультет інформаційних технологій

Кафедра технологій управління

Спеціальність 122 – Комп'ютерні науки
Освітньо-наукова програма «Управління проектами»

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

на тему:

«Дослідження процесів управління проектом створення автоматизованої системи контролю рівня вологості ґрунтів аграрного сектору»

Студентки 2-го курсу групи УП-21

Валерії СТАРОДУБЕЦЬ

(ім'я, прізвище)

(підпис студента)

Науковий керівник:

К.Т.Н., доцент

(науковий ступінь, вчене звання)

Вадим ЗЮЗЮН

(ім'я, прізвище)

(дата)

(підпис)

Попередній захист:

(Висновок: "До захисту в Екзаменаційній комісії")

Завідувач кафедри
технологій управління

(підпис)

Віктор МОРОЗОВ

(ім'я, прізвище)

(дата)

Київ 2025

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА
Факультет інформаційних технологій**

Кафедра технологій управління
Освітній рівень Магістр
Спеціальність 122 Комп'ютерні науки
Освітньо-наукова програма «Управління проектами»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
професор Віктор МОРОЗОВ

“27” листопада 2024 року

З А В Д А Н Н Я

НА ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Студентка: Стародубець Валерія Анатоліївна

Група: УП-21

1. Тема кваліфікаційної роботи:

«Дослідження процесів управління проектом створення автоматизованої системи контролю рівня вологості ґрунтів аграрного сектору»

Затверджена протоколом кафедри ТУ № 5 від 26.11.2024 року.

2. Строк подання студентом готової роботи – «19» 05 2025 р.

3. Цільова установка та вихідні дані до роботи: Ціллю роботи є дослідження методів управління проектом створення автоматизованої системи контролю

вологості ґрунтів, з акцентом на планування, управління ризиками та ресурсами. Вихідними даними є структурований план реалізації проєкту, створений із використанням сучасних інформаційних технологій.

4. Зміст роботи: У роботі проведено аналіз предметної області та обґрунтовано концепцію створення автоматизованої системи контролю вологості ґрунтів. Визначено мету, завдання та очікуваний результат проєкту, виконано SWOT-аналіз. Побудовано концептуальну модель системи, математичну модель та організаційну структуру команди. Розроблено архітектуру рішення, програмне забезпечення, базу даних, а також апаратну частину системи. Визначено структуру WBS, етапи життєвого циклу проєкту, календарне планування та контрольні віхи. Описано методологію управління проєктом, проведено управління ризиками, ресурсами та якістю, а також здійснено аналіз результатів розробки.

5. Перелік графічного матеріалу: дерево проблем, дерево цілей, концептуальна модель проєкту, організаційна структура проєкту, WBS-структура, схема управління ризиками, архітектура системи, блок-схема взаємодії користувача з інтерфейсом, блок-схема роботи системи, UML-діаграма класів, концептуальна, логічна та фізична моделі бази даних, візуалізація апаратної та програмної частин системи.

6. Календарний план виконання роботи

Назва частин роботи	Виконання роботи
Вивчення літературних джерел з предмету дослідження	22.01.25-21.02.25
Збір і вивчення матеріалів досліджуваного підприємства	23.01.25-01.02.25
Складання розгорнутого плану кваліфікаційної роботи	20.01.25-29.01.25
Ознайомлення наукового керівника з розгорнутим планом кваліфікаційної роботи. Внесення змін	23.01.25

Підготовка розділу 1	05.02.25-27.02.25
Підготовка розділу 2	28.02.25-14.03.25
Підготовка розділу 3	15.03.25-03.04.25
Підготовка розділу 4	06.04.25-19.04.25
Оформлення кваліфікаційної роботи	21.04.25-07.05.25
Передача кваліфікаційної роботи науковому керівникові	08.05.25
Передача кваліфікаційної роботи рецензенту для рецензування	12.05.25
Захист кваліфікаційної роботи	26.05.25-28.05.25

Дата видачі завдання «28» листопада 2024 р.

Керівник роботи . доцент Вадим ЗЮЗЮН
(посада, ім'я, прізвище)

(підпис)

Завдання прийняв до виконання студент групи УП-21

Валерія СТАРОДУБЕЦЬ
(ім'я, прізвище)

(підпис)

АНОТАЦІЯ

кваліфікаційної роботи магістра на тему
«Дослідження процесів управління проектом створення автоматизованої
системи контролю рівня вологості ґрунтів аграрного сектору»

Студентка: Стародубець Валерія Анатоліївна

Науковий керівник: Зюзюн Вадим Ігорович

Рік захисту – 2025

Метою підготовки роботи є дослідження методів управління проектом розробки автоматизованої IoT-системи для контролю рівня вологості ґрунтів з метою підвищення ефективності аграрного виробництва.

Ціль проекту – створити IoT-систему, що забезпечує безперервний моніторинг вологості ґрунтів і надає можливість віддаленого керування поливом для оптимального використання водних ресурсів.

Об'єктом дослідження є процеси розробки та впровадження автоматизованої IoT-системи моніторингу вологості ґрунтів у сільському господарстві.

Предметом дослідження є методи та інструменти управління проектом, спрямовані на створення та впровадження автоматизованої IoT-системи моніторингу вологості ґрунтів, із реалізацією користувачького інтерфейсу для візуалізації даних та дистанційного керування поливом.

Наукова новизна полягає у побудові концептуальної та математичної моделі системи контролю вологості ґрунтів, яка базується на використанні теорії множин та інтегрується з інструментами управління проектами, що забезпечує адаптацію до специфіки сільськогосподарського виробництва.

Кваліфікаційна робота складається з анотації, вступу, чотирьох розділів основної частини, висновків, списку використаних джерел та додатків.

У першому розділі розглянуто проблему контролю вологості ґрунтів в аграрному секторі, проаналізовано існуючі рішення, обґрунтовано вибір технологій, сформовано SWOT-аналіз, технічне завдання, цілі, зацікавлені сторони та побудовано дерево рішень.

У другому розділі розроблено концептуальну модель інформаційної системи та здійснено постановку задачі у математичній формі, з формалізацією процесу реалізації проєкту.

У третьому розділі обґрунтовано вибір методології управління, побудовано організаційну структуру, WBS-структуру, визначено контрольні віхи, виконано планування з використанням ProjectLibre, проведено управління ресурсами, ризиками та виконано економічне обґрунтування проєкту.

У четвертому реалізовано архітектуру апаратно-програмного комплексу: розроблено логіку обробки даних, програмні й апаратні компоненти, концептуальну, логічну та фізичну моделі бази даних, а також систему збереження інформації про стан посівів.

Робота містить 93 сторінки без додатків, 30 рисунків та 8 таблиць.

Додатки складають 20 сторінок.

Ключові слова: управління проєктами, автоматизована система, IoT, вологість ґрунтів, сільське господарство, база даних, ризики, архітектура системи.

ЗМІСТ

ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ	12
1.1. Аналіз проблеми відслідковування рівня вологості ґрунтів в аграрному секторі економіки	12
1.2 Проведення аналізу літературних та інформаційних джерел	16
1.3 Обґрунтування та вибір технологій для створення автоматизованої системи контролю рівня вологості ґрунтів в аграрному секторі	18
1.4 SWOT-аналіз	20
1.5 Формування технічного завдання у вигляді паспорту проєкту	24
1.5.1 Місія та цілі проєкту	26
1.5.2 Ідентифікація первинних та вторинних зацікавлених сторін проєкту	27
1.5.3 Побудова дерева рішень для цілей та проблем проєкту	29
1.5.4 Життєвий цикл проєкту	33
РОЗДІЛ 2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ В МАТЕМАТИЧНОМУ ВИГЛЯДІ	35
2.1 Розробка концептуальної моделі інформаційної системи	35
2.2 Розробка математичної моделі процесу реалізації рішення	36
РОЗДІЛ 3. ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБґРУНТУВАННЯ УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТОМ	46
3.1 Аналіз та вибір методології управління проєктом	46
3.2 Організаційна структура проєкту	47
3.3 Побудова WBS проєкту	49
3.4 Визначення контрольних віх проєкту	51
3.5 Планування проєкту з використанням інформаційних технологій. Діаграма Ганта. Управління ресурсами	53
3.7 Економічне обґрунтування проєкту	66
РОЗДІЛ 4. ПРОЄКТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА АПАРАТНО-ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ПРОЄКТУ	72
4.1 Розробка архітектурної моделі автоматизованої системи	72

4.2 Розробка алгоритмів обробки та аналізу даних	74
4.3 Проєктування концептуальної моделі, логічної, фізичної баз даних	78
4.4 Розробка апаратної частини системи	81
4.5 Розробка програмної частини системи	83
ВИСНОВКИ	87
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ	89
ДОДАТКИ	94
ДОДАТОК А	94
ДОДАТОК Б	95
ДОДАТОК В	96
ДОДАТОК Г	97
ДОДАТОК Д	101
ДОДАТОК Е	103
ДОДАТОК К	105
ДОДАТОК Л	106

ВСТУП

Актуальність дослідження. У сучасному аграрному виробництві ефективне використання ресурсів є ключовим фактором для забезпечення стабільної врожайності та якості продукції. Однією з найважливіших умов розвитку сільського господарства є своєчасний та обґрунтований контроль за вологістю ґрунту, оскільки нестача або надлишок води безпосередньо впливає на стан рослин і їх продуктивність. В умовах змін клімату, зниження природної родючості ґрунтів і обмеженості водних ресурсів особливої актуальності набуває застосування інноваційних технологій моніторингу.

Автоматизовані системи контролю вологості, які базуються на технологіях Інтернету речей (IoT), відкривають нові можливості для аграрного сектору. Вони дозволяють у режимі реального часу отримувати точні дані з поля, оперативно реагувати на зміну умов і приймати обґрунтовані рішення щодо поливу. Це сприяє не лише підвищенню врожайності, а й економії ресурсів, зниженню виробничих витрат та підвищенню стійкості агровиробництва до зовнішніх факторів.

Дослідження, спрямовані на розробку таких систем, є надзвичайно важливими для розвитку цифрового землеробства, впровадження SMART-рішень у сільському господарстві та забезпечення сталого розвитку аграрної сфери загалом.

Метою кваліфікаційної роботи є створення та впровадження автоматизованої системи контролю вологості ґрунтів з використанням IoT-технологій, що дозволить підвищити продуктивність та ефективність сільськогосподарського виробництва.

Для досягнення поставленої мети у межах кваліфікаційної роботи необхідно вирішити такі завдання:

1. Дослідити існуючі рішення для моніторингу вологості ґрунтів, проаналізувати їхні функціональні характеристики, переваги та обмеження

та обґрунтувати вибір апаратного та програмного забезпечення для реалізації системи.

2. Сформувані цілі, місію та життєвий цикл проєкту, визначити основних зацікавлених сторін і організаційну структуру команди.
3. Побудувати концептуальну модель проєкту, зокрема дерево проблем, цілей, рішень і SWOT-аналіз, а також математичну модель процесу реалізації.
4. Розробити архітектуру інформаційної системи, алгоритми її функціонування, програмні модулі та взаємодію між клієнтською і серверною частинами.
5. Спроекувати базу даних системи, включаючи концептуальний, логічний і фізичний рівні моделювання.
6. Визначити та обґрунтувати методологію управління проєктом, побудувати WBS-структуру, встановити контрольні віхи та виконати календарне планування.
7. Провести ідентифікацію та кількісну оцінку ризиків, сформувані механізми їхнього контролю в межах обраної методології.
8. Реалізувати апаратну частину системи у віртуальному середовищі та створити прототип програмного забезпечення для моніторингу та віддаленого керування поливом.

Об'єктом дослідження є процеси розробки та впровадження автоматизованої IoT-системи моніторингу вологості ґрунтів у сільському господарстві.

Предметом дослідження є методи та інструменти управління проєктом, спрямовані на створення та впровадження автоматизованої IoT-системи моніторингу вологості ґрунтів, із реалізацією користувачького інтерфейсу для візуалізації даних та дистанційного керування поливом.

Наукова новизна полягає у створенні концептуальної математичної моделі автоматизованої системи контролю вологості ґрунтів на основі теорії множин, а

також у її інтеграції з інструментами управління IT-проектами для аграрного сектору.

Практична цінність роботи полягає у створенні автоматизованої системи моніторингу, що дозволяє в реальному часі контролювати рівень вологості ґрунтів, здійснювати візуалізацію даних на інтерактивній карті та реалізовувати керування поливом на основі аналізу показників. Розроблена система може бути впроваджена в аграрних господарствах для оптимізації використання водних ресурсів та підвищення врожайності.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Аналіз проблеми відслідковування рівня вологості ґрунтів в аграрному секторі економіки

Україна, як країна з високорозвиненою аграрною індустрією, зокрема в сегменті вирощування зернових культур, стикається з серйозними викликами у сфері використання водних ресурсів. Проблеми неефективного управління вологістю ґрунту можуть суттєво впливати на аграрну продуктивність. Наприклад, недостатня вологість може призвести до зниження врожайності і зниження якості зерна, тоді як надмірна вологість створює умови для розвитку патогенів, що також негативно впливає на урожай.

За даними досліджень, значна частина земель, де вирощуються зернові культури в Україні, потребує інтенсивного поливу. Проте, існуючі системи поливу охоплюють лише малий відсоток цих територій, що підсилює проблему оптимізації водних ресурсів.

Ерозія ґрунтів, яка в Україні торкається значної частини земель, призводить до зниження здатності ґрунтів зберігати вологу, що також ускладнює ситуацію з поливом. Крім того, коливання погодних умов, зокрема часті засухи, вимагають адаптивного підходу до управління вологістю ґрунту, що може забезпечити стабільність аграрного виробництва навіть у непередбачуваних кліматичних умовах [1-3].

Усі ці фактори підкреслюють важливість впровадження інноваційних технологій, таких як датчики вологості ґрунту та системи автоматичного поливу. Такі технології можуть допомогти оптимізувати використання водних ресурсів, забезпечуючи водночас здоров'я рослин і підвищення врожайності. Впровадження смарт-технологій в сільському господарстві може стати ключовим кроком у забезпеченні стійкості та продуктивності аграрного сектору України в умовах зміни клімату та зростання населення.

Наразі ринок пропонує різноманітні технології для моніторингу вологості ґрунту, кожна з яких має свої особливості та адаптована до конкретних умов

ведення агробізнесу. Залежно від конкретних вимог аграріїв, таких як вид ґрунту, обсяги оброблюваних земель, типи культур, а також фінансові можливості, вони можуть вибрати найбільш підходящу систему. Ось кілька прикладів передових технологій, що широко використовуються у світі.

Teralytic є інноваційною системою моніторингу стану ґрунту, яка базується на використанні комплексу бездротових сенсорів, що заглиблюються у різні шари ґрунтового профілю (рис. 1.1). Кожен сенсор забезпечує безперервне зчитування широкого спектра параметрів, серед яких рівень вологості, кислотність (pH), температура та концентрація поживних елементів, зокрема азоту, калію, фосфору тощо.



Рис. 1.1. Система моніторингу стану ґрунту Teralytic

Зібрані дані автоматично передаються через мобільну мережу або мережу LoRaWAN на хмарну платформу, де вони обробляються алгоритмами аналітики. Користувач отримує доступ до інтерфейсу через комп'ютер або мобільний пристрій, де відображаються графіки, попередження та рекомендації щодо поливу, внесення добрив або корекції агротехнічних заходів.

Основною перевагою системи є здатність давати комплексну картину ґрунтового середовища без потреби у постійному ручному відборі проб. Завдяки цьому скорочується людський фактор і підвищується точність прийняття рішень.

Однак існують і певні обмеження. Зокрема, через велику кількість вимірюваних параметрів система потребує первинного калібрування, адаптованого до конкретного типу ґрунту, і час від часу повторного

налаштування. Також варто враховувати, що вартість Teralytic є досить високою, тому її впровадження доцільніше для середніх та великих господарств, де повернення інвестицій може бути швидшим завдяки масштабам [4-5].

Система CropX є прикладом передового рішення в сфері розумного землеробства, що поєднує сучасні сенсорні технології з алгоритмами штучного інтелекту (рис. 1.2). В основі її роботи лежить встановлення ґрунтових датчиків, які моніторять вологість на різних глибинах. Завдяки цьому система не просто фіксує факт наявності або відсутності вологи, а відображає її розподіл у ґрунтовому профілі, що критично важливо для правильного управління зрошенням.



Рис. 1.2. Система управління фермерським господарством CropX

Зібрані сенсорами дані автоматично передаються на хмарну платформу, де піддаються аналізу за допомогою алгоритмів машинного навчання. Система не тільки інтерпретує поточні значення, а й навчається на історичних даних та поведінкових моделях культур, кліматичних умовах і типах ґрунту. Це дозволяє створювати персоналізовані рекомендації для кожного окремого поля, враховуючи його специфіку. Таким чином, фермер отримує чіткі інструкції щодо того, коли, де і в якому обсязі потрібно проводити полив.

Однією з найсильніших сторін CropX є її адаптивність. Система враховує зміни погодних умов, прогнозує рівень випаровування вологи, і навіть може коригувати полив з урахуванням запланованих агротехнічних робіт. Це забезпечує не тільки ефективне використання води, а й значну економію. Крім

того, підвищується стійкість культур до погодних коливань завдяки своєчасному забезпеченню вологою в критичні періоди розвитку.

Проте у StorX є свої обмеження. Для коректної роботи система потребує стабільного підключення до Інтернету, що може бути проблемою у віддалених сільських районах. Також точність аналітики напряду залежить від кількості сенсорів на гектар, а отже від інвестицій у розгортання [6-7].

Sentek є однією з провідних компаній у сфері розробки сенсорних технологій для моніторингу вологості ґрунтів, яка здобула визнання завдяки високій точності своїх приладів (рис. 1.3). Її спеціалізація полягає у створенні сенсорів, здатних вимірювати вологість на різних глибинах. Такий підхід дозволяє отримувати тривимірну картину вологості ґрунтового профілю.



Рис. 1.3. Сенсор ґрунтової вологості Sentek Drill & Drop

Один із найвідоміших продуктів компанії – система Sentek Drill & Drop, яка дозволяє встановлювати сенсори з інтервалом 10 см між вимірювальними точками, охоплюючи глибини до одного метра. Ці сенсори надсилають дані на програмне забезпечення Irrimax Live, де фермер може візуалізувати вологість по вертикалі, виявити ділянки водного стресу або надмірного зволоження та відстежити динаміку змін після опадів або поливу.

Серед основних переваг технології Sentek варто виділити високу точність і надійність. Система дозволяє не лише уникати перевитрати води, але й своєчасно реагувати на дефіцит вологи в критичних фазах розвитку рослин. Крім

того, система корисна для оцінки ефективності різних методів зрошення та дає змогу оптимізувати агротехнічні процеси в реальному часі.

Втім, як і у випадку з іншими високоточними технологіями, система Sentek вимагає попереднього налаштування, правильного встановлення та періодичного технічного обслуговування. Для великих господарств це не створює проблем, однак для малих фермерів початкові витрати можуть стати бар'єром для впровадження. Також система передбачає навчання користувача для правильної інтерпретації отриманих даних, адже значна кількість інформації вимагає аналітичного підходу [8-9].

Завдяки цим системам, сучасне аграрне виробництво стає більш продуктивним і сталим. Кожна з цих систем має свої особливості, які необхідно враховувати при їх виборі, виходячи зі специфіки конкретного господарства та його потреб.

1.2 Проведення аналізу літературних та інформаційних джерел

У межах дослідження, присвяченого створенню автоматизованої системи моніторингу вологості ґрунтів, було проведено комплексний аналіз наукових публікацій, інформаційних джерел і сучасних підходів до реалізації подібних проєктів.

Вагомий внесок у розвиток теоретико-методологічної бази проєктного управління зроблено українськими науковцями. Зокрема, у роботі Морозова В.В. та Пекневича І.І. [10] розглянуто створення інформаційної системи прогнозування попиту з використанням методів математичного моделювання, часових рядів та алгоритмів машинного навчання. Запропоновані підходи можуть бути адаптовані до створення систем моніторингу в аграрній сфері, адже процес збору та аналізу даних має подібну структуру.

Суттєве місце в аналізі посідають дослідження Бушуєвої Н.С., Бушуєва С.Д., Бушуєва Д.А. та Козира Б.Ю., зокрема щодо застосування гнучких методологій управління проєктами у цифровому середовищі [11]. У роботі

представлено модель розвитку компетенцій проєктного менеджера в умовах цифровізації, а також методики прийняття рішень на основі Data Mining. Такий підхід є надзвичайно актуальним у контексті побудови інформаційно-аналітичних систем, що функціонують у реальному часі, як, наприклад, системи моніторингу стану ґрунтів.

У статті [12] Бушуєв С.Д. разом із співавторами розглядає управління проєктами розвитку аграрного сектору на основі циркулярної економіки. Хоча робота має аграрне спрямування, її цінність полягає у висвітленні гібридного підходу до управління проєктами, де поєднуються каскадні та Agile-моделі, що дозволяє адаптувати процес до змін середовища. Такий підхід до управління життєвим циклом є доцільним і для систем, які працюють з динамічними природними даними.

Особливої уваги заслуговує дисертаційне дослідження Зюсюна В.І. [13], в якому обґрунтовано методи управління екологічними ризиками на основі математичних моделей та системного аналізу. Впровадження таких методів у проєкти цифрового моніторингу в аграрному секторі дозволяє підвищити рівень екологічної безпеки, адаптивності системи до зовнішніх факторів та забезпечити стійкість результатів.

На міжнародному рівні значну увагу привертають огляди ринку IoT-рішень для сільського господарства. У публікації [14] систематизовано приклади використання сенсорних пристроїв, платформ розумного зрошення, аналітичних панелей, що працюють на основі великих даних. Автори зазначають, що хоч ринок ще формується, IoT уже дає змогу скорочувати витрати води, зменшувати втрати врожаю та підвищувати продуктивність без шкоди для довкілля. Водночас підкреслено проблеми, які потребують проєктного вирішення: висока вартість впровадження, ризики безпеки даних і недостатня інтеоперабельність між пристроями.

У роботі Navarro E., Costa N. та Pereira A. [15] представлено систематичний огляд IoT-рішень для смарт-фермерства, зосереджений на платформах, протоколах зв'язку, хмарних обчисленнях та аналітиці. Автори акцентують

увагу на переході від реактивної моделі прийняття рішень до проактивної, де система виявляє потенційні ризики ще до їх реалізації. Такий підхід є фундаментом для побудови ефективних систем моніторингу природних процесів.

Ще одним прикладом прикладного дослідження є публікація [16], в якій окреслено дев'ять основних сценаріїв використання IoT в агросфері, включаючи автоматизовані системи поливу, моніторинг ґрунту, аналіз стану врожаю та управління логістикою. Автори підкреслюють роль даних як основного активу смарт-фермерства, що забезпечує контроль, прогнозування, мінімізацію втрат і зниження екологічного сліду.

Таким чином, проведений аналіз джерел показав, що створення автоматизованої системи моніторингу вологості ґрунтів не лише є технічно досяжним, але й має широку методологічну базу як у вітчизняній, так і в зарубіжній науковій літературі. Найбільш перспективними напрямками є поєднання гнучких моделей управління з технологіями обробки великих даних та IoT-платформами, що забезпечує адаптивність, точність і сталий розвиток проєктів в умовах сучасних викликів.

1.3 Обґрунтування та вибір технологій для створення автоматизованої системи контролю рівня вологості ґрунтів в аграрному секторі

Для реалізації автоматизованої інформаційно-аналітичної системи контролю рівня вологості ґрунтів було обґрунтовано доцільність використання комплексу апаратних та програмних рішень. Застосування комбінації програмних засобів Python та SQL у поєднанні з апаратними компонентами, датчик FC-28 та мікроконтролер ESP8266, забезпечує ефективну взаємодію між модулями збору, обробки, зберігання та передачі даних у реальному часі. Такий підхід дозволяє створити надійну, адаптивну та масштабовану систему моніторингу вологості для потреб аграрного сектору.

Python використовується як основна мова програмування для реалізації логіки взаємодії між компонентами системи, обробки даних та формування запитів до бази даних. Python є високорівневою інтерпретованою мовою загального призначення, яка поєднує в собі простоту синтаксису та високу продуктивність. Завдяки своїй читабельності, Python є одним із найзручніших інструментів для швидкої розробки програмних рішень. Висока популярність мови забезпечує широку підтримку з боку спільноти, наявність численних бібліотек для роботи з мікроконтролерами, сенсорами, базами даних, візуалізацією тощо [17].

SQL (Structured Query Language) застосовується для створення, адміністрування та доступу до реляційної бази даних, у якій зберігається інформація про координати сенсорів, часові мітки та показники вологості. Для цілей даної системи використано вбудовану базу даних SQLite, що не потребує окремого сервера та легко інтегрується у вбудовані додатки. SQLite було обрано з огляду на її простоту у розгортанні, портативність та надійність. Вона гарантує цілісність транзакцій навіть у разі збоїв живлення або переривання сеансу, що особливо важливо для безперервної роботи польових систем моніторингу [18]. Крім того, вона забезпечує високошвидкісну роботу з даними, оптимізуючи процес читання і запису, а також зменшує загальну складність додатку завдяки використанню простих SQL-запитів замість складних файлових операцій [19].

Збір даних про рівень вологості ґрунту здійснюється за допомогою датчика FC-28, який реагує на зміну електропровідності між двома металевими зондами. Він дозволяє отримувати як аналогові, так і цифрові значення, що забезпечує гнучкість у налаштуванні рівня чутливості. Датчик широко застосовується в аграрній галузі завдяки простоті використання, низькій вартості та сумісності з більшістю мікроконтролерів. Його функціонування дає змогу своєчасно виявляти нестачу або надлишок вологи у ґрунті, що критично важливо для ефективного управління зрошенням [20].

У ролі основного обчислювального вузла застосовано мікроконтролер ESP8266, який відповідає за прийом даних із датчика FC-28, попередню обробку

показників та передавання інформації на веб-сервер. ESP8266 — це мікроконтролер з вбудованим Wi-Fi-модулем, розроблений компанією Espressif Systems. Він підтримує роботу через протоколи HTTP, MQTT тощо, що робить його зручним для розгортання в середовищі IoT-проектів. Його компактність, енергоефективність і програмована логіка дозволяють створювати автономні вузли збору даних, які можна масштабувати для покриття значних аграрних площ [21].

З метою забезпечення віддаленого доступу до даних система була розміщена на веб-сервері, що дає змогу здійснювати моніторинг у режимі реального часу через інтернет-інтерфейс. Така архітектура підтримує інтеграцію з іншими інформаційними системами, дозволяє налаштувати функції сповіщення або автоматичного реагування, а також створює передумови для подальшого розвитку системи — включення нових сенсорів, модулів аналітики тощо.

Таким чином, обґрунтований вибір технологій забезпечує як технічну ефективність запропонованого рішення, так і його відповідність сучасним підходам до побудови гнучких, надійних і масштабованих IoT-систем в аграрному секторі.

1.4 SWOT-аналіз

У сучасних умовах діджиталізації аграрного сектору впровадження інформаційних технологій потребує ґрунтовного стратегічного аналізу на етапі планування проєкту. Одним із найбільш визнаних методів, що дозволяє системно оцінити вплив як внутрішніх, так і зовнішніх чинників на проєктну діяльність, є SWOT-аналіз. Цей інструмент дає змогу не лише виявити сильні та слабкі сторони проєкту, а й дослідити можливості та загрози, пов'язані з його реалізацією, що є особливо цінним у сфері застосування IoT-рішень в аграрному виробництві.

Як зазначається у дослідженні І. Аблесової, SWOT-аналіз є дієвим засобом стратегічного планування, що дає змогу інтегрувати зовнішнє середовище у внутрішню логіку розвитку проєкту. Він забезпечує систематизацію ключових управлінських рішень і виступає основою для формування адаптивної стратегії [22]. У свою чергу, за результатами дослідження Z. Mandrazhi, метод SWOT активно використовується в аграрному підприємстві для ідентифікації чинників успіху в умовах нестабільного ринку та кліматичних викликів. У поєднанні з аналітичними інструментами цей метод сприяє підвищенню ефективності цифрових рішень і покращенню управління ризиками [23].

Отже, у межах дослідження проєкту створення автоматизованої системи контролю вологості ґрунтів, було створено SWOT-аналіз (табл. 1.1), що застосовується як ключовий аналітичний інструмент.

Таблиця 1.1

SWOT-аналіз проєкту

Сильні сторони (Strengths)	Слабкі сторони (Weaknesses)
<ul style="list-style-type: none"> – S1. Використання доступних і перевірених технологій (Python, SQLite, FC-28, ESP8266); – S2. Масштабована архітектура, що підходить для господарств різного розміру; – S3. Відкрите ПЗ, підтримка з боку розробницької спільноти; – S4. Високе співвідношення ціни та функціональності. 	<ul style="list-style-type: none"> – W1. Обмежена точність датчика FC-28 в умовах різних типів ґрунтів; – W2. Залежність від стабільності інтернет-з'єднання та енергопостачання; – W3. Потреба в цифровій грамотності користувачів; – W4. Обмежений термін автономної роботи сенсорів.
Можливості (Opportunities)	Загрози (Threats)
<ul style="list-style-type: none"> – O1. Попит на smart farming-технології; – O2. Підтримка з боку державних та міжнародних програм цифровізації агросектору; – O3. Можливість розширення функціоналу через IoT; – O4. Інтеграція з іншими платформами. 	<ul style="list-style-type: none"> – T1. Ризики кібербезпеки при передачі даних; – T2. Економічна нестабільність та вплив на фінансування; – T3. Конкуренція з боку більш просунутих комерційних рішень; – T4. Потреба в постійному оновленні та розвитку системи.

У контексті даного проєкту сильними сторонами є технічна доступність обраних рішень, їх сумісність та гнучкість, що дозволяє адаптувати систему до потреб користувачів з різними масштабами господарювання. Зокрема, використання недорогих мікроконтролерів та сенсорів у поєднанні з відкритим програмним забезпеченням значно знижує вартість розробки та впровадження. Наявність активної спільноти розробників сприяє оперативному вирішенню можливих технічних питань та забезпечує стабільну підтримку проєкту.

Разом із тим, серед виявлених слабких сторін можна виокремити технічні та організаційні фактори. До технічних належать обмеження точності датчиків за певних умов експлуатації, залежність від стабільного інтернет-з'єднання та живлення, а також обмежений ресурс автономної роботи пристроїв. Організаційним бар'єром виступає недостатній рівень цифрової підготовки персоналу в аграрному секторі, що може ускладнити інтеграцію інноваційної системи в традиційні виробничі процеси.

Аналіз зовнішнього середовища свідчить про наявність низки факторів, які можуть бути використані як точки зростання. Зокрема, глобальний тренд на цифровізацію сільського господарства, державна та міжнародна підтримка впровадження smart farming-технологій, зростаючий попит на ефективні та екологічні рішення створюють сприятливі умови для масштабування та розвитку проєкту. Крім того, розширення функціональності системи за рахунок інтеграції з метео- та гео-інформаційними сервісами, а також застосування прогнозової аналітики і штучного інтелекту відкриває широкі перспективи для подальшого вдосконалення.

Водночас існують певні загрози, які варто враховувати при плануванні і реалізації проєкту. До них належать ризики з кібербезпеки, пов'язані з передачею та зберіганням даних, високий рівень конкуренції серед розробників аграрних IoT-рішень, а також економічна нестабільність, яка може обмежити інвестиційну привабливість проєкту. Для успішного реагування на ці виклики необхідним є впровадження механізмів безперервного удосконалення, оновлення програмного забезпечення та підтримки з боку фахівців.

SWOT-аналіз дозволив комплексно оцінити внутрішні і зовнішні чинники, що впливають на проєкт. Це створює підґрунтя для формування ефективної стратегії управління, мінімізації ризиків та максимізації потенціалу запропонованого рішення в умовах цифрової трансформації аграрного сектору.

Однак для більш глибокої оцінки впливу виявлених чинників на потенціал реалізації проєкту доцільно також розглянути взаємодію між цими елементами.

1. S1 + O1. Застосування перевірених технологій (Python, SQLite, ESP8266) сприяє ефективному впровадженню в агросекторі, що збігається з глобальним трендом на впровадження smart farming-рішень.
2. S2 + O3. Масштабована архітектура системи створює основу для розширення її функціональності за рахунок підключення додаткових IoT-компонентів, таких як метеостанції чи блоки автоматизованого поливу.
3. S3 + T1. Підтримка з боку спільноти розробників та використання відкритого ПЗ забезпечують гнучке оновлення системи та дозволяють швидко реагувати на потенційні кіберзагрози при передаванні даних.
4. S4 + T2. Високе співвідношення ціни та функціональності дозволяє проєкту залишатися економічно привабливим навіть в умовах фінансової нестабільності та обмежених інвестицій.
5. W1 + O4. Недостатню точність сенсорів можна частково компенсувати шляхом інтеграції системи з іншими платформами — зокрема, аналітичними або супутниковими сервісами, які доповнюють вимірювання.
6. W2 + T4. Залежність від інтернету та енергопостачання підсилює потребу в безперервному розвитку системи. Це зумовлює необхідність регулярних оновлень і модернізацій для забезпечення стабільності роботи.
7. W3 + O2. Низький рівень цифрової грамотності користувачів може бути частково подоланий за рахунок навчальних програм, які супроводжують державні ініціативи цифровізації аграрного сектору.
8. W4 + T3. Обмежений час автономної роботи сенсорів може стати критичним у конкурентній боротьбі з більш просунутими рішеннями. Це

вимагає технічної оптимізації та створення гнучких умов для сервісного обслуговування.

Таким чином, проведений аналіз взаємодії сильних і слабких сторін із можливостями та загрозами проєкту дозволив сформувавши цілісне уявлення про потенціал системи в умовах динамічного середовища. Виявлено, що використання відкритих технологій, масштабованої архітектури та активної спільноти розробників відкриває широкі можливості для адаптації проєкту до потреб ринку та інтеграції з іншими платформами. Водночас окремі технічні та організаційні обмеження можуть бути компенсовані за рахунок зовнішніх чинників, зокрема державної підтримки та залучення додаткових сервісів. Отримані результати сприяють розробці обґрунтованої стратегії розвитку проєкту, орієнтованої на мінімізацію ризиків і ефективну реалізацію на практиці.

1.5 Формування технічного завдання у вигляді паспорту проєкту

Формування технічного завдання є ключовим етапом підготовки до реалізації будь-якого інженерного чи програмного проєкту. У межах цього дослідження було складено технічне завдання на створення автоматизованої інформаційно-аналітичної системи контролю рівня вологості ґрунтів в аграрному секторі. Такий підхід дозволяє чітко визначити мету, функціональність, обмеження та очікувані результати проєкту.

Технічне завдання, сформоване у вигляді паспорта, виконує функцію узагальнюючого документа, що регламентує ключові параметри майбутньої системи (табл. 1.2). Відповідно до цілей дослідження, у ньому окреслюються цільове призначення системи, технічні характеристики, очікувані результати розробки та критерії її успішного впровадження. Окрему увагу приділено технологічній основі проєкту, яка включає як апаратні компоненти, так і програмні засоби, що забезпечують повноцінне функціонування системи в умовах реального використання.

Паспорт проєкту

Назва проєкту	Автоматизована інформаційно-аналітична система контролю вологості ґрунтів аграрного сектору
Мета проєкту	Розробка системи для моніторингу рівня вологості ґрунтів із можливістю збору, зберігання, аналізу та передачі даних у режимі реального часу для підвищення ефективності агровиробництва
Завдання проєкту	<ul style="list-style-type: none"> • Збір даних із датчиків вологості ґрунту; • Збереження інформації у базі даних; • Відображення результатів на веб-інтерфейсі; • Забезпечення доступу до системи через Інтернет; • Формування аналітичних звітів для користувача
Очікувані результати	Прототип автоматизованої системи з функціональним веб-інтерфейсом, базою даних, активними сенсорами вологості та можливістю масштабування
Кінцевий користувач	Представники аграрного сектору: фермери, агрономи, агропідприємства, освітні установи аграрного профілю
Технології реалізації	<ul style="list-style-type: none"> • Мова програмування: Python; • База даних: SQLite; • Апаратне забезпечення: датчик FC-28, мікроконтролер ESP8266; • Протоколи зв'язку: Wi-Fi; • Веб-інтерфейс: локальний або віддалений сервер
Обмеження проєкту	<ul style="list-style-type: none"> • Залежність від стабільності інтернет-з'єднання; • Обмеження енергоспоживання у польових умовах; • Можливі похибки у вимірюваннях залежно від типу ґрунту
Критерії успішності	<ul style="list-style-type: none"> • Безперервне збирання даних з датчиків; • Коректне збереження даних у БД; • Стабільна робота веб-інтерфейсу; • Можливість масштабування; • Позитивні відгуки від тестових користувачів

Формалізація вимог у такому форматі дозволяє забезпечити цілісність бачення проєкту на всіх етапах життєвого циклу, від планування до завершення. Крім того, паспорт проєкту є базовим документом для комунікації між учасниками розробки, замовниками та потенційними користувачами, сприяючи підвищенню прозорості процесу реалізації та зниженню ризиків невідповідності очікувань.

1.5.1 Місія та цілі проєкту

У межах проєкту сформульовано місію та цілі проєкту, яка відображає загальну стратегічну спрямованість ініціативи (рис. 1.4). Місія полягає у впровадженні сучасних технологічних рішень для підвищення точності та ефективності управління водними ресурсами в сільському господарстві, що є критичним чинником сталого розвитку аграрної галузі.

Застосування автоматизованої системи дозволяє агропромисловим підприємствам своєчасно отримувати достовірну інформацію про вологість ґрунту, оперативно реагувати на зміни стану посівів та оптимізувати використання води відповідно до реальних потреб культур. Це сприяє зменшенню надмірного поливу, раціональному використанню природних ресурсів і підвищенню якості та обсягів врожаю.

Крім того, реалізація проєкту сприяє запровадженню інноваційних підходів у сфері агромоніторингу шляхом поєднання інтернету речей (IoT) та системи аналітики даних. Це забезпечує можливість не лише збору інформації, а й її інтерпретації в режимі реального часу, що відкриває нові горизонти для прийняття зважених управлінських рішень безпосередньо на полі.

У довгостроковій перспективі система має потенціал для масштабування на інші агротехнологічні процеси — зокрема, прогнозування врожайності, моніторинг стану ґрунтів, автоматизований облік добрив і пестицидів. Це дозволяє інтегрувати рішення в концепцію розумного фермерства (smart farming)

і зробити сільське господарство більш технологічно розвиненим, енергоефективним та екологічно безпечним.



Рис. 1.4. Цілі проєкту

Основною метою проєкту є створення доступного, масштабованого та технологічно ефективного інструменту для автоматизованого моніторингу стану ґрунтової вологи, що інтегрується в існуючу аграрну інфраструктуру та відповідає сучасним вимогам цифрового фермерства.

1.5.2 Ідентифікація первинних та вторинних зацікавлених сторін проєкту

Первинні зацікавлені сторони:

1. Команда проєкту.

2. Фермери та сільськогосподарські підприємства. Основними користувачами автоматизованої системи контролю рівня вологості ґрунту будуть фермери та сільськогосподарські підприємства. Вони зацікавлені у збільшенні врожайності та ефективності вирощування культур, а також у

зменшенні витрат на полив та збільшенні якості продукції.

3. Власники та менеджери сільськогосподарських підприємств. Власники та менеджери підприємств будуть зацікавлені у використанні автоматизованої системи для підвищення ефективності управління поливом, планування виробництва та прийняття стратегічних рішень.

4. Виробники сучасних технологій для сільського господарства. Компанії, що розробляють та постачають сучасні технології для сільського господарства, будуть зацікавлені у впровадженні своїх рішень у проєкт для забезпечення зростання свого бізнесу та розширення ринкових можливостей.

Вторинні зацікавлені сторони:

1. Дослідницькі та навчальні установи. Установи, які займаються дослідженнями у галузі сільського господарства, можуть зацікавлені у вивченні результатів впровадження автоматизованої системи та її впливу на ефективність вирощування культур.

2. Урядові органи та регулятори. Урядові органи, що відповідають за розвиток та регулювання сільського господарства, можуть зацікавлені у впровадженні інноваційних технологій для підвищення продуктивності галузі та забезпечення продовольчої безпеки.

3. Екологічні та громадські організації. Організації, що стежать за екологічними питаннями та сталим розвитком, можуть зацікавлені у впровадженні системи контролю рівня вологості ґрунту для зменшення використання води та хімічних добрив, а також зменшення впливу сільського господарства на навколишнє середовище.

Ці зацікавлені сторони мають певні інтереси та очікування від проєкту, тому їх врахування у процесі розробки та впровадження є важливим для успішної реалізації системи контролю рівня вологості ґрунту. Ідентифікація зацікавлених сторін на ранніх етапах проєкту є критично важливою, оскільки дозволяє вчасно врахувати їхні потреби, визначити рівень впливу на проєкт та розробити ефективні стратегії взаємодії.

1.5.3 Побудова дерева рішень для цілей та проблем проєкту

У процесі проєктного аналізу було здійснено побудову дерева проблем, що дозволило ідентифікувати ключові фактори, які негативно впливають на ефективність управління водними ресурсами в аграрному секторі. На основі цього було сформовано дерево цілей, яке відображає логічну структуру досягнення бажаних результатів та усунення визначених проблем. Такий підхід дає змогу системно формалізувати завдання проєкту, структурувати основні напрями його реалізації та окреслити функціональні складові автоматизованої системи контролю вологості ґрунтів. Побудова дерева цілей забезпечує цілісне бачення етапів реалізації та дозволяє визначити послідовність дій для досягнення стратегічної мети проєкту.

Побудова дерева проблем є дієвим інструментом для виявлення першопричин ключових труднощів, що впливають на раціональне використання водних ресурсів у сільськогосподарському виробництві. Такий підхід дозволяє системно визначити фактори, які формують існуючу проблему, а також встановити потенційні наслідки, до яких вона може призвести. Це створює основу для формування обґрунтованих стратегічних цілей, спрямованих на оптимізацію процесів управління вологою ґрунту та підвищення ефективності агровиробництва.

Дерево проблем наведено у додатку А.

У центрі побудованого дерева проблем розміщено основну проблему — неефективне використання водних ресурсів у аграрному секторі, яка є системоутворюючою і впливає на низку супутніх процесів, що знижують загальну продуктивність галузі.

Серед основних причин цієї проблеми варто виділити такі аспекти:

- Низька точність вимірювання вологості ґрунту, зумовлена використанням застарілих або ненадійних сенсорів, а також недотриманням технічних вимог щодо встановлення обладнання, що призводить до спотворення результатів;

- Фрагментованість інформаційних систем та недостатній рівень аналітики, коли окремі пристрої або програмні рішення не здатні взаємодіяти між собою, а наявні дані не використовуються для прийняття обґрунтованих рішень;
- Недостатня обізнаність та низький рівень цифрової грамотності серед аграріїв, які продовжують використовувати традиційні методи зрошення та не виявляють зацікавленості у впровадженні сучасних технологій;
- Застаріла або зношена інфраструктура поливу, яка не дозволяє точно дозувати воду, що зумовлено браком фінансування для модернізації технічних засобів.

Водночас зазначена проблема призводить до ряду негативних наслідків, зокрема:

- Зменшення врожайності та якості продукції, що є прямим результатом несприятливих умов для розвитку рослин, а також перевитрат води;
- Зниження прибутковості фермерських господарств через підвищені експлуатаційні витрати та зменшення рентабельності вирощування культур;
- Нераціональне використання водних ресурсів, що посилює конкуренцію між споживачами води та створює додаткове екологічне навантаження;
- Втрата конкурентних позицій на ринку через обмежене впровадження інноваційних технологій і несвоєчасну адаптацію до змін клімату
- Погіршення стану довкілля, включаючи деградацію ґрунтів, забруднення води та зниження екологічної стійкості агросистем.

Побудова дерева цілей (рис. 1.5) є наступним етапом після формування дерева проблем і відображає структуроване бачення шляхів досягнення бажаного результату в межах реалізації проекту. Для системи автоматизованого контролю вологості ґрунтів головною стратегічною метою є оптимізація управління водними ресурсами в аграрному секторі шляхом впровадження інноваційних цифрових рішень.

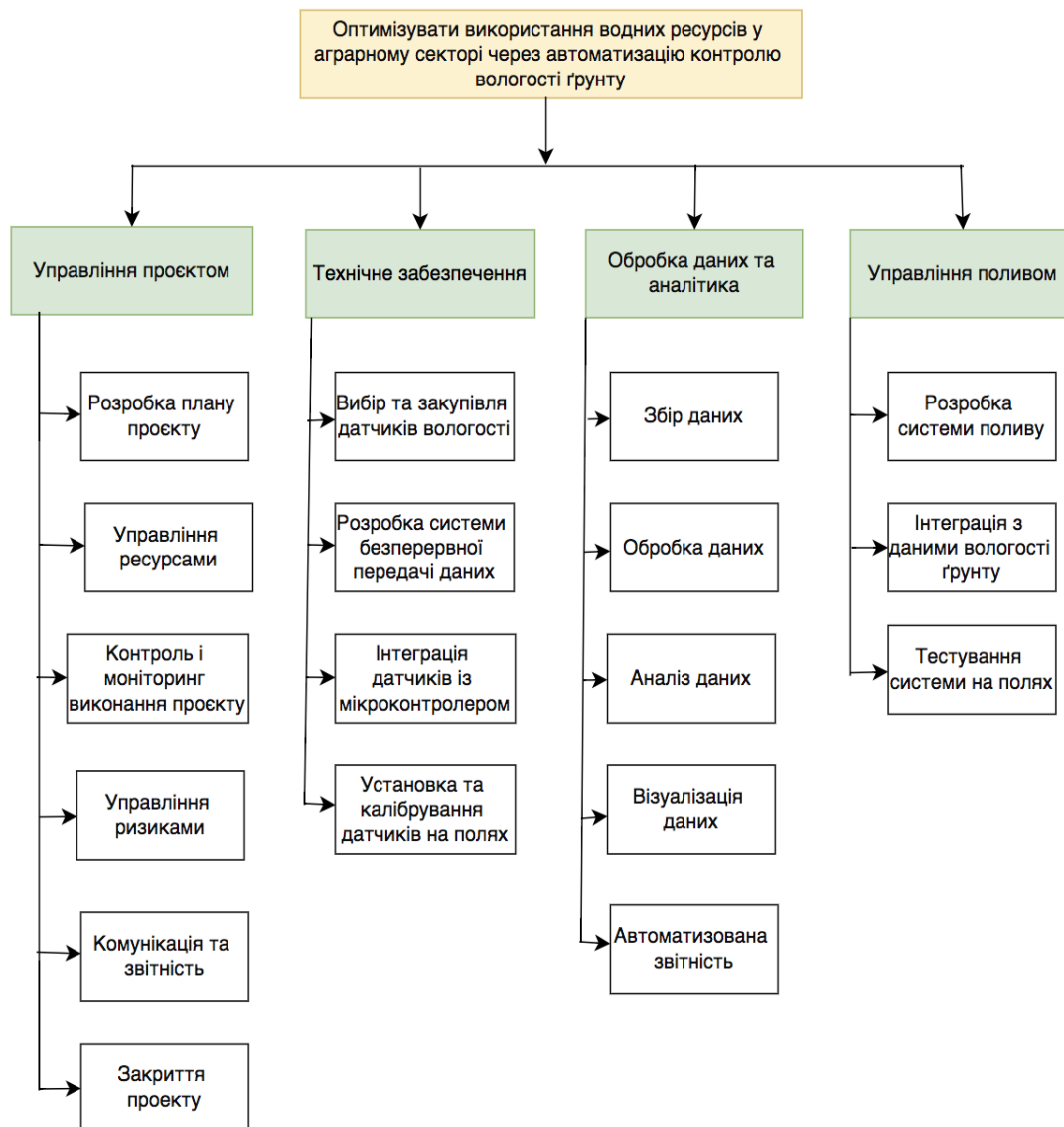


Рис. 1.5. Дерево цілей

Дерево цілей проєкту охоплює чотири основні складові: управління проєктом, технічне забезпечення, аналітична обробка даних та автоматизоване управління поливом. Кожен із цих блоків реалізує окрему функцію, спрямовану на досягнення загальної мети проєкту.

Управління проєктом передбачає комплекс дій, спрямованих на забезпечення ефективної реалізації всіх етапів розробки та впровадження системи. Планування проєкту відіграє ключову роль у координації дій, визначенні часових меж та розподілі відповідальності. Раціональне управління ресурсами дозволяє оптимізувати використання матеріальних, технічних і

кадрових можливостей. Безперервний моніторинг виконання проєкту забезпечує вчасне виявлення відхилень від запланованих показників і прийняття коригувальних рішень. Особливу увагу приділяється управлінню ризиками, їх ранній ідентифікації та мінімізації впливу на результати проєкту. Налагоджена комунікація між усіма учасниками проєкту сприяє прозорості реалізації, а системна звітність дозволяє об'єктивно оцінювати проміжні та підсумкові результати.

Технічне забезпечення охоплює вибір, закупівлю та впровадження необхідних пристроїв для вимірювання вологості ґрунту. Зокрема, акцент робиться на доборі якісних сенсорів, які здатні забезпечити точність та надійність даних. Окремий напрям – це побудова інфраструктури збору, обробки та передавання інформації, що базується на сучасних засобах зв'язку та мікроконтролерах. Встановлення обладнання у реальних польових умовах передбачає коректне налаштування та тестування для досягнення максимальної точності вимірювань.

Збір та обробка даних є центральною аналітичною ланкою системи. Автоматизоване зчитування показників вологості з датчиків створює основу для аналізу динаміки змін у ґрунтових умовах. Первинна обробка дозволяє ідентифікувати відхилення та базові закономірності, тоді як застосування алгоритмів глибокої аналітики дає змогу будувати прогнози та формувати рекомендації щодо оптимального управління водними ресурсами. Результати аналізу подаються у зручному вигляді – графіки, карти, структуровані звіти – що спрощує інтерпретацію даних користувачами.

Автоматизація поливу є прикладом практичного застосування зібраної інформації. Система використовує дані сенсорів для визначення часу та обсягу зрошення, забезпечуючи адаптивне управління поливом з урахуванням реальних потреб культур. Проведення польових випробувань дає змогу виявити можливі недоліки та внести належні корективи для підвищення ефективності функціонування системи в реальних умовах.

Таким чином, дерево цілей забезпечує цілісне уявлення про логіку реалізації проєкту та дозволяє визначити конкретні кроки на шляху до досягнення основної мети – підвищення ефективності аграрного виробництва завдяки раціональному використанню водних ресурсів.

1.5.4 Життєвий цикл проєкту

Для управління життєвим циклом проєкту буде застосована каскадна модель – це методологія управління проєктами, яка передбачає послідовний характер виконання фаз розробки від початку до кінця. Життєвий цикл для проєкту створення автоматизованої системи контролю рівня вологості ґрунтів аграрного сектору наступна:

1. Ініціювання:

- Визначення цілей та об'єктів проєкту.* Проведення аналізу потреб аграрного сектору та визначення основних цілей, які повинна вирішити автоматизована система контролю вологості ґрунту.
- Оцінка можливостей.* Проведення SWOT-аналізу для визначення сильних та слабких сторін проєкту, а також можливостей та загроз.
- Формулювання початкового бізнес-плану.* Розробка документу, що містить опис бізнес-моделі, аналіз конкурентного середовища та потенційних ризиків.

2. Планування:

- Розробка технічного завдання.* Складання детального опису функціональних та технічних вимог до системи контролю вологості.
- Визначення бюджету та ресурсів.* Розрахунок фінансових витрат, визначення потреб у персоналі, обладнанні та матеріалах.
- Розробка графіку робіт.* Визначення послідовності виконання завдань, встановлення термінів та визначення відповідальних осіб.
- Визначення комунікаційної стратегії.* Розробка плану комунікації для забезпечення ефективної співпраці між всіма учасниками проєкту.

- Ідентифікація ризиків.* Виявлення потенційних ризиків та розробка планів їх мінімізації або уникнення.

3. Реалізація:

- Створення архітектури системи, розробка програмних модулів та їх інтеграція.*
- Тестування та валідація:* Проведення різноманітних видів тестів для перевірки працездатності та відповідності системи вимогам.

4. Моніторинг та контроль:

- Моніторинг прогресу виконання:* Постійна перевірка виконання робіт відповідно до графіка та контроль за витратами.
- Управління ризиками.*
- Забезпечення якості.*

5. Завершення (закриття):

- Оцінка результатів.* Проведення аналізу досягнень проєкту та порівняння їх з вихідними цілями.
- Формування звіту.* Підготовка звіту про проєкт, що містить інформацію про досягнення, витрати та уроки, вивчені в процесі реалізації проєкту.

РОЗДІЛ 2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ В МАТЕМАТИЧНОМУ ВИГЛЯДІ

2.1 Розробка концептуальної моделі інформаційної системи

Система автоматизованого контролю вологості ґрунту складається з кількох важливих компонентів, що забезпечують її функціонування та взаємодію з зовнішнім середовищем. Ця система орієнтована на забезпечення оптимальних умов для вирощування сільськогосподарських культур за допомогою сучасних технологій моніторингу та управління поливом.

Надсистема включає фактори, які впливають на роботу системи ззовні та визначають її потреби і вимоги. Кліматичні умови диктують необхідність постійного моніторингу вологості ґрунту, екологічні організації можуть надавати рекомендації щодо сталого використання ресурсів, а науково-дослідні установи допомагають впроваджувати нові технології та методики. Споживачі продукції є кінцевими бенефіціарами системи, оскільки вони отримують високоякісні продукти.

Зовнішнє середовище включає всі зовнішні впливи на систему, такі як кліматичні умови та регуляторні вимоги. Ці фактори можуть варіюватися в залежності від географічного розташування та інших умов.

Офісна частина включає кабінети, що використовуються для адміністративних та управлінських функцій, а кімната для обладнання містить необхідну апаратуру для підтримки роботи системи. Кімната для відпочинку забезпечує комфортні умови для персоналу, а туалети – основні санітарні умови.

Обладнання. Датчики вологості (FC-28) встановлюються безпосередньо в ґрунті для постійного моніторингу його стану. Мікроконтролер ESP 8266 забезпечує обробку даних з датчиків та їх передачу на сервер. Сервер збирає всі дані та дозволяє здійснювати їх аналіз, зберігання та управління поливом. Комп'ютери використовуються для роботи з базою даних та інтерфейсом системи.

Команда співробітників. Менеджер з ведення документації проєкту відповідає за організацію та зберігання всієї документації. Консультант з

аграрних питань надає спеціалізовані знання для оптимізації процесів. Проектний менеджер координує всі етапи впровадження та експлуатації системи. Бухгалтер веде фінансові операції, а технічний відділ забезпечує технічну підтримку та обслуговування обладнання.

Користувацький інтерфейс дозволяє операторам взаємодіяти з системою, здійснювати моніторинг та управління. Кнопка здійснення віддаленого поливу дозволяє автоматизувати процес поливу на основі даних з датчиків. Диференційована карта поля показує розподіл вологості по різних ділянках поля. База даних зберігає всю інформацію, зібрану системою, для подальшого аналізу та прийняття рішень.

Зовнішні елементи. Система взаємодіє з клієнтами, постачальниками технологій, фінансовими установами, екологічними організаціями та науково-дослідними установами, що в свою чергу забезпечують ресурсами, інформацією та підтримкою для успішного функціонування системи.

Таким чином, система автоматизованого контролю вологості ґрунту представляє собою комплексне рішення, що інтегрує різні компоненти та підсистеми для ефективного управління аграрними процесами.

Концептуальна модель проекту наведена у додатку Б.

2.2 Розробка математичної моделі процесу реалізації рішення

У цьому розділі представлена математична модель для проекту створення автоматизованої системи моніторингу рівня вологості ґрунту.

Модель буде зосереджена на оцінці якості, ризиків та ефективності проекту, враховуючи всі необхідні ресурси та параметри. Вона міститиме параметри які наведені у множині (2.1):

$$R = \{R^M, R^H, R^P, R^I\} \quad (2.1)$$

R^M – це параметр який характеризує множину матеріальних ресурсів, задіяних у проекті, яка визначається як:

$$R^M = \{r_1^M, r_2^M, r_3^M\}, \quad (2.1.1)$$

де, r_1^M – датчик FC28; r_2^M – мікроконтролер ESP8266; r_3^M – система для поливу.

R^H – це параметр який характеризує множину людських ресурсів, що беруть участь у проєкті, яка визначається як:

$$R^H = \{r_1^H, r_2^H, r_3^H, r_4^H, r_5^H, r_6^H, r_7^H, r_8^H, r_9^H\}, \quad (2.1.2)$$

де, r_1^H – проєктний менеджер; r_2^H – системний архітектор; r_3^H – дизайнер; r_4^H – тестувальник; r_5^H – розробник; r_6^H – аналітик; r_7^H – консультант з аграрних питань; r_8^H – менеджер з ведення документації; r_9^H – бухгалтер.

R^P – це параметр який характеризує множину програмних ресурсів, що використовуються в проєкті, яка визначається як:

$$R^P = \{r_1^P, r_2^P, r_3^P\}, \quad (2.1.3)$$

де, r_1^P – мова програмування Python r_2^P – SQL база даних; r_3^P – веб сервер.

R^I – це параметр який характеризує множину інформаційних ресурсів у проєкті, яка визначається як:

$$R^I = \{r_1^I, r_2^I, r_3^I, r_4^I\}, \quad (2.1.4)$$

де, r_1^I – дані з датчиків вологості; r_2^I – дані про типи зернових посівів; r_3^I – ГІС (географічна інформаційна система); r_4^I – технічна документація та настанови.

Зацікавлені сторони, які мають прямий вплив не тільки на функціональність майбутнього продукту проєкту, але і на успіх усього проєкту, суттєво впливають на успіх ІТ-проєкту.

Зацікавлених сторін проєкту можна представити як множину параметрів (2.2):

$$O = \{O^L, O^D\}, \quad (2.2)$$

де O^L – параметр який характеризує зацікавлених сторін (довгострокове середовище проєкту); O^D – параметр який характеризує сукупність учасників проєкту (близьке оточення проєкту).

Розглянемо детальніше параметр O^L як сукупність множин які його складають:

$$O^L = \{o_1^L, o_2^L, o_3^L, o_4^L, o_5^L\}, \quad (2.2.1)$$

де, o_1^L – фермери та сільськогосподарські підприємства; o_2^L – виробники та дистриб'ютори сучасних технологій для сільського господарства; o_3^L – урядові органи та регулятори; o_4^L – екологічні організації; o_5^L – дослідницькі та навчальні установи.

Розглянемо детальніше параметр O^D як сукупність множин які його складають:

$$O^D = \{o_1^D, o_2^D\}, \quad (2.2.2)$$

де, o_1^D – команда проєкту; o_2^D – спонсори проєкту.

Для ІТ-проєктів створення складних ІТ-продуктів характеризується сервісним компонентом, який вимагає стратегічного сервісу, служб розробки, переходів, операцій та постійних вдосконалень. Множину відповідних параметрів представимо у вигляді сукупності:

$$S = \{S^I, S^B, S^{US}\}, \quad (2.3)$$

де S^I – це параметр який характеризує набір послуг, що підтримують ІТ-інфраструктуру; S^B – це параметр який характеризує набір послуг, що підтримують бізнес-додаток; S^{US} – це параметр який характеризує набір служб, що надають підтримку користувачам.

Розглянемо детальніше параметр S^I як сукупність множин які його складають:

$$S^I = \{s_1^I, s_2^I, s_3^I\}, \quad (2.3.1)$$

де, s_1^I – моніторинг і управління системою датчиків вологості; s_2^I – зберігання та аналіз даних з датчиків; s_3^I – підтримка веб-сервера.

Розглянемо детальніше параметр S^B як сукупність множин які його складають:

$$S^B = \{s_1^B, s_2^B, s_3^B\}, \quad (2.3.2)$$

де, s_1^B – розробка та підтримка ПЗ для обробки даних; s_2^B – розробка та підтримка інтерфейсу користувача; s_3^B – розробка та підтримка веб-серверу.

Розглянемо детальніше параметр S^{US} як сукупність множин які його складають:

$$S^{US} = \{s_1^{US}, s_2^{US}, s_3^{US}\}, \quad (2.3.2)$$

де, s_1^{US} – технічна підтримка для користувачів системи (гаряча лінія); s_2^{US} – консультації з використання; s_3^{US} – ввідний курс з експлуатації.

Вище вже було зазначено про використання технологій для створення ІТ-продукту. Крім того, до цієї групи також входять технології для розробки, управління, тестування, експлуатації та обслуговування продукту ІТ-проєкту. Множину відповідних параметрів, представимо у вигляді сукупності:

$$Z = \{Z^C, Z^M, Z^I\}, \quad (2.4)$$

де Z^C – це параметр який характеризує набір технологій для розробки та тестування продукту проєкту; Z^M – це параметр який характеризує набір технологій управління проєктами; Z^I – це параметр яких характеризує сукупність технологій реалізації та підтримки проєктного продукту.

Розглянемо детальніше параметр Z^C як сукупність множин які його складають:

$$Z^C = \{z_1^c, z_2^c, z_3^c, z_4^c\}, \quad (2.4.1)$$

де, z_1^c – python; z_2^c – SQL; z_3^c – UNIT – тестування для перевірки коректності коду; z_4^c – фреймворки для швидкого розгортання серверу.

Розглянемо детальніше параметр Z^M як сукупність множин які його складають:

$$Z^M = \{z_1^M, z_2^M\}, \quad (2.4.2)$$

де, z_1^M – Project Management Software для планування та контролю роботи проєкту; z_2^M – AGILE технології для ефективного керування проєктом.

Розглянемо детальніше параметр Z^I як сукупність множин які його складають:

$$Z^I = \{z_1^I, z_2^I, z_3^I, z_4^I, z_5^I, z_6^I\}, \quad (2.4.3)$$

де, z_1^I – python; z_2^I – sql; z_3^I – веб-сервер; z_4^I – датчики; z_5^I – мікроконтролери; z_6^I – система поливу.

Компоненти конфігурації ІТ-продукту пов'язані з визначенням елементів, їх параметрів та відношенням до розробленої інформаційної системи. Те саме стосується елементів проєкту та середовища проєкту. Множину відповідних параметрів, представимо у вигляді сукупності:

$$K = \{K^P, K^S, K^E, K^{DP}, K^{DS}\}, \quad (2.5)$$

де, K^P – набір параметрів проєкту; K^S – набір параметрів проєктного продукту; K^E – це набір параметрів зовнішнього середовища проєкту; K^{DP} – це набір вимог до проєкту; K^{DS} – це набір вимог до продукту проєкту.

Розглянемо детальніше параметр K^P як сукупність множин які його складають:

$$K^P = \{k_1^P, k_2^P, k_3^P, k_4^P\}, \quad (2.5.1)$$

де, k_1^P – обсяг фінансування; k_2^P – тривалість проєкту; k_3^P – склад проєктної команди; k_4^P – ресурси.

Розглянемо детальніше параметр K^S як сукупність множин які його складають:

$$K^S = \{k_1^S, k_2^S, k_3^S, k_4^S\}, \quad (2.5.2)$$

де, k_1^S – точність вимірювання вологості ґрунту; k_2^S – масштабованість системи; k_3^S – енергоефективність; k_4^S – зручність використання для кінцевих користувачів.

Розглянемо детальніше параметр K^E як сукупність множин які його складають:

$$K^E = \{k_1^E, k_2^E, k_3^E, k_4^E\}, \quad (2.5.3)$$

де, k_1^E – кліматичні умови регіону впровадження проєкту; k_2^E – доступність інфраструктури для монтажу датчиків; k_3^E – потенційні ризики та загрози для проєкту; k_4^E – соціально-економічний контекст.

Розглянемо детальніше параметр K^{DP} як сукупність множин які його складають:

$$K^{DR} = \{k_1^{DP}, k_2^{DP}, k_3^{DP}, k_4^{DP}, k_5^{DP}\}, \quad (2.5.4)$$

де, k_1^{DP} – визначення стратегії впровадження проєкту, враховуючи можливі ризики та здійснення кроків для їх зменшення; k_2^{DP} – розробка бюджету та планування використання фінансових ресурсів, включаючи створення механізмів контролю та звітності; k_3^{DP} – формування та керування командою проєкту, визначення ролей та відповідальностей учасників; k_4^{DP} – встановлення системи моніторингу за прогресом проєкту та підготовка звітів для оцінки досягнень та виявлення можливих проблем; k_5^{DP} – розробка плану завершення проєкту та перехід до його експлуатації або подальшого розвитку.

Розглянемо детальніше параметр K^{DS} як сукупність множин які його складають:

$$K^{DS} = \{k_1^{DS}, k_2^{DS}, k_3^{DS}, k_4^{DS}, k_5^{DS}, k_6^{DS}\}, \quad (2.5.5)$$

де, k_1^{DS} – система повинна забезпечувати можливість моніторингу вологості в реальному часі, щоб оперативно реагувати на зміни та вживати необхідні заходи; k_2^{DS} – енергоефективність; k_3^{DS} – система повинна мати зручний інтерфейс користувача та бути легкою у використанні для фермерів та інших зацікавлених сторін. Вона також повинна бути легко інтегрована з існуючими системами управління сільськогосподарськими угіддями; k_4^{DS} – система повинна забезпечувати точний та надійний збір даних про вологість зернових посівів для подальшого аналізу; k_5^{DS} – система повинна

надавати засоби для аналізу даних та підготовки звітів, що дозволить користувачам отримувати корисну інформацію для прийняття рішень; k_6^{DS} – система повинна забезпечувати високий рівень безпеки даних для захисту конфіденційності та цілісності інформації.

Параметри проектного продукту наведені як сукупність множин:

$$L = \{L^S, L^P\}, \quad (2.6)$$

де, L^S – набір значень пропускної здатності компонентів продукту; L^P – кількість пропускних можливостей усіх компонентів продукту.

Розглянемо детальніше параметр L^S як сукупність множин які його складають:

$$L^S = \{l_1^S, l_2^S\}, \quad (2.6.1)$$

де, l_1^S – система збору даних: 1000 даних/сек 500 опер/хв; l_2^S – система аналізу даних: 100 даних/сек 500 опер/хв.

Розглянемо детальніше параметр L^P як сукупність множин які його складають:

$$L^P = \{l_1^P, l_2^P\}, \quad (2.6.2)$$

де, l_1^P – збір даних; l_2^P – аналіз даних.

Параметр, що характеризує особливості зовнішнього середовища проекту та значень впливу на нього (ступенів впливу) – це параметр A , який визначається як:

$$A^E = \{a_1^E, a_2^E\}, \quad (2.7)$$

де, a_1^E – кліматичні умови; a_2^E – економічні та ринкові умови.

Наступним кроком є побудова математичної моделі для моніторингу якості, ризиків та ефективності проекту.

1. Набір вхідних параметрів (X):

$$X = \{G, P, R, O, S, Z, K, L, A\}, \quad (2.8)$$

де, G – матеріальні ресурси; P – людські ресурси; R – програмні ресурси; O – інформаційні ресурси; S – Послуги, що підтримують ІТ-інфраструктуру (SI); Z – технології для розробки та тестування продукту проєкту; K – параметри проєкту; L – параметри проєктного продукту; A – параметри зовнішнього середовища проєкту.

2. Сукупність вихідних параметрів (Y):

$$Y = \{Q, R, E, H\}, \quad (2.9)$$

де, Q – якість проєкту; R – ризики проєкту; E – ефективність проєкту; H – канали зв'язку між елементами моделі управління ІТ-проєктами.

3. Кількість прямих зв'язків представлено як множину:

$$H^P = \{h_1^P, h_2^P, h_3^P, h_4^P\}, \quad (2.10)$$

Прямі зв'язки між усіма елементами моделі. Припустимо, що прямі зв'язки включають комунікацію між основними ресурсами, наприклад, 10 прямих зв'язків.

4. Кількість зворотних зв'язків представлено як множину:

$$H^{Zv} = \{h_1^{Zv}, h_2^{Zv}, h_3^{Zv}, h_4^{Zv}\}, \quad (2.11)$$

Зворотні зв'язки між усіма елементами моделі. Припустимо, що є 5 зворотних зв'язків.

1. набір вхідних параметрів проєктної моделі (X) представлено як:

$$X = \{x_i, i=1, 2, \dots, N_1\}. \quad (2.12)$$

Кількість областей знань моделі M_1 . Припустимо, $N_1=22$.

Оцінка якості проєкту (Q).

Оцінка якості проєкту визначається як:

$$Q = \sum_{i=1}^{22} \sum_{j=1}^{TP} \sum_{k=1}^{10} (Q_1(x_i, t_j) + Q_2(h_k)) \quad (2.13)$$

при обмеженнях:

$$\forall(x_i \in X) (a_i \in \Omega) \exists h_i \in TP, TP \geq 0 \text{ та } Q \geq Q_{min}, Q_{min} \geq 0, \quad (2.14)$$

де, Q_{min} – мінімальний рівень якості проєкту; Q_1 – функція оцінки якості на основі створення елементів вхідних параметрів з X на час $t_j \in TP$; Q_2 – функція оцінки якості каналів зв'язку між елементами моделі з X .

Оцінка ризиків проєкту (R).

Оцінка ризиків проєкту визначається як:

$$R = \sum_{i=1}^{22} \sum_{j=1}^{TP} \sum_{k=1}^{10} (R_1(x_i, t_j) + R_2(h_k)) \quad (2.15)$$

при обмеженнях:

$$\forall(x_i \in X) (a_i \in \Omega) \exists h_i \in TP, TP \geq 0 \text{ та } R \leq R_{max}, R_{max} \geq 0, \quad (2.16)$$

де, R_{max} – максимально допустимий рівень ризиків проєкту; R_1 – функція оцінки ризиків на основі створення елементів вхідних параметрів з X на час $t_j \in TP$; R_2 – функція оцінки ризиків каналів зв'язку між елементами моделі з X .

Оцінка ефективності проєкту (E).

Оцінка ефективності проєкту визначається як:

$$E = \sum_{i=1}^{22} \sum_{j=1}^{TP} \sum_{k=1}^{10} (E_1(x_i, t_j) + E_2(h_k)) \quad (2.17)$$

при обмеженнях:

$$\forall(x_i \in X) (a_i \in \Omega) \exists h_i \in TP, TP \geq 0 \text{ та } E \geq E_{min}, E_{min} \geq 0 \quad (2.18)$$

де, E_{min} – мінімальний рівень ефективності проєкту; E_1 – функція оцінки ефективності на основі створення елементів вхідних параметрів з X на час $t_j \in TP$; E_2 – функція оцінки ефективності каналів зв'язку між елементами моделі з X .

Прикладні значення:

1. Матеріальні ресурси: x_1 – датчик FC28; x_2 – мікроконтролер ESP8266; x_3 – система для поливу.

2. Людські ресурси: x_4 – проєктний менеджер; x_5 – системний архітектор; x_6 – дизайнер; x_7 – тестувальник; x_8 – розробник; x_9 – аналітик; x_{10} – консультант з аграрних питань; x_{11} – менеджер з ведення документації; x_{12} – бухгалтер.

3. Програмні ресурси: x_{13} – мова програмування Python; x_{14} – SQL база даних; x_{15} – веб сервер.

4. Інформаційні ресурси: x_{16} – дані з датчиків вологості; x_{17} – дані про типи зернових посівів; x_{18} – ГІС (географічна інформаційна система); x_{19} – технічна документація та настанови.

5. Послуги: x_{20} – моніторинг і управління системою датчиків вологості; x_{21} – зберігання та аналіз даних з датчиків; x_{22} – підтримка веб-сервера.

Для кожного з ресурсів та елементів проєкту розраховується функція якості, ризиків та ефективності на основі їх значень та часу використання. Також додаються відповідні функції для каналів зв'язку між елементами проєкту.

Таким чином, ми отримуємо повний аналіз якості, ризиків та ефективності проєкту, який можна використовувати для управління та оптимізації проєкту створення системи моніторингу вологості ґрунту.

РОЗДІЛ 3. ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТОМ

3.1 Аналіз та вибір методології управління проєктом

Ефективне управління проєктом розробки технічної системи потребує вибору такої методології, яка б відповідала його особливостям, структурі, ресурсним обмеженням і очікуваним результатам. У межах реалізації проєкту зі створення автоматизованої системи контролю рівня вологості ґрунтів в аграрному секторі було прийнято рішення використовувати каскадну (Waterfall) модель управління.

Waterfall є класичною методологією, яка передбачає послідовне проходження низки етапів, починаючи з формування вимог і завершуючи впровадженням готового рішення. Основна особливість цього підходу полягає в тому, що кожен етап виконується повністю перед переходом до наступного, а зміни після завершення фази є небажаними або потребують повторного циклу розробки. Цей принцип забезпечує чіткість, структурованість і передбачуваність проєкту [24].

Обґрунтування вибору Waterfall у межах цього проєкту базується на низці факторів. По-перше, функціональні та технічні вимоги до майбутньої системи були визначені заздалегідь та мають стабільний характер. Це дозволяє уникнути потреби у гнучких ітераціях та постійному переосмисленні цілей, що є характерним для Agile-методологій. По-друге, у проєкті задіяна обмежена команда виконавців, а терміни розробки фіксовані, що вимагає суворого дотримання плану і уникнення затримок через зміну пріоритетів. По-третє, архітектура системи передбачає тісну взаємодію апаратної та програмної складових, де будь-які зміни можуть мати значні технічні наслідки.

Методологія Waterfall дозволила розподілити проєкт на логічно завершені етапи:

- Формування вимог.
- Проектування.
- Реалізація.
- Тестування.
- Впровадження.
- Підсумкова оцінка.

Застосування Waterfall у цьому контексті дозволяє досягти високої керованості процесом, ефективно розподілити ресурси та зосередитись на досягненні кінцевої мети в межах заздалегідь визначених параметрів. Такий підхід особливо актуальний у проєктах з технічним фокусом, де критично важливе дотримання чіткої послідовності етапів і документування всіх рішень.

3.2 Організаційна структура проєкту

Організаційна структура проєкту зі створення автоматизованої системи контролю рівня вологості ґрунтів (рис. 3.1) була сформована з урахуванням специфіки міждисциплінарного підходу, що поєднує інженерні, аграрні та управлінські компоненти. Вона має ієрархічно-функціональний характер і забезпечує ефективний розподіл обов'язків, оптимізацію комунікації між учасниками та контроль за виконанням завдань на всіх етапах життєвого циклу проєкту.

Ключову роль в управлінні виконує проєктний менеджер, який відповідає за координацію дій усіх залучених фахівців, прийняття стратегічних рішень і забезпечення реалізації проєкту відповідно до визначених термінів та бюджету. Безпосереднє технічне керівництво здійснює технічний відділ, до складу якого входять спеціалісти, що займаються розробкою, тестуванням і впровадженням системи.

Центральною технічною ланкою виступає системний архітектор, який формує загальну концепцію архітектури, визначає взаємодію підсистем і технологічний стек. Йому підпорядковані розробник, дизайнер, аналітик і

тестувальник, які реалізують функціональність, інтерфейс, обробку даних та перевірку системи відповідно до поставлених вимог.

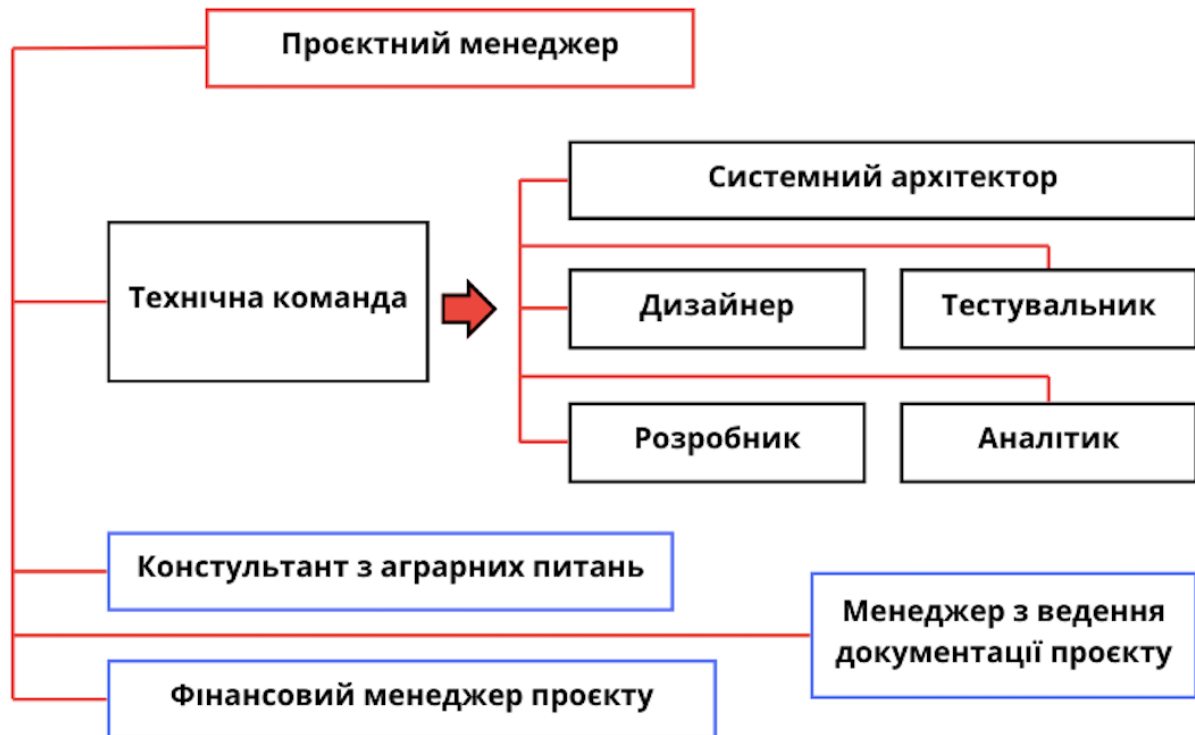


Рис. 3.1. Організаційна структура проєкту

До проєкту також залучено консультанта з аграрних питань, що забезпечує відповідність рішення реальним потребам аграрного виробництва, а також бухгалтера, відповідального за облік витрат, та менеджера з ведення проєктної документації, який контролює звітність, діловодство та обіг технічних матеріалів.

Загальна організаційна структура проєкту формує чітку вертикаль управління, в якій визначено рівні відповідальності та підзвітності, а також забезпечує раціональний функціональний розподіл обов'язків між учасниками команди. Такий підхід не лише сприяє ефективному досягненню поставлених стратегічних і тактичних цілей, а й дозволяє мінімізувати ймовірність управлінських помилок, знизити рівень проєктних ризиків і забезпечити

стабільність процесів за рахунок підтримання високої виконавської дисципліни на всіх етапах реалізації.

3.3 Побудова WBS проєкту

Управління сучасними проєктами вимагає чіткого структурування всіх етапів їх реалізації, що дозволяє забезпечити прозорість виконання робіт, контроль над ресурсами та якісне досягнення поставлених цілей. Для реалізації проєкту зі створення IoT-системи контролю вологості ґрунтів була побудована структура WBS (Work Breakdown Structure), яка базується на принципах декомпозиції та послідовного розподілу проєкту на окремі логічно завершені блоки.

WBS структурує проєкт відповідно до фаз його життєвого циклу — від ініціації до завершення. Кожна фаза представлена як окремий рівень ієрархії з підрозділами, які деталізують роботи до рівня контрольованих завдань. Такий підхід дозволяє ефективно планувати час, ресурси та відповідальність, а також встановлювати точки контролю якості та прогресу [25].

Побудована WBS охоплює шість основних фаз: ініціацію, планування, проєктування, реалізацію, контроль та моніторинг, а також завершення проєкту. Кожна з фаз включає відповідні етапи, зокрема формування технічного завдання, розробку архітектури системи, впровадження апаратних і програмних компонентів, проведення тестування та оформлення підсумкової звітності. В межах кожної фази передбачено конкретні deliverables (очікувані результати), що відповідає міжнародному стандарту управління проєктами PMBOK та вимогам до якісного структурування проєктної діяльності (рис. 3.2).

WBS структура проєкту у повному вигляді наведена в додатку В.

Однією з головних переваг побудованої WBS є її орієнтація на досягнення конкретного результату. Кожне завдання в структурі має чітко визначену мету, очікуваний результат і логічний зв'язок із загальною ціллю

проєкту. Такий підхід дає змогу уникнути дублювання робіт, мінімізувати ризики відхилення від початкових вимог і забезпечити узгоджене управління всіма етапами реалізації.

Крім того, деталізація структури до третього рівня забезпечує можливість ефективного розподілу обов'язків між членами команди, постійного контролю за виконанням проміжних завдань і прозорості всього процесу.

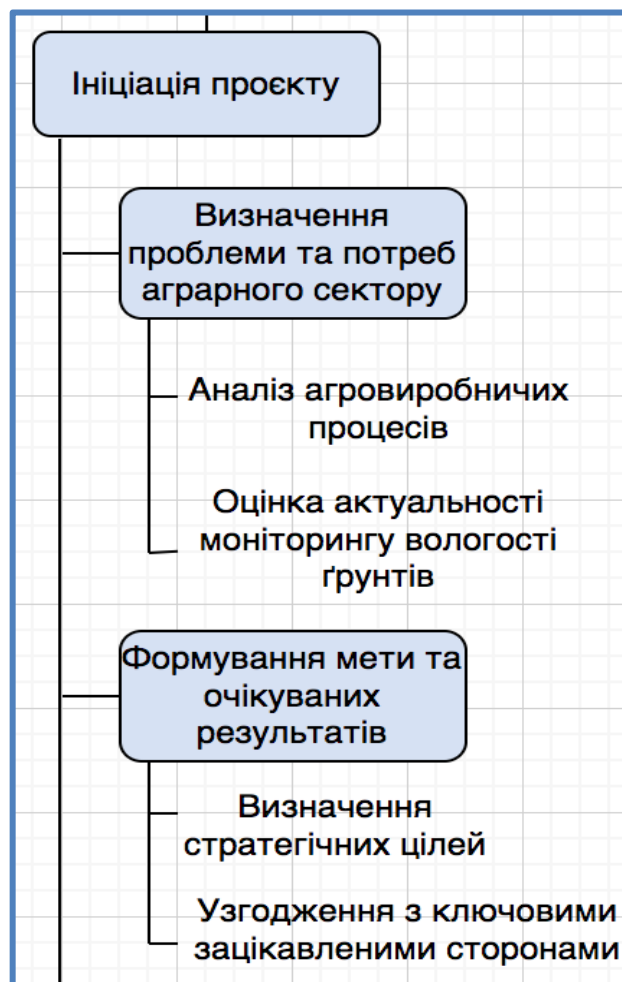


Рис. 3.2. Фрагмент WBS структури проєкту

WBS структура у повному вигляді зображена в додатку В.

Таким чином, структурна декомпозиція робіт виступає не лише інструментом планування, а й базовим елементом для подальшого управління

термінами, ресурсами, ризиками та якістю, сприяючи досягненню стратегічних цілей проєкту в межах визначених обмежень.

3.4 Визначення контрольних віх проєкту

У сучасному управлінні проєктами особливе місце займає визначення контрольних віх, що розглядаються як важливий інструмент стратегічного планування та моніторингу. Згідно з дослідженнями, віхи не тільки структурують хід реалізації проєкту, але й функціонують як ключові показники ефективності (Key Performance Indicators), що дозволяють своєчасно виявляти відхилення від плану, оптимізувати ресурси та покращувати процеси прийняття рішень [26-27]. Особливо актуальним є застосування віх у масштабних або технічно складних проєктах, де високий рівень взаємозалежності між завданнями вимагає чіткого відслідковування критичних етапів.

Контрольні віхи у проєктному управлінні виконують роль ключових орієнтирів, що дозволяють відстежувати прогрес реалізації проєкту в часі, оцінювати досягнення критичних результатів та забезпечувати ефективну координацію дій команди. Визначення контрольних віх є обов'язковим етапом при розробці календарного плану та системи моніторингу виконання проєктних робіт [28].

Вони відіграють також комунікаційну роль, сприяючи прозорості процесів і підвищенню обізнаності зацікавлених сторін про стан виконання ключових етапів. Завдяки чітко визначеним контрольним точкам стає можливим вчасно реагувати на потенційні ризики, підтримувати відповідність плану та забезпечити досягнення очікуваних результатів проєкту в межах встановлених ресурсних і часових обмежень.

Для проєкту створення IoT-системи контролю рівня вологості ґрунтів контрольні віхи були сформовані відповідно до фаз життєвого циклу проєкту, передбачених каскадною методологією. Кожна віха позначає завершення

логічно завершеного етапу, після якого приймається рішення про перехід до наступної фази. Такий підхід забезпечує структурованість управління, дозволяє своєчасно виявляти відхилення від плану та мінімізувати ризики, пов'язані з невиконанням критичних робіт.

У межах реалізації проекту створення автоматизованої системи контролю рівня вологості ґрунтів було визначено низку основних віх, що відображають критично важливі етапи реалізації (табл. 3.1). До них належать:

- Завершення етапу ініціації, що передбачає визначення потреб, формування цілей та постановку завдань проекту.
- Завершення етапу планування, в ході якого виконано структурування робіт, розроблено організаційну структуру та визначено ресурси.
- Завершення етапу проектування системи, що охоплює підготовку архітектури рішень, вибір технологій та розробку технічної документації.
- Завершення етапу реалізації, який включає створення апаратної та програмної частини, а також початкову інтеграцію компонентів системи.
- Завершення етапу тестування та впровадження, в межах якого проводиться перевірка працездатності системи в умовах експлуатації та підготовка до завершення проекту.
- Фінальне завершення проекту, що включає підбиття підсумків, оцінку ефективності, оформлення звітності та офіційне закриття проекту.

Таблиця 3.1

Контрольні віхи проекту

№	Назва віхи	Опис етапу	Дата завершення
1	Завершення ініціації проекту	Підготовлено паспорт проекту, визначено цілі та результати	11.04.2025

2	Завершення етапу планування	Складено WBS, визначено віхи, затверджено технічне завдання, сформовано структуру управління	22.04.2025
3	Завершення проєктування системи	Підготовлено архітектуру системи, вибрано апаратне та програмне забезпечення, завершено технічну документацію	30.04.2025
4	Завершення реалізації	Завершено монтаж обладнання, програмування, інтеграцію та налаштування	09.05.2025
5	Завершення тестування та впровадження	Проведено тестування в реальних умовах, виконано аналіз і корекцію	16.05.2025
6	Закриття проєкту	Проведено фінальний аудит, оцінено витрати, підготовлено підсумкову документацію	22.05.2025

Визначення цих контрольних віх створює основу для систематичного контролю виконання робіт, допомагає забезпечити дотримання термінів та сприяє підвищенню ефективності управління проєктом у цілому. Чітке фіксування досягнення віх дозволяє оперативно приймати управлінські рішення, координувати дії між учасниками проєкту та своєчасно реагувати на можливі ризики.

3.5 Планування проєкту з використанням інформаційних технологій. Діаграма Ганта. Управління ресурсами

Планування проєкту було реалізовано із застосуванням інструментального середовища ProjectLibre, що дозволяє забезпечити комплексне управління часовими та ресурсними параметрами відповідно до принципів класичних методологій проєктного менеджменту.

У межах підготовки календарного плану проєкт було структуровано на основі методології життєвого циклу Waterfall. Це дозволило поділити його на послідовні фази, кожна з яких представлена як окрема сумарна задача. Такий підхід забезпечив логічну послідовність виконання етапів – від ініціації до повного завершення проєкту. Для кожної фази визначено підзадачі, які відображають конкретні роботи, необхідні для досягнення проміжних результатів.

Планування проєкту з використанням ProjectLibre наведено в додатку Г.

Застосування діаграми Ганта дало змогу візуалізувати часову модель реалізації проєкту. Для кожної задачі було встановлено дату початку, завершення та тривалість виконання, а також задано логічні залежності між роботами. Основним типом залежності виступає взаємозв'язок типу Finish-to-Start, що забезпечує послідовність дій відповідно до принципів каскадної моделі. Автоматичне формування критичного шляху дозволило виявити ті задачі, від яких безпосередньо залежить загальна тривалість реалізації. Крім того, в структуру плану інтегровано контрольні віхи, що позначають завершення ключових етапів, таких як планування, проєктування, реалізація та впровадження.

Паралельно з побудовою графіка виконання робіт було проведено ресурсне планування. До участі в проєкті залучено як людські, так і матеріальні ресурси. До людських віднесено фахівців різного профілю, зокрема менеджера проєкту, аналітика, архітектора системи, розробника, тестувальника, бухгалтера та інших учасників. Матеріальні ресурси охоплюють обладнання, яке включає датчики та мікроконтролери, а також програмне забезпечення і серверну інфраструктуру для розміщення системи. Кожен ресурс було логічно призначено на відповідні задачі відповідно до його ролі у проєкті.

У процесі планування було змодельовано ситуацію конфлікту ресурсів із метою демонстрації можливостей управління навантаженням у рамках проєктного плану. Конфлікт полягав у перевищенні допустимого

навантаження на окремі ресурси внаслідок їх одночасного призначення на декілька задач, що виконуються в один і той самий проміжок часу. Це дозволило дослідити функціонал системи планування щодо виявлення перевантаження персоналу та перевірити коректність розрахунків завантаження ресурсів. Відображення такого конфлікту стало корисним елементом для оцінки потенційних ризиків перевищення трудових витрат та для подальшого удосконалення ресурсного розподілу.

У результаті сформовано цілісний календарно-ресурсний план, що відповідає потребам управління комплексним технічним проектом. Застосування ProjectLibre забезпечило інтеграцію часових, ресурсних та логічних параметрів проекту, дозволивши організувати процес реалізації системи на професійному рівні.

3.6 Управління ризиками

Ефективне управління ризиками є невід'ємною складовою успішної реалізації будь-якого інноваційного проекту. У межах створення автоматизованої системи контролю вологості ґрунтів важливо своєчасно виявляти можливі загрози, аналізувати їх вплив на хід виконання робіт та впроваджувати превентивні заходи для зменшення негативного впливу на результат.

У контексті реалізації проекту доцільним є застосування поєднання підходів, заснованих на положеннях стандарту ISO 31000 та окремих елементів РМВОК. Враховуючи специфіку проекту, що охоплює як технічні, так і екологічні аспекти, базовим орієнтиром для побудови системи управління ризиками обрано саме ISO 31000. Цей міжнародний стандарт забезпечує гнучкість та адаптивність, дозволяючи налаштувати механізми управління ризиками відповідно до контексту і особливостей проекту, охоплюючи технічні, організаційні та природні чинники, що можуть впливати на досягнення очікуваних результатів.

Застосування положень PMBOK (Project Management Body of Knowledge), розроблених Інститутом управління проєктами (PMI), дозволяє інтегрувати управління ризиками в загальну структуру управління проєктом. Це, зокрема, сприяє чіткому розподілу ролей і зон відповідальності, ефективному використанню ресурсів та узгодженому виконанню проєктних етапів. Таке комбінування забезпечує не лише виявлення й оцінку потенційних ризиків, але й їхнє своєчасне реагування у межах узгоджених процедур і політик управління [29].

Дослідження, проведене в Малайзії, підтверджує ефективність застосування стандарту ISO 31000 у сільськогосподарських проєктах. Зокрема, було запропоновано адаптовану модель управління ризиками, яка включає аналіз контексту, ідентифікацію та оцінку ризиків, розробку планів реагування та моніторинг. Такий підхід дозволяє враховувати специфіку аграрного сектору та забезпечує гнучкість у прийнятті управлінських рішень [30].

Крім того, дослідження, проведене в Ефіопії, виявило, що ефективне управління ризиками в аграрних проєктах сприяє досягненню цілей проєкту в межах встановлених термінів і бюджету. Зокрема, було підкреслено важливість планування управління ризиками, ідентифікації потенційних загроз, аналізу їхнього впливу, розробки стратегій реагування та постійного моніторингу [31].

Вітчизняні дослідження також підкреслюють важливість впровадження ризик-менеджменту в аграрних підприємствах як складової антикризового стратегічного управління. Зокрема, аналіз основних міжнародних стандартів з управління ризиками свідчить про можливість розробки ефективної стратегії управління ризиками в організації або підприємстві. Встановлено, що ризик-менеджмент має важливе значення в багатьох аспектах діяльності підприємства, таких як стратегічне та операційне управління, фінансове управління, управління якістю, управління людськими ресурсами, управління проєктами, управління інвестиціями та управління інноваціями. Крім того,

управління ризиками тісно пов'язане з антикризовим управлінням та забезпеченням безперервності бізнесу [32].

У процесі реалізації проєкту було розроблено й упроваджено комплексну організаційну структуру управління ризиками, яка охоплює всі ключові елементи системи ризик-менеджменту. Її побудова ґрунтується на логіці повного циклу управління ризиками — від початкової ідентифікації потенційних загроз до безперервного моніторингу їхнього впливу на реалізацію проєктних завдань. Такий підхід забезпечує можливість своєчасного виявлення критичних факторів, що можуть вплинути на перебіг робіт, дозволяє оцінити рівень ймовірності їх настання та запровадити ефективні інструменти реагування ще до виникнення реальних ускладнень.

Особливістю цієї структури є чітке визначення ролей і зон відповідальності всіх учасників, що дозволяє забезпечити злагоджену взаємодію всередині команди. Зокрема, менеджер з ризиків виконує функцію загального координатора процесів, відповідаючи за розробку стратегії реагування, координацію між структурними підрозділами та прийняття рішень у критичних ситуаціях. Аналітик з ризиків здійснює збір і систематизацію даних, проводить якісну та кількісну оцінку ймовірних подій, формує періодичну звітність для керівництва. Інші учасники, які відповідають за виконання спеціалізованих функцій у межах проєкту, залучаються до процесу ризик-менеджменту шляхом надання даних, участі в моніторингу загроз і впровадження заходів реагування у межах своїх компетенцій.

Подібна деталізація обов'язків сприяє створенню прозорої системи управління, усуває дублювання функцій і забезпечує оперативність дій у разі виявлення нових або неочікуваних загроз. Інтегрованість цієї структури в загальну систему управління проєктом (рис. 3.3), де відображено логічні зв'язки між ключовими елементами та механізми їх взаємодії в єдиному управлінському контурі.

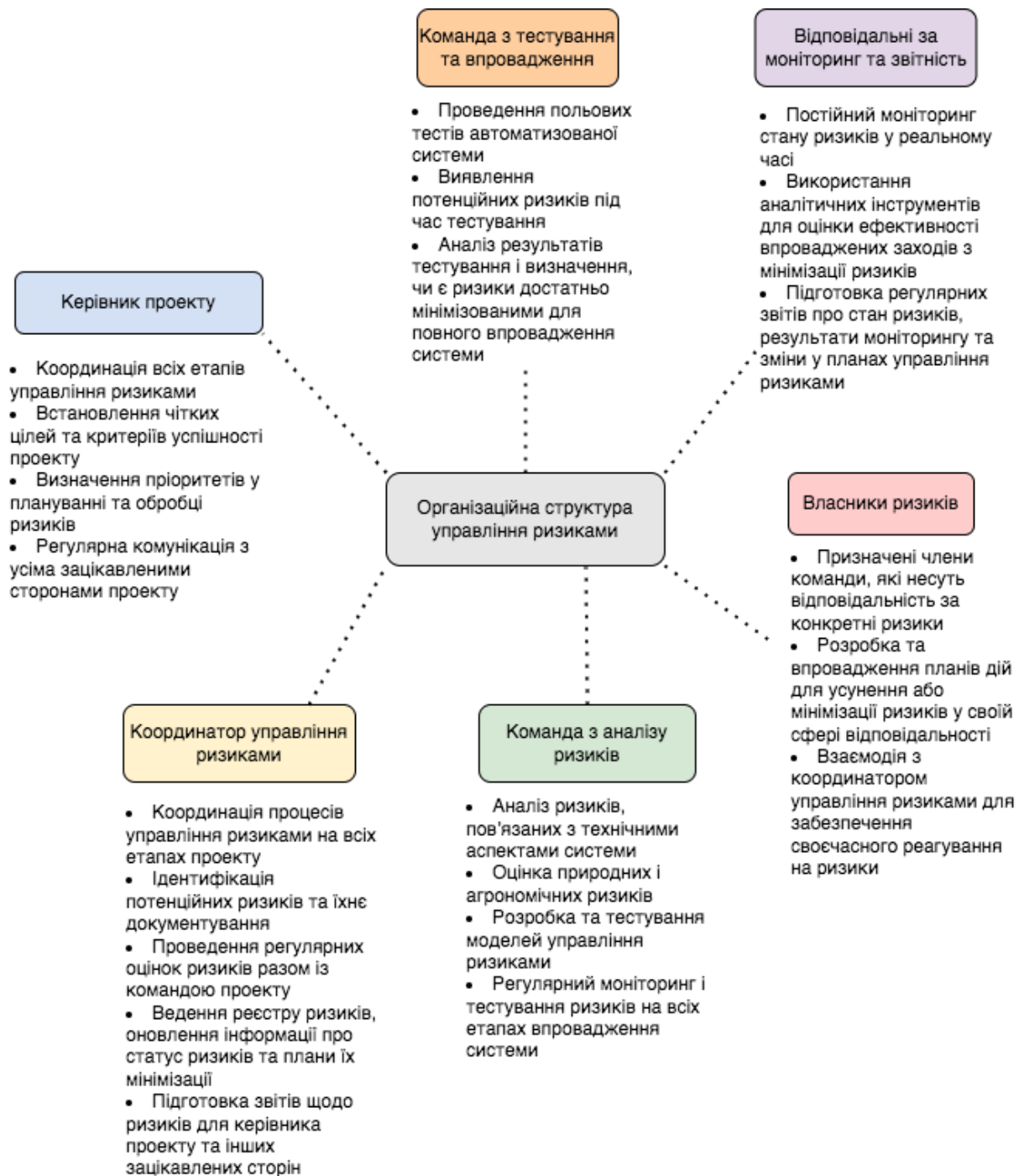


Рис. 3.3. Організаційна структура управління ризиками проекту

Для цього проекту доцільно використовувати класифікацію за джерелом ризиків, оскільки вона допоможе чітко визначити потенційні загрози з різних сторін: технологічних, природних, організаційних та інших. Така модель є універсальною та може бути ефективно застосована для ідентифікації ризиків в IoT-проектах.

З метою систематизації потенційних загроз, що можуть впливати на реалізацію проєкту, було розроблено таблицю результатів ідентифікації ризиків. Вона охоплює ключові категорії ризиків, зокрема технічні, організаційні, екологічні, операційні, юридичні, інформаційні, соціальні аспекти. Таблиця дозволяє структурувати інформацію щодо джерел виникнення ризиків, їх ймовірності, можливих наслідків та рекомендованих заходів реагування, що забезпечує більш ефективне планування превентивних дій і підвищує загальну стійкість проєкту (табл. 3.2).

Таблиця 3.2

Результати ідентифікації ризиків

№	Тип ризику	Ризикова подія	Сила впливу	Керованість
1	Технічний	<ul style="list-style-type: none"> • Несправність датчиків вологості • Нестабільне підключення до мережі • Помилки в програмному забезпеченні при обробці даних 	Значний	Середня
2	Фінансовий	<ul style="list-style-type: none"> • Перевищення бюджету на закупівлю обладнання • Витрати на технічне обслуговування та оновлення обладнання 	Критичний	Низька
3	Природний	Екстремальні погодні умови	Критичний	Низька
4	Організаційний	<ul style="list-style-type: none"> • Недостатня координація між командами • Нестача кваліфікованого персоналу для підтримки системи 	Значний	Середня

5	Юридичний	<ul style="list-style-type: none"> • Недотримання вимог щодо зберігання або передачі персональних чи даних • Відсутність ліцензій на використання певного ПЗ або стандартів зв'язку 	Значний	Низька
6	Соціальний	<ul style="list-style-type: none"> • Опір користувачів впровадженню нових технологій • Відсутність мотивації у фермерів щодо цифровізації процесів 	Середній	Середня
7	Інформативний	<ul style="list-style-type: none"> • Втрата даних унаслідок збоїв або відсутності резервного копіювання • Ненадійність збереження інформації в хмарному середовищі 	Критичний	Висока
8	Кіберризик	<ul style="list-style-type: none"> • Несанкціонований доступ до системи або порушення безпеки при передачі даних • Атаки з метою блокування або знищення даних 	Критичний	Середня

Для аналізу впливу виявлених ризиків на реалізацію проекту було проведено кількісне оцінювання ризикових подій. Цей етап дозволив оцінити ймовірність настання кожної ризикової події та рівень її потенційного впливу на цілі проекту.

Таблиця оцінювання ризикових подій зазначена у додатку Д.

На основі отриманих даних розраховано узагальнений показник важливості ризику, який дозволяє визначити пріоритетність реагування. Ризики, пов'язані з екстремальними погодними умовами, кібератаками та

помилками у функціонуванні програмного забезпечення, продемонстрували найвищі оцінки впливу. Водночас технічні й організаційні загрози, як-от нестабільне з'єднання чи пошкодження обладнання, також становлять потенційну небезпеку.

Результати подано у таблиці, яка слугує основою для подальшої розробки превентивних та коригувальних заходів. Такий підхід дозволяє систематизувати інформацію щодо ризиків і закласти підґрунтя для прийняття управлінських рішень у процесі реалізації проєкту.

Наступним етапом було створення таблиці протиризикових заходів проєкту на основі раніше ідентифікованих ризиків. Таким чином було визначено симптоми ризикових подій та запропоновано три типи протиризикових заходів: профілактичні заходи, заходи при виявленні симптомів та заходи при настанні ризику (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

Противризикові заходи проєкту

№	Ризикова подія	ПРЗ 1 (профілактика)	Симптом (рання ознака)	ПРЗ 2 (при симптомі)	ПРЗ 3 (при проблемі)
1	Несправність датчиків вологості	Регулярне технічне обслуговування датчиків	Неточні або некоректні показники вологості	Перевірка та калібрування датчиків	Заміна несправних датчиків
2	Екстремальні погодні умови	Встановлення захисних кожухів на датчики	Виявлення екстремальних температур або вологи	Тимчасове відключення системи	Оновлення системи захисту або заміна датчиків
3	Недостатня координація між командами	Планування регулярних зустрічей з командами	Відсутність комунікації між підрозділами	Організація термінових нарад	Перегляд відповідальних осіб

4	Нестабільне підключення до мережі	Використання резервних каналів зв'язку	Втрата сигналу або нестабільна передача даних	Переключення на резервні канали зв'язку	Встановлення нових точок доступу
5	Загроза кібербезпеці	Використання шифрування та брандмауерів	Виявлення спроб несанкціонованого доступу	Термінове посилення захисту	Блокування доступу та відновлення захищених каналів
6	Помилки в програмному забезпеченні при обробці даних	Тестування та валідація коду перед розгортанням	Некоректний або неповний аналіз даних	Усунення помилок шляхом ревізії коду	Повторне тестування системи після оновлення
7	Перевищення бюджету на обладнання	Попередній аналіз ринку та затвердження бюджету	Перевищення цінових лімітів на окремі компоненти	Пошук альтернативних постачальників	Перерозподіл бюджету та коригування плану закупівель
8	Втрата або пошкодження даних	Налаштування автоматичного резервного копіювання	Відсутність або спотворення останніх записів у базі	Відновлення з резервної копії	Перевірка стабільності системи зберігання

Обґрунтування та оцінка вартості протиризикових заходів:

1. Профілактичні заходи (ПРЗ 1) зазвичай мають нижчу вартість, оскільки спрямовані на попередження ризиків, що дозволяє уникнути значних

втрат. Наприклад, регулярне технічне обслуговування датчиків є менш затратним, ніж їхня заміна після несправностей.

2. Заходи при симптомі (ПРЗ 2) мають помірну вартість, оскільки вимагають швидкої реакції, але ще можуть запобігти серйозним проблемам. Наприклад, перевірка та калібрування датчиків при неточних даних потребують більше часу та ресурсів, ніж просте обслуговування, але дозволяють уникнути збоїв у роботі.
3. Заходи при настанні ризику (ПРЗ 3) мають найвищу вартість, оскільки спрямовані на виправлення вже настаних проблем. Наприклад, повна заміна несправних датчиків або відновлення системи після кіберзагрози може потребувати значних фінансових і часових ресурсів.

ІТ-складова проєкту включає:

- Збір даних з датчиків
- Зв'язок та передача даних
- Програмне забезпечення
- Користувацький інтерфейс
- Безпека даних та резервне копіювання

Ідентифікація та оцінка ризиків ІТ-складової:

1. Ризик відмови обладнання (збір даних з датчиків)
2. Ризик некоректних вимірювань (збір даних з датчиків)
3. Втрата зв'язку (зв'язок та передача даних)
4. Затримка передачі даних (зв'язок та передача даних)
5. Недостатня потужність обробки (програмне забезпечення)
6. Помилковий аналіз (програмне забезпечення)
7. Несумісність з різними платформами (користувацький інтерфейс)
8. Інтуїтивно не зрозумілий інтерфейс (користувацький інтерфейс)
9. Ризик порушення безпеки даних (безпека даних та резервне копіювання)

Необхідні протиризикові заходи:

1. Швидка заміна несправного обладнання, встановлення запасних датчиків для тимчасової заміни (ризик відмови обладнання)
2. Перевірка аномальних або некоректних даних, порівняння показників із середніми значеннями та історичними даними (ризик некоректних вимірювань)
3. Використання резервних каналів зв'язку, регулярне тестування мережі (втрата зв'язку)
4. Використання швидких і стабільних мереж передачі даних, оптимізація алгоритмів передачі інформації (затримка передачі даних)
5. Заміна маршрутизаторів або модемів, оновлення прошивки або перехід на нові мережеві технології (затримка передачі даних)
6. Оптимізація алгоритмів обробки даних, перерозподіл навантаження на інші сервери (недостатня потужність обробки)
7. Оновлення серверного обладнання, перехід на більш потужну платформу для обробки даних (недостатня потужність обробки)
8. виправлення програмного коду, оновлення алгоритмів аналізу даних, повторний аналіз за скоригованими даними (помилковий аналіз)
9. Оновлення версій інтерфейсу для окремих платформ, адаптація коду до нових вимог (несумісність з різними платформами)
10. Оновлення інтерфейсу, спрощення основних функцій та оптимізація дизайну відповідно до потреб користувачів (інтуїтивно не зрозумілий інтерфейс)
11. виявлення несанкціонованих спроб доступу, моніторинг підозрілої активності (ризик порушення безпеки даних)
12. Блокування доступу, відновлення даних з резервних копій, запуск відновлювальних процедур після атаки (ризик порушення безпеки даних)

На основі попередньо ідентифікованих ризиків було побудовано дерево рішень, що відображає можливі сценарії розвитку подій з урахуванням їх

ймовірностей, фінансових наслідків та очікуваного чистого дисконтованого доходу (ЧДД). Такий підхід дозволяє кількісно оцінити загальний ризик проєкту та обґрунтувати управлінські рішення щодо доцільності впровадження системи в умовах невизначеності (рис. 3.4).

в тис. дол.														
ставка: 20%														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	Сукуп.ймов.	Фін.рез.	Ймов.фін.рез.	ЧДД	Ймов ЧДД	
				0,3	80	80	80	80	0,091	240,000	21,773	26,525	2,406	
			0,9	-15	60	60	60	60	0,151	160,000	24,192	5,718	0,865	
		0,8	-5	0,2	40	40	40	40	0,060	80,000	4,838	-15,089	-0,913	
	0,7	-3							0,034	-65,000	-2,184	-60,675	-1,703	
0,6	-7		0,1						0,084	-60,000	-5,040	-48,264	-4,054	
-50		0,2							0,180	-57,000	-10,260	-46,528	-8,375	
	0,3								0,400	-50,000	-20,000	-41,667	-16,667	
0,4									1,000	248,000	13,319	-169,980	-28,440	

Рис. 3.4. Дерево рішень етапів фінансування проєкту

На кожному рівні дерева розглянуто альтернативні варіанти розвитку подій, пов'язані з різними ризиковими чинниками. Враховано ймовірності настання відповідних подій, розраховано їх очікувані фінансові результати та дисконтовані потоки за ставкою 20%. У результаті проведеної оцінки було визначено очікуване значення ЧДД для кожного з можливих сценаріїв, що дозволило зробити висновки щодо загального рівня ризику проєкту та доцільності його реалізації в заданих умовах.

Доповненням до побудови дерева рішень є врахування практик кількісного аналізу ризиків, зокрема за методологією FMEA (Failure Mode and Effects Analysis). Як зазначено у [33], така методика дозволяє детально оцінити потенційні відмови в системі, їх критичність, імовірність виникнення та можливі наслідки. Це забезпечує надійну основу для формування сценаріїв у межах дерева рішень та покращує якість управлінських рішень на ранніх етапах.

Крім того, як згадано у [34], доцільним є включення кількісної оцінки ризиків інвестиційного проєкту через аналіз зміни фінансових показників залежно від ризиків, зокрема розрахунок ЧДД за різних сценаріїв. Це дозволяє не лише оцінити доцільність реалізації проєкту в умовах невизначеності, а й зіставити різні варіанти інвестування за критерієм ефективності та ризику, що

є особливо важливим при роботі з інноваційними проєктами в аграрному секторі.

3.7 Економічне обґрунтування проєкту

Відповідно до чинного законодавства, наше підприємство відноситься до категорії мікропідприємств. Це обумовлено тим, що чисельність персоналу не перевищує 10 осіб, а річний обсяг доходу знаходиться в межах, встановлених для мікробізнесу [35].

Для оцінки очікуваного рівня рентабельності було проведено аналіз статистичних даних за останні п'ять років. Використано офіційні показники, оприлюднені Державною службою статистики України щодо рівня рентабельності мікропідприємств у сфері «Комп'ютерне програмування» та сформовано графік динаміки рентабельності мікропідприємств за 2019-2023 роки (рис. 3.5).

У 2019 році цей показник становив 3,3%, у 2020 – 4,0%, у 2021 – 3,4%. У 2022 році спостерігалось зниження до 1,8%, що було пов'язано з кризовими явищами в економіці. Водночас у 2023 році галузь продемонструвала відновлення з рентабельністю на рівні 4,1%.

Середнє значення рентабельності за обраний аналітичний період становило 3,3%. Цей рівень рентабельності було обґрунтовано визначено як базовий фінансовий орієнтир при розробці проєкту, адже він враховує реалії сучасного економічного середовища, зокрема макроекономічну нестабільність, характерну для перехідного ринку. Такий підхід дає змогу сформувати більш реалістичну та обґрунтовану модель фінансового планування, яка відповідає початковим етапам комерційної діяльності.

Особливої актуальності даний показник набуває в умовах функціонування мікропідприємств, які працюють у сфері розробки програмного забезпечення. Ці підприємства, як правило, стикаються з

обмеженими фінансовими ресурсами, високим рівнем конкуренції та значними коливаннями попиту, що ускладнює прогнозування прибутковості.

Динаміка рівня рентабельності всієї діяльності мікропідприємств по галузі "Комп'ютерне програмування" 2019-2023 роки.

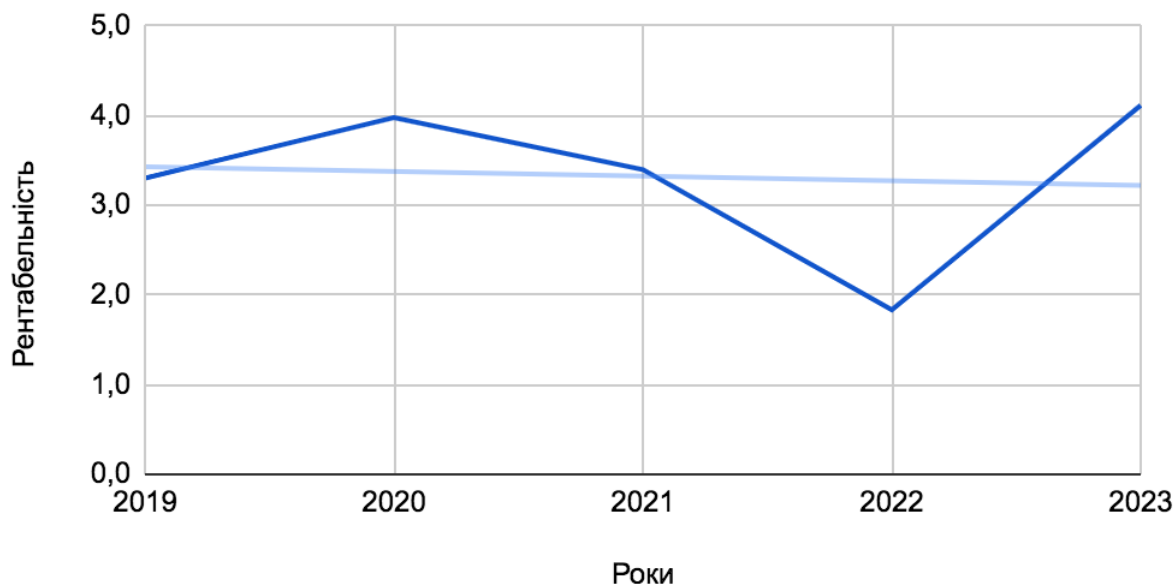


Рис. 3.5. Динаміка рівня рентабельності

Сформовано автором на основі [36].

У межах запуску проєкту, метою якого є створення автоматизованої системи для моніторингу вологості ґрунту й керування поливом, було послідовно реалізовано низку ключових господарських дій, що представлені в табл. 3.4.

Таблиця 3.4

Таблиця обліку витрат і джерел фінансування проєкту

№	Зміст операції	Дт	Кт	Сума
1	Внесення статутного капіталу	312	401	50000
2	Додаткові інвестиції в проєкт	312	422	30000
3	Оплата послуг інженерів за розробку прототипу	154	685	10000

4	Придбання комплектуючих	152	631	5000
5	Оплата хостингу, сервісів тестування	92	312	1000
6	Придбання серверного обладнання	152	631	7000
7	Тестування, налаштування, ПЗ	154	685	3000
8	Введення в експлуатацію основних засобів	104	152	12000
9	Нарахування зарплати працівникам	92	661	5000
10	ЄСВ	92	651	1100
11	Послуги маркетингової агенції	93	631	10000
12	Рекламна кампанія в інтернеті	93	631	5000

Сформовано автором на основі [37].

Спочатку було сформовано стартовий капітал у розмірі 50 тисяч доларів, після чого залучено ще 30 тисяч як додаткові інвестиції — ці кошти лягли в основу усіх наступних технічних і організаційних процесів.

Подальші витрати були спрямовані переважно на технічну реалізацію продукту. Зокрема, це оплата роботи інженерів, які займались розробкою першого прототипу, придбання необхідних комплектуючих, а також закупівля серверного обладнання. Усі ці кроки дозволили сформувати базову інфраструктуру, провести тестування системи й підготувати продукт до подальшого розгортання. Після цього було офіційно введено в експлуатацію основні засоби.

Паралельно з технічним блоком були організовані всі необхідні управлінські процеси: сформовано невелику команду, нараховано оплату праці, сплачено обов'язкові внески до соціальних фондів. Також було укладено договір з маркетинговою агенцією, розпочато інтернет-кампанію та підготовку комунікаційної стратегії.

Усі ці витрати були чітко зафіксовані з дотриманням чинного бухгалтерського обліку. Структура операцій відповідає етапам розвитку

проєкту: від початкового фінансування — до запуску продукту та виходу на цільову аудиторію. Такий підхід дозволяє контролювати бюджет, адекватно оцінювати витрати та готуватись до масштабування.

У межах реалізації проєкту, спрямованого на створення системи автоматизованого моніторингу вологості ґрунту, було сформовано структуру повної собівартості продукту, виходячи з особливостей моделі виробництва та розповсюдження (табл. 3.5).

Таблиця 3.5

Структура повної собівартості продукту

Складові собівартості	Ціна в UAH	Ціна в USD
Адміністративні видатки		
Нарахування зарплат та оплата послуг з розробки	7 790,00	190,00
Прямі матеріальні витрати		
Датчик FC-28	34,00	0,83
Мікроконтролер ESP8266	140,00	3,41
Витрати на збут		
Витрати на впровадження та монтаж системи	6 150,00	150,00
Послуги маркетингової агенції	4 100,00	100,00
Рекламна кампанія в інтернеті	2 050,00	50,00
Повна собівартість	20 264,00	494,24

Сформовано автором на основі власних розрахунків.

Дані представлені у таблиці розраховані за валютним курсом 1 USD = 41 UAH, встановленим на момент проведення дослідження.

До складу собівартості входять три основні компоненти: адміністративні витрати, прямі матеріальні витрати та витрати на збут.

Адміністративні витрати охоплюють нарахування заробітної плати та оплати послуг з розробки програмного забезпечення. Сума таких витрат становить 7 790 гривень або приблизно 190 доларів США. Оскільки програмне забезпечення створюється один раз, після чого використовується повторно без суттєвих додаткових витрат на кожного нового клієнта, було прийнято рішення розподілити цю суму між прогнозованими першими 100 користувачами. У результаті до собівартості однієї одиниці було включено лише частину цієї суми – орієнтовно 190 дол. США.

Матеріальні витрати – це комплект базових електронних компонентів, до яких входять датчик вологості FC-28 вартістю 34 гривні (0,83 дол.) та мікроконтролер ESP8266 за 140 гривень (3,41 дол.). У таблиці наведено розрахунок для одного комплекту, однак реальна кількість датчиків для конкретного впровадження залежить від масштабу проекту. У деяких випадках може знадобитися 10–20 або більше датчиків на одну ділянку, тож підсумкова собівартість варіюється в залежності від масштабів проекту.

Витрати на збут охоплюють маркетингову складову та витрати на впровадження. Маркетингові витрати складаються з послуг маркетингової агенції (4 100 гривень або 100 доларів США) та рекламної кампанії в інтернеті (2 050 гривень або 50 доларів США). Оскільки просування продукту на ринку є не разовою активністю, а постійною складовою нашої моделі, ці витрати враховуються системно. Аналогічно до витрат на ПЗ, застосовано метод розподілу: маркетингові витрати поділено на 100 прогнозованих клієнтів, і до собівартості одиниці включено відповідно 100 доларів з агенції та 50 доларів з реклами.

Також до блоку витрат на збут включено вартість монтажу та впровадження системи – 6 150 гривень або 150 доларів США. Цей компонент реалізується після покупки, тобто вже на етапі впровадження рішення на об'єкті замовника. У структурі витрат він враховується як післяпродажне обслуговування.

У підсумку, з урахуванням розподілених адміністративних і маркетингових витрат, а також одного комплекту датчика й мікроконтролера, повна собівартість однієї одиниці продукту становить 20 264 гривні або 494,24 долара США. При цьому слід враховувати, що вартість змінюється залежно від кількості датчиків, які використовуються в конкретному рішенні.

Формула розрахунку повної собівартості:

$$K = A + M + (D + C) \times N \quad (3.1)$$

де:

A – адміністративні витрати (з урахуванням розподілу),

M – витрати на збут (з урахуванням розподілу),

D – вартість одного датчика,

C – вартість одного мікроконтролера,

N – кількість датчиків, необхідних для реалізації конкретного проєкту.

K – собівартість

Таким чином, наведена формула дозволяє здійснити індивідуалізований розрахунок повної собівартості впровадження автоматизованої системи контролю рівня вологості ґрунтів для кожного окремого клієнта. Вона враховує як постійні витрати на адміністративне управління та маркетинг, так і змінні компоненти, пов'язані з кількістю необхідного обладнання. Такий підхід забезпечує прозорість у формуванні ціни, сприяє ефективному бюджетуванню та підвищує економічну обґрунтованість впровадження системи в аграрних підприємствах різного масштабу.

РОЗДІЛ 4. ПРОЄКТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА АПАРАТНО-ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ПРОЄКТУ

4.1 Розробка архітектурної моделі автоматизованої системи

Функціонування автоматизованої системи моніторингу вологості ґрунту базується на трирівневій архітектурі, яка забезпечує збір, обробку та візуалізацію даних у режимі реального часу.

На першому рівні, що виконує функцію сенсорного шару, працюють датчики типу FC-28 (рис. 4.1), з'єднані з мікроконтролером ESP8266 (рис. 4.2). Це поєднання дозволяє здійснювати безперервний контроль вологості на певних ділянках поля. Зібрана інформація передається далі на рівень обробки даних через вбудований Wi-Fi-модуль.

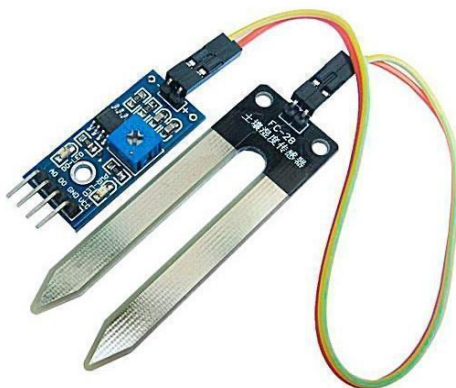


Рис. 4.1. Датчик FC-28

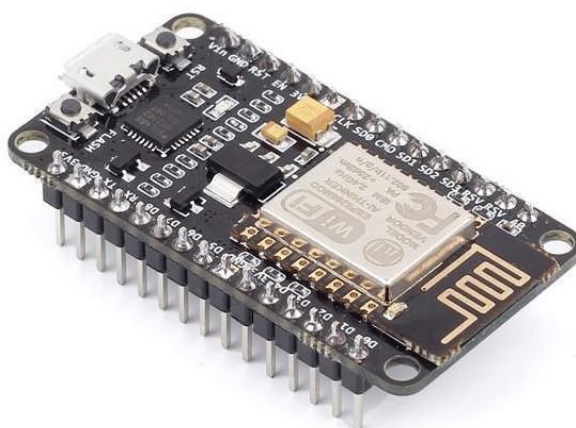


Рис. 4.2. Мікроконтролер ESP8266

Другий рівень архітектури відповідає за обробку та зберігання інформації. Тут функціонує веб-сервер, що виконує роль центрального вузла. Він приймає дані від сенсорів, здійснює фіксацію часових позначок, структурує інформацію та зберігає її у базі даних. Вбудоване програмне забезпечення реалізує логіку обробки запитів і підготовки даних для подальшої візуалізації.

Третій рівень – клієнтський, забезпечує користувацьку взаємодію з системою. Інтерфейс дозволяє переглядати карту поля з актуальними показниками вологості по ділянках. Крім того, користувач має змогу переглядати історичні дані, обираючи необхідний часовий період, а також керувати режимом автоматичного зрошення в інтерактивному форматі.

Таким чином, архітектурна модель системи об'єднує сенсорний рівень збору даних, серверний рівень обробки та клієнтський рівень візуалізації й управління (рис. 4.3). Взаємодія між цими рівнями забезпечує безперервний моніторинг вологості ґрунту та дозволяє ефективно регулювати процес поливу відповідно до поточних умов.

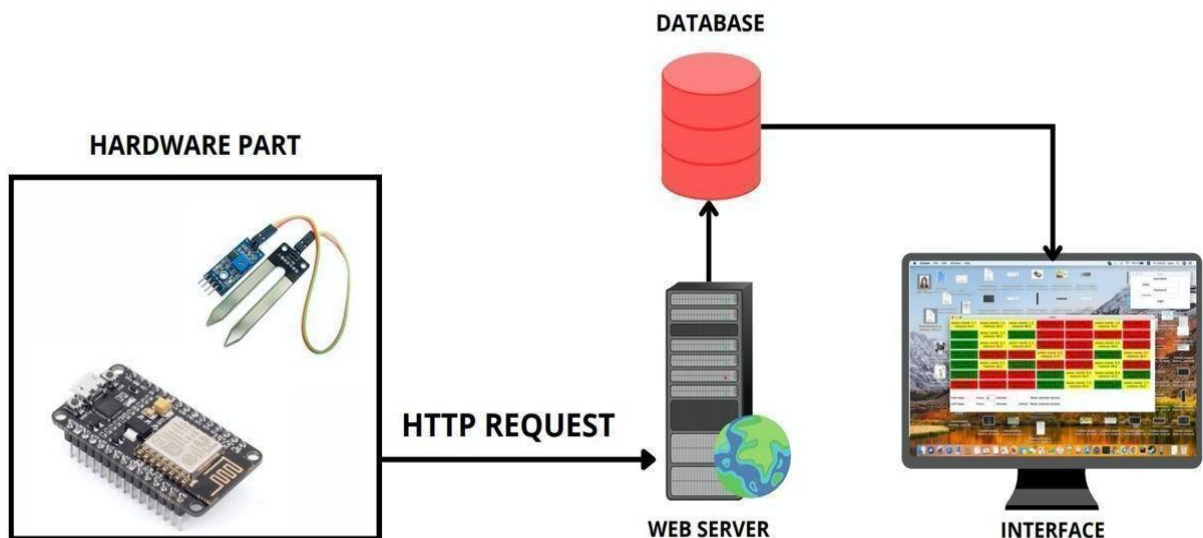


Рис. 4.3. Архітектура системи

4.2 Розробка алгоритмів обробки та аналізу даних

Формалізація алгоритму функціонування автоматизованої системи є ключовим етапом проектування, що забезпечує логічну послідовність виконання операцій для досягнення заданої мети. Структурований підхід до визначення дій системи дозволяє точно регламентувати роботу всіх її функціональних компонентів.

На початку процесу система активує сенсори вологості, розташовані на окремих ділянках поля. Датчики здійснюють зчитування показників вологості ґрунту в реальному часі. Отримані значення передаються до веб-сервера, який забезпечує первинну обробку. Кожному пакету даних присвоюється унікальна часова мітка, після чого інформація зберігається в базі даних разом із координатами відповідного сенсора.

На основі накопичених показників система формує умовну карту поля, на якій кожна ділянка ідентифікується за координатами. Застосовуючи алгоритми порівняння, програмне забезпечення аналізує рівень вологості в кожному сегменті та співвідносить отримані дані з попередньо заданими нормативними критеріями. Це дає змогу визначити, які ділянки потребують додаткового зрошення.

Візуалізація результатів моніторингу вологості ґрунту реалізується за допомогою інтерактивного користувацького інтерфейсу, який забезпечує зручний та інтуїтивно зрозумілий спосіб інтерпретації даних. На екрані відображається карта поля, поділена на умовні сектори, кожен з яких забарвлюється відповідно до рівня вологи, зафіксованого сенсором у цій зоні. Система використовує триступеневу кольорову шкалу маркування: зелений колір позначає, що вологість перебуває в межах норми та не потребує втручання; жовтий сигналізує про досягнення порогового рівня, після якого необхідно розглянути можливість поливу; червоний колір свідчить про критичне зниження вологості, яке загрожує стану рослин і вимагає негайної реакції.

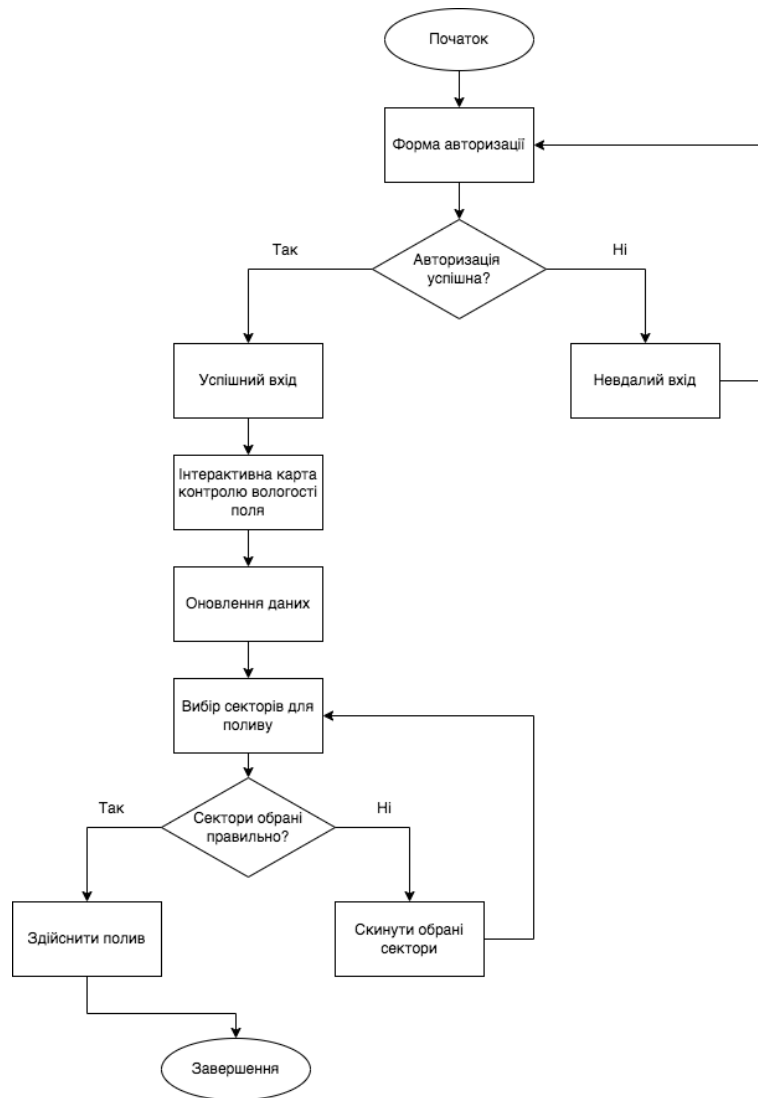


Рис. 4.4. Взаємодія користувача з системою

Користувач має можливість не лише переглядати інформацію, але й безпосередньо впливати на процес керування водними ресурсами. Після аналізу отриманих результатів він може в межах того ж інтерфейсу вручну ініціювати процес поливу для конкретних ділянок поля, де ситуація потребує втручання. Система забезпечує зворотний зв'язок – підтвердження того, що команда на зрошення була прийнята та виконана, після чого оновлена інформація повторно виводиться на карту. Таким чином, цикл збору, обробки, інтерпретації та реагування завершується, і користувач переходить до чергового циклу моніторингу. Завершення дистанційного поливу також

фіксується на схемі, що дозволяє вести історію змін у реальному часі та зберігати високу ефективність аграрного управління (рис. 4.4).

Таким чином, алгоритмічна модель функціонування системи включає послідовні етапи зчитування сенсорних даних, передачі та збереження інформації, її подальшої обробки, візуалізації та прийняття управлінських рішень користувачем. Такий підхід сприяє точному контролю параметрів вологості в агровиробництві та оптимізації водних ресурсів (рис. 4.5).



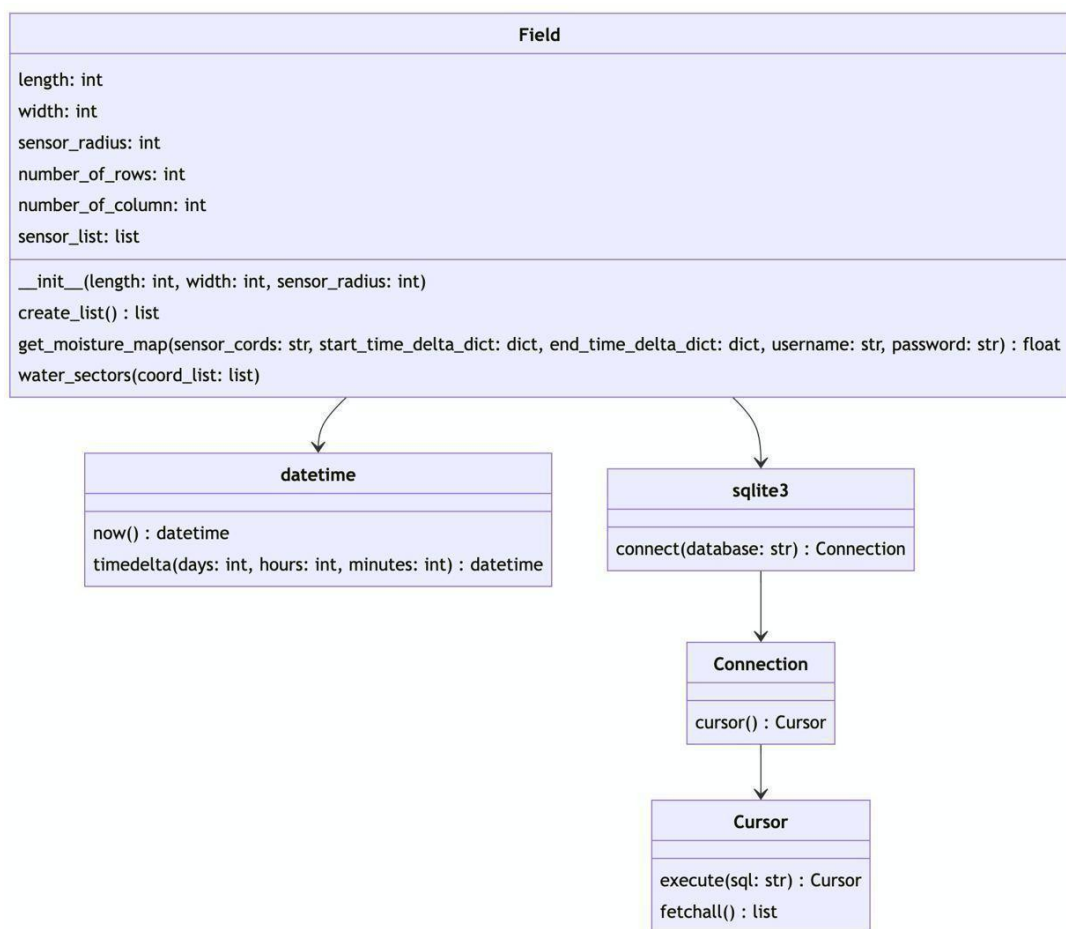
Рис. 4.5. Блок-схема роботи системи

Крім алгоритмічного опису, для системи також було побудовано UML-діаграму класів, яка виконує роль структурного представлення об'єктно-орієнтованої моделі програмного забезпечення. Основне призначення цієї діаграми полягає у візуалізації зв'язків між класами, зокрема у відображенні їхніх атрибутів, методів та взаємозв'язків [38]. Діаграма дозволяє краще зрозуміти архітектуру програмного модуля та структуру логічної взаємодії

всередині системи, включаючи спадковість, залежності та асоціації між класами (рис. 4.6).

Рис. 4.6. UML діаграма класів

Детальний опис класів відповідної моделі наведено у додатку Е.



4.3 Проектування концептуальної моделі, логічної, фізичної баз даних

Розробка бази даних для автоматизованої системи контролю вологості ґрунтів базується на поетапному підході, що передбачає побудову трьох послідовно пов'язаних моделей: концептуальної, логічної та фізичної. Кожна з цих моделей виконує свою унікальну функцію в процесі моделювання даних,

починаючи з формування загального уявлення про структуру інформації в системі та закінчуючи її практичною реалізацією на рівні конкретної СУБД. Такий підхід дозволяє досягти високого рівня узгодженості між бізнес-вимогами, логікою функціонування системи та технічною реалізацією зберігання й обробки даних.

Першим етапом розробки є створення концептуальної моделі, яка відіграє роль абстрактної схеми предметної області. На цьому рівні здійснюється узагальнене представлення ключових сутностей, які взаємодіють у межах системи, без прив'язки до специфіки реалізації або до конкретної платформи баз даних. Основною метою концептуального моделювання є формування логічно обґрунтованої структури, яка відображає реальні процеси, що відбуваються в аграрному виробництві при моніторингу вологості ґрунтів.

У межах даної системи були виокремлені три основні сутності: «Інформація про користувача», «Датчик» та «Зчитування вологості». Ці сутності репрезентують основні об'єкти, що забезпечують збір і зберігання даних про поточний стан ґрунту. Між зазначеними об'єктами встановлено зв'язки типу «один до багатьох» (рис. 4.7). Зокрема, один користувач має змогу керувати кількома датчиками, кожен з яких, у свою чергу, генерує множинні зчитування рівня вологості протягом усього періоду експлуатації. Така структура забезпечує зручну логіку доступу до інформації та дозволяє ефективно організувати подальший аналіз даних на наступних етапах побудови системи.

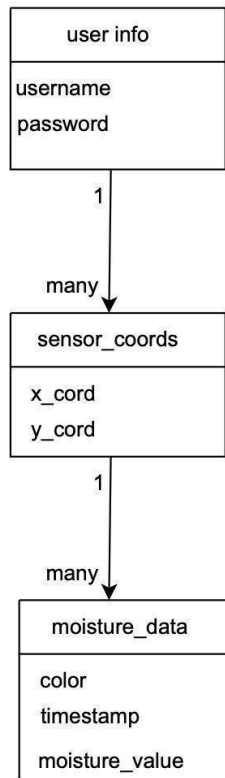


Рис. 4.7. Концептуальна модель бази даних

Наступним етапом розробки стала побудова логічної моделі бази даних, яка конкретизує структуру зберігання даних, не вдаючись до особливостей фізичного середовища. У логічній моделі описуються таблиці, їх стовпці, типи даних, а також правила цілісності й взаємозв'язки між таблицями. Кожна таблиця містить набір атрибутів, що зберігають інформацію про конкретну частину системи. Наприклад, у таблиці `sensor_info` передбачено атрибути `x_cord` та `y_cord`, що відповідають координатам розміщення сенсора на полі. Вони мають тип даних `int` та використовуються для просторової прив'язки результатів зчитування. Така структура дає змогу точно ідентифікувати місце збору кожного показника вологості та спростити аналіз просторових закономірностей (рис. 4.8).

Завдяки формалізованому опису елементів даних забезпечується уніфікованість доступу до інформації, що критично важливо при масштабуванні системи. Це також полегшує перехід до етапу фізичної реалізації, де модель трансформується у конкретні команди та структури СУБД.

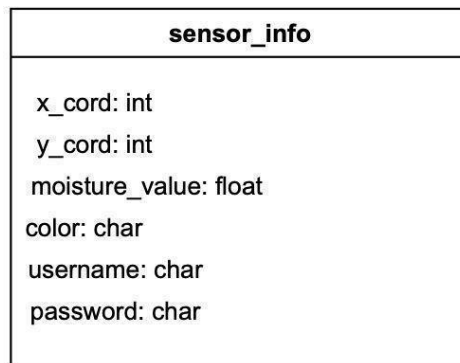


Рис. 4.8. Логічна модель бази даних

Тип даних "int" використовується для представлення цілих чисел у базі даних і може бути використаний для створення стовпців (полів) у таблицях бази даних, де числові значення будуть зберігатись у цілочисельному форматі. Атрибут moisture_value є числовим значенням, яке використовується для представлення рівня вологості на конкретній ділянці поля. Він використовує тип даних "float", що дозволяє зберігати значення з десятковою точністю.

Тип даних "float" є одним з числових типів даних, який використовується для представлення чисел з плаваючою комою. Числа з плаваючою комою використовуються для зберігання та обробки дійсних чисел, які можуть мати десяткову точність та можуть бути дуже великими або дуже малими.

Атрибут color відображає колір ділянки поля, в залежності від рівня вологості. Він представляється у форматі char. Char відноситься до типу даних, який використовується для зберігання символічних рядків фіксованої довжини. Кожен символ в полі char займає фіксовану кількість байтів, незалежно від того, скільки фактично використовується символів у рядку.

Атрибут username представляє собою ім'я користувача, використовує тип даних char.

Атрибут password також використовує тип даних char і використовується для зберігання паролів користувачів.

Завершальним етапом є фізичне проектування бази даних, у межах якого визначається конкретна реалізація таблиць, ключів, типів даних, індексів та

інших технічних характеристик зберігання. Фізична модель враховує деталі реалізації в обраній СУБД і визначає, як дані будуть фізично зберігатися на носіях інформації. Важливим елементом фізичного проектування є визначення первинного ключа, який гарантує унікальність кожного запису в таблицях. Зовнішні ключі використовуються для встановлення зв'язків між сутностями, що забезпечує структуровану побудову відносин та дотримання цілісності даних. Крім цього, фізична модель дозволяє реалізувати обмеження, необхідні для масштабування та оптимізації запитів (рис. 4.9).

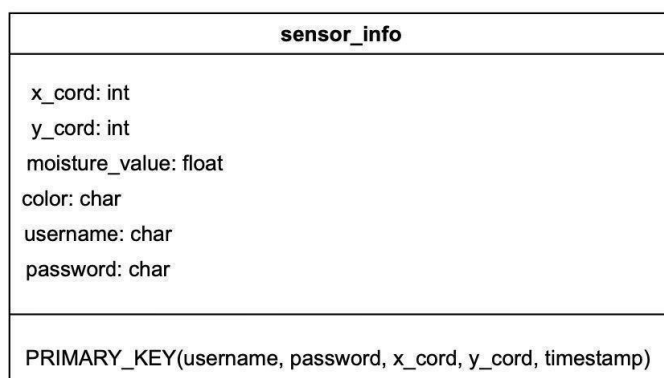


Рис. 4.9. Фізична модель бази даних

Таким чином, узгоджене проектування концептуальної, логічної та фізичної моделей бази даних дозволяє створити ефективну, гнучку та масштабовану систему зберігання даних для автоматизованого моніторингу вологості ґрунтів. Кожен рівень моделювання відіграє свою роль у забезпеченні структурованості, узгодженості та функціональної цілісності даних у системі [39].

4.4 Розробка апаратної частини системи

Апаратна частина розроблюваної системи була реалізована з використанням віртуального середовища Tinkercad Arduino, яке є інтерактивною веб-платформою для моделювання електронних схем. Це середовище дає змогу створювати цифрові прототипи пристроїв, що

базуються на мікроконтролерах, виконувати програмування та тестування роботи компонентів у симуляційному режимі [40].

Зважаючи на те, що середовище Tinkercad не підтримує мікроконтролер ESP8266, для створення аналогової візуалізації функціоналу було застосовано мікроконтролер Arduino Uno. У якості засобу виведення інформації використано LCD-модуль з інтерфейсом i2c, що дозволяє передавати дані до дисплея з мінімальною кількістю з'єднань. Таким чином, побудована схема адекватно демонструє логіку взаємодії між елементами апаратної частини системи, навіть попри використання емульованих компонентів (рис. 4.10).

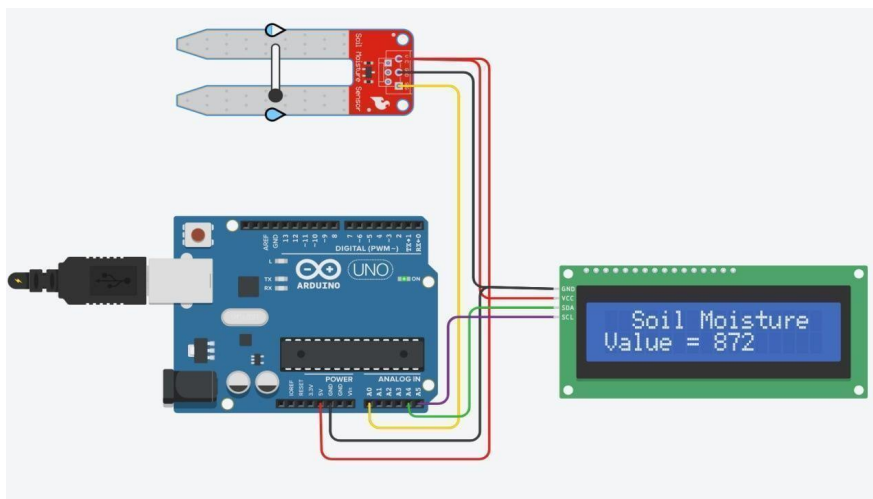


Рис. 4.10. Апаратна частина

До складу апаратної моделі увійшли такі основні компоненти: мікроконтролер Arduino Uno, який виконує функції зчитування та обробки даних; датчик вологості ґрунту, що визначає рівень вологості на основі електричної провідності ґрунту; а також LCD-модуль з інтерфейсом i2c, який забезпечує зручне відображення даних на екрані. Сам датчик містить два металеві контакти, які занурюються в ґрунт, і на основі отриманого опору система визначає вологість.

Принцип роботи апаратної частини полягає в наступному. Датчик, під'єднаний до аналогового входу Arduino, передає значення рівня вологості ґрунту. Програмний код, що виконується на контролері, обробляє ці дані,

приводячи їх до зручного для користувача формату. Після цього через інтерфейс i2c оброблені значення передаються на LCD-дисплей, де виводяться у вигляді числових показників або іншої візуальної інформації.

Завдяки моделюванню у середовищі Tinkercad вдалося протестувати логіку взаємодії між елементами системи ще до її фізичної реалізації, що є важливим етапом під час проєктування IoT-рішень, орієнтованих на аграрну сферу. Отримані результати дозволили переконатися у правильності вибраної структури апаратної частини системи та її здатності забезпечити надійне зчитування та виведення показників вологості ґрунту.

4.5 Розробка програмної частини системи

Програмна частина автоматизованої системи відіграє ключову роль у забезпеченні обробки, збереження та подальшої візуалізації даних, що надходять від сенсорного обладнання. Центральним елементом цієї частини є веб-сервер, який забезпечує комунікацію між сенсорами, базою даних та інтерфейсом користувача.

У процесі функціонування системи, коли сенсори, розташовані на різних ділянках поля, зчитують інформацію про рівень вологості ґрунту, ці дані надсилаються безпосередньо на сервер. Веб-сервер, отримуючи ці значення, автоматично присвоює їм часову мітку, яка фіксує точний момент надходження кожного показника. Після цього інформація структурується і записується до бази даних для подальшого зберігання та обробки. Таким чином, серверна частина виконує роль посередника між фізичними вимірюваннями та цифровим представленням даних.

На клієнтському рівні реалізовано інтерфейс взаємодії з користувачем, що дозволяє здійснювати керування системою у зручній формі. При першому вході до системи користувач проходить ідентифікацію через форму авторизації, яка забезпечує контроль доступу до функціоналу системи. Після успішного входу на екран виводиться карта поля з розміченими секторами, на

яких відображається актуальний рівень вологості. Інтерфейс надає можливість аналізувати динаміку змін вологи за обраний період часу, що дає змогу виявити тенденції або аномалії в показниках (рис. 4.11).

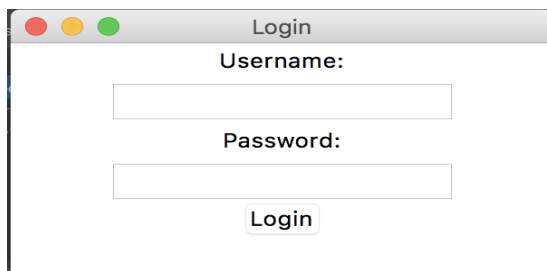


Рис. 4.11. Форма авторизації

Окрім перегляду даних, користувач має змогу здійснювати повноцінне віддалене керування системою зрошення безпосередньо через інтерфейс. Для цього в інтерфейсі реалізовано функціонал вибору окремих секторів поля, які потребують поливу, що дає змогу оперативно реагувати на зміни стану ґрунту. Користувач може позначити необхідні ділянки за допомогою інтерактивної карти або таблиці, після чого достатньо натиснути кнопку «Water selected sectors», щоб ініціювати запуск відповідних процедур. Після активації команда надсилається системою на виконавчі пристрої, які починають процес зрошення у визначених зонах без додаткової участі людини. Такий підхід підвищує точність та ефективність управління ресурсами, особливо в умовах великомасштабного виробництва (рис. 4.12).

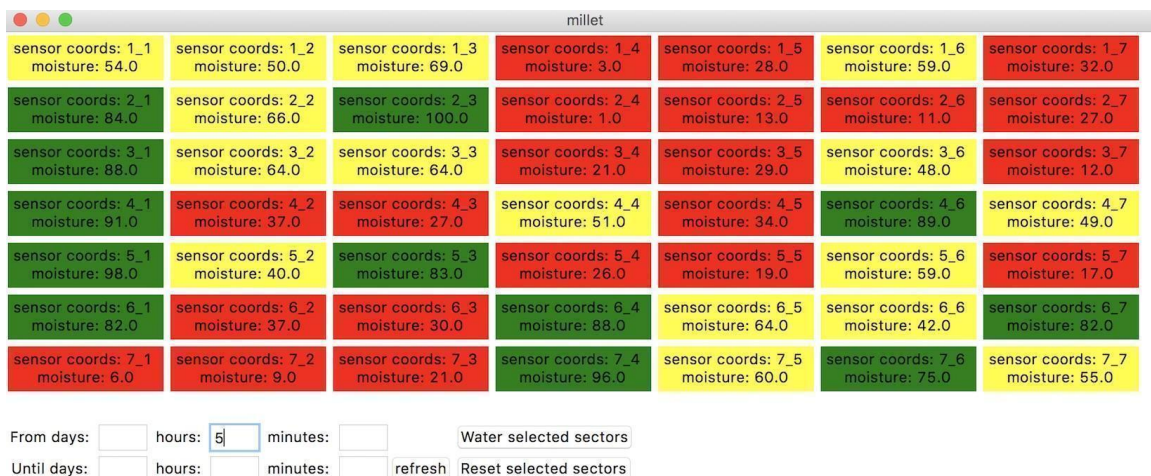


Рис. 4.12. Користувацький інтерфейс

Реалізація цієї програмної частини дозволяє забезпечити повний цикл: від збору даних до керування аграрним процесом, що суттєво підвищує ефективність роботи з вологою ґрунту та сприяє оптимізації використання водних ресурсів.

4.6 Розробка бази даних для зберігання інформації про стан зернових посівів

Для забезпечення збереження результатів моніторингу вологості ґрунтів у межах розробленої системи була створена реляційна база даних, яка реалізована із використанням засобів SQLite. Ця технологія була обрана завдяки своїй легкості, простоті розгортання та можливості інтеграції в ресурсно обмежене середовище, що особливо актуально для IoT-проектів. SQLite не потребує налаштування зовнішнього серверного середовища, що дозволяє використовувати її в автономних рішеннях, зокрема на вбудованих пристроях або під час створення прототипів. Такий підхід значно спрощує розгортання системи, мінімізує витрати на інфраструктуру та забезпечує швидкий доступ до даних у реальному часі (рис. 4.13).

x_cord	y_cord	moisture_...	color	username	password	timestamp
5	7	78.0	green	barley	barley1	2023-06-09 04:22:09...
6	7	34.0	red	barley	barley1	2023-06-09 04:22:09...
7	7	28.0	red	barley	barley1	2023-06-09 04:22:09...
8	7	72.0	green	barley	barley1	2023-06-09 04:22:09...
9	7	29.0	red	barley	barley1	2023-06-09 04:22:09...
10	7	24.0	red	barley	barley1	2023-06-09 04:22:09...
1	8	11.0	red	barley	barley1	2023-06-09 04:22:09...
2	8	81.0	green	barley	barley1	2023-06-09 04:22:09...
3	8	14.0	red	barley	barley1	2023-06-09 04:22:09...
4	8	98.0	green	barley	barley1	2023-06-09 04:22:09...

Рис. 4.13. База даних

Ініціалізація бази даних виконується у межах спеціального методу `init_database`, де спочатку створюється підключення до локального файлу бази. Якщо файл ще не існує у файловій системі, система автоматично створює

новий об'єкт бази. Для подальшої роботи із запитами використовується курсор, який забезпечує виконання SQL-команд.

У структурі бази даних визначено таблицю `sensor_data`, яка містить усю необхідну інформацію про параметри датчиків та користувачів. Таблиця включає наступні поля: `x_cord` (цілочисельний тип, що вказує координату розміщення датчика по осі X), `y_cord` (координата по осі Y), `moisture_value` (реальне число, що відображає значення вологості), `color` (текстовий ідентифікатор, що використовується для візуалізації стану вологості на мапі), `username` (символьний рядок, що ідентифікує користувача), `password` (текстове поле для збереження паролю користувача), а також `timestamp` (мітка часу, що відображає момент запису даних до бази).

Створення таблиці виконується за допомогою SQL-команди `CREATE TABLE IF NOT EXISTS`, яка дозволяє уникнути дублювання структури в разі повторного запуску ініціалізації. Після виконання цієї команди застосовується метод `commit()` для збереження змін у файлі бази даних. Для перевірки виконання операцій можуть виводитися відповідні результати через команду `fetchall()`. Після завершення роботи усі відкриті з'єднання закриваються функцією `close()`.

Таким чином, реалізована структура бази даних забезпечує зберігання повного набору інформації, необхідної для роботи автоматизованої системи моніторингу, включаючи просторові координати, значення вологості, а також інформацію про користувача. Це дає змогу не лише накопичувати історичні дані, а й ефективно керувати доступом до них у рамках клієнт-серверної архітектури системи.

ВИСНОВКИ

Проведене дослідження в межах магістерської кваліфікаційної роботи, присвячене розробці та управлінню проектом створення автоматизованої системи контролю рівня вологості ґрунтів, є актуальним і значущим в умовах цифровізації аграрного виробництва та зростання потреби в ефективному використанні природних ресурсів. Впровадження IoT-технологій у сільське господарство є ключовим напрямом для підвищення врожайності, оптимізації поливних систем та зниження впливу людського чинника на прийняття рішень.

Аналіз предметної галузі дав змогу виявити ключові проблеми, пов'язані з неефективним контролем вологості ґрунтів, а також оцінити потенціал сучасних інформаційних технологій у вирішенні цих проблем. Розгляд існуючих систем моніторингу дозволив зрозуміти функціональні обмеження поточних рішень і визначити можливості для створення більш ефективного продукту. Вибір програмного та апаратного забезпечення був здійснений з урахуванням реальних умов експлуатації, доступності компонентів та потреб аграрного сектора.

Формулювання місії, цілей і технічного завдання надало чітке бачення очікуваного результату. SWOT-аналіз і побудова дерева рішень дозволили глибше структурувати проблематику проекту та запропонувати логічну траєкторію його реалізації. У ході роботи було розроблено концептуальну модель інформаційної системи та побудовано математичну модель процесу впровадження, що забезпечує наукове обґрунтування та практичну доцільність реалізованого підходу.

Організаційна структура, вибір каскадної моделі (Waterfall) як основної методології управління, побудова WBS-структури, формування контрольних віх і ресурсне планування дали змогу здійснити повноцінне управління проектом на всіх його етапах. Реалізація діаграми Ганта в середовищі

ProjectLibre забезпечила візуалізацію часових рамок і ресурсного навантаження, що є критично важливим для моніторингу виконання робіт.

У межах практичної частини було розроблено архітектуру автоматизованої системи, створено алгоритми обробки даних, реалізовано апаратну частину за допомогою Arduino Uno, а також розроблено інтерфейс користувача і серверну логіку. Побудовані концептуальна, логічна та фізична моделі бази даних забезпечують ефективне збереження та обробку інформації.

Управління ризиками та аналіз потенційних загроз надали можливість сформуванню механізмів попередження та мінімізації негативних впливів, що підвищує надійність проекту. Аналіз результатів проекту засвідчує відповідність розробленої системи поставленим вимогам і довіряє доцільність впровадження подібних технологічних рішень в аграрній сфері.

Таким чином, дослідження підтвердило, що впровадження автоматизованих IoT-рішень у галузі агровиробництва сприяє ефективному управлінню природними ресурсами, підвищенню продуктивності й сталому розвитку сільського господарства. Результати роботи можуть бути використані для подальшого вдосконалення інтелектуальних систем контролю навколишнього середовища в інших галузях економіки.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ

1. M. Vahidi, S. Shafian, and W. H. Frame, “Precision Soil Moisture Monitoring Through Drone-Based Hyperspectral Imaging and PCA-Driven Machine Learning,” *Sensors*, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/s2503078>
2. П. Польовий, “Вплив обробітку ґрунту на вміст доступної вологи та продуктивність кукурудзи,” 2018. – Режим доступу: <https://www.agronom.com.ua/vplyv-obrobitku-gruntu-na-vmist-dostupnoyi-vology-ta-produktyvnist-kukurudzy/>
3. “Ерозія ґрунту: причини, види, як боротися,” (n.d.). – Режим доступу: <https://agroapp.com.ua/uk/blog/eroziya-%D2%91runtu-prichini-vidi-yak-borotisya/>
4. “An IoT Sensor for Real-Time NPK Analysis Developed by Teralytic,” (n.d.). – Режим доступу: <https://propozitsiya.com/ua/sozdan-iot-datchyk-dlya-analyza-npk-v-ot-realnom-vremeny-ot-teralytic>
5. “Soil Moisture Sensors in Agriculture,” 2019. – Режим доступу: <https://www.agritechtomorrow.com/article/2019/07/soil-moisture-sensors-in-agriculture/11534/>
6. “CropX Acquires EnGeniousAg for Breakthrough Nitrogen Sensing Technology,” 2023. – Режим доступу: <https://www.econdev.iastate.edu/news-events/featured-news/?cropx-acquires-engeniousag-for-breakthrough-nitrogen-sensing-technology=1736>
7. “CropX: The Digital Agronomic Farm Management System,” (n.d.). – Режим доступу: <https://cropx.com>
8. “Drill & Drop™,” (n.d.). – Режим доступу: <https://sentektechnologies.com/products/soil-data-probes/drill-drop/>
9. “IrriMAX™ Live,” (n.d.). <https://sentektechnologies.com/products/irrigation-decision-aiding-software/irrimax-live/>
10. В. В. Морозов і І. І. Пекневич, “Управління проектом створення інформаційної системи прогнозування попиту,” Управління проектами

- у розвитку суспільства, КНУБА, 2023, Вип. XXXI, 179–181.
https://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/Upravlinnya_proektami_u_rozvitku_suspilstvaa_XXI.pdf
- 11.С. Д. Бушуєв, Д. А. Бушуєв, Н. С. Бушуєва і Б. Ю. Козир, “Інформаційні технології розвитку компетенцій менеджерів з управління проєктами на основі глобальних трендів,” Інформаційні технології і засоби навчання, 2018, Т. 68, № 6, 218–234. http://nbuv.gov.ua/UJRN/ITZN_2018_68_6_19
- 12.С. Д. Бушуєв, Н. С. Бушуєва і Д. В. Язиков, “Менеджмент проєктів розвитку аграрного сектору на принципах циркулярної економіки,” Управління розвитком складних систем, 2022, Вип. 52, 21–27. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Urss_2022_52_5
- 13.Зюсюн В.І. Методи та моделі управління екологічними ризиками в проєктах розвитку транспорту: дис. канд. техн. наук: 05.13.22 / Нац. трансп. ун-т. – Київ, 2017. – 202 с. https://www.researchgate.net/publication/368987802_Metodi_ta_modeli_upravlinna_ekologicnimi_rizikami_v_proektah_rozvitku_transportu_Disertacia
- 14.“IoT in agriculture sustainability: Driving eco-friendly and yield-enhancing farming practices,” 2024. – Режим доступу: <https://www.ignitec.com/insights/iot-in-agriculture-sustainability-driving-eco-friendly-and-yield-enhancing-farming-practices/>
- 15.E. Navarro, N. Costa, A. Pereira, “Systematic Review of IoT Solutions for Smart Farming,” Sensors (Basel), 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/s20154231>
- 16.“IoT in Agriculture: 9 Technology Use Cases for Smart Farming (and Challenges to Consider),” 2024. – Режим доступу: <https://easternpeak.com/blog/iot-in-agriculture-technology-use-cases-for-smart-farming-and-challenges-to-consider/>
- 17.Офіційний сайт Python. – Режим доступу: <https://www.python.org/>
- 18.SQL Database. – Режим доступу: <https://learnsql.com/blog/sql-database/>
- 19.Офіційний сайт SQLite. – Режим доступу:

- <https://www.sqlite.org/index.html>
20. Характеристики FC-28. – Режим доступу:
<https://electronica.in.ua/ua/p1530387490-modul-gigrometra-dlya.html>
21. Характеристика ESP8266.– Режим доступу:
<https://www.espressif.com/en/products/socs/esp8266>
22. Аблєєва І. Ю. SWOT-аналіз як сучасна технологія стратегічного планування соціально-економічного розвитку території // Економіка та суспільство. – 2023. – № 51. – С. 128–132. DOI:
<https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-51-21>
23. Mandrazhi Z. SWOT - Analysis as the Main Tool of Strategic Management of Agricultural Enterprise // SHS Web of Conferences, 2021. – Vol. 110. – Article 04001. DOI: <https://doi.org/10.1051/shsconf/202111004001>
24. Моделі життєвого циклу, принципи і методології розробки програмного забезпечення (ПЗ). – Режим доступу:
<https://evergreens.com.ua/uk/articles/software-development-life-cycle-models-methods-and-principles>
25. Neellohit Burghate. Work Breakdown Structure: Simplifying Project Management. International Journal of Commerce and Management Studies. – Vol. 3, No. 2. – June 2018. – Режим доступу: <https://www.ijcams.com/wp-content/uploads/2018/06/WBS.pdf>
26. Thiry, M. Controlling a Multibillion Project Portfolio – Milestones as Key Performance Indicator for Project Portfolio Management [Електронний ресурс] / Michel Thiry // ResearchGate, 2016. – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/305718466_Controlling_a_Multibillion_Project_Portfolio_-_Milestones_as_Key_Performance_Indicator_for_Project_Portfolio_Management
27. What are Project Milestones and Why Is It Important? [Електронний ресурс] // Saviom Blog, 2024. – Режим доступу:

https://www.saviom.com/blog/what-are-project-milestones-and-why-is-it-important/?utm_source=chatgpt.com

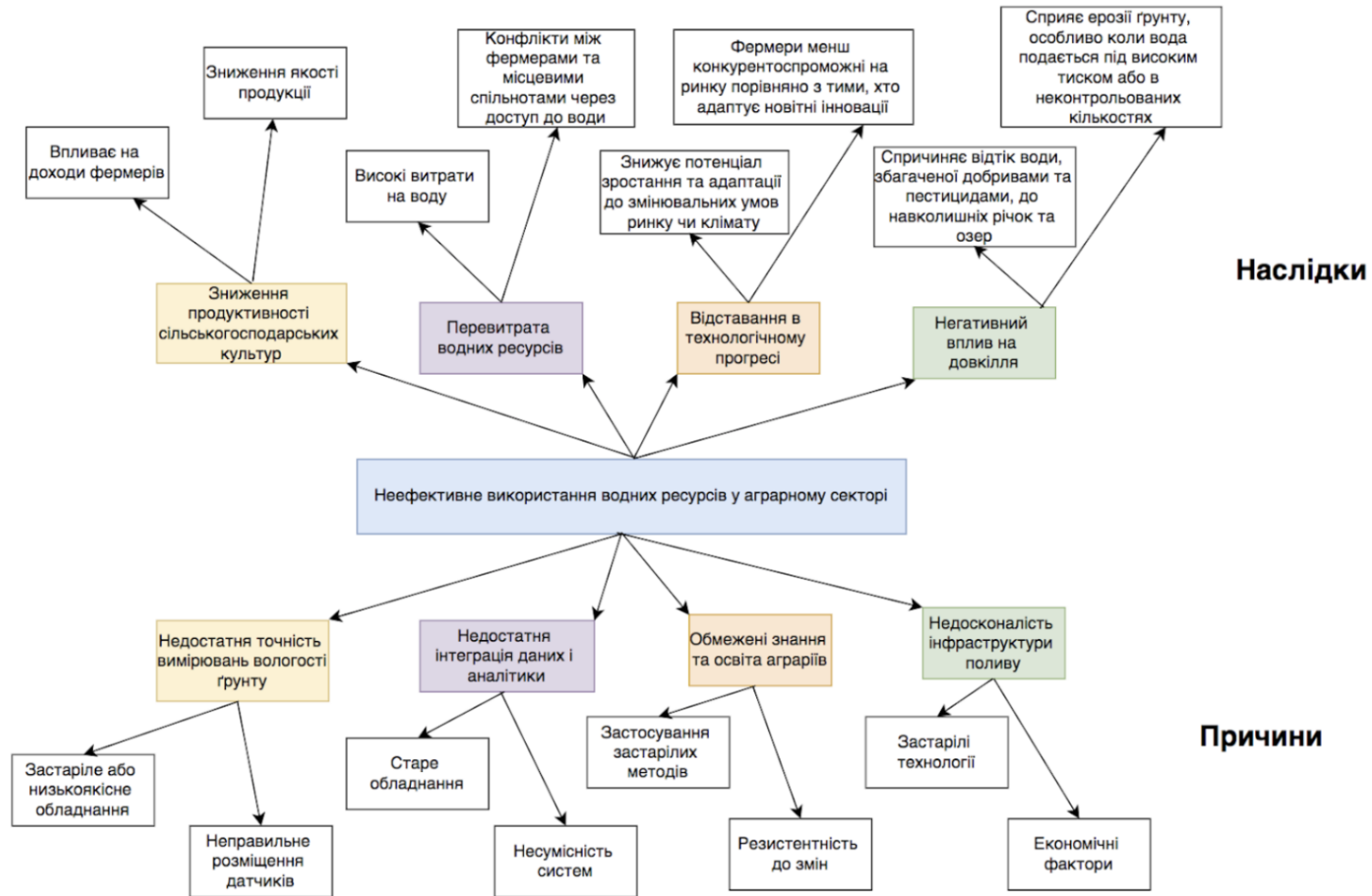
28. Milestone planning — a different planning approach. — Режим доступу: <https://www.pmi.org/learning/library/milestone-different-planning-approach-7635>
29. Що таке РМВОК для проєктного менеджера? — Режим доступу: <https://qagroup.com.ua/publications/shcho-take-pmbok-dlya-proektnoho-menedzhera>
30. Md Sum R., Leppälä K. Management of Agricultural Production Risk in Malaysia [Електронний ресурс] // Proceedings of the International Research Conference on Multidisciplinary in Social Sciences and Technology (IRCMST 2019). — Режим доступу: https://www.researchgate.net/profile/Rabihah-Mdsum/publication/333160349_MANAGEMENT_OF_AGRICULTURAL_PRODUCTION_RISK_IN_MALAYSIA/links/5cde14b4a6fdccc9ddb5571d/MANAGEMENT-OF-AGRICULTURAL-PRODUCTION-RISK-IN-MALAYSIA.pdf
31. Alemayehu T. A. Assessment of Project Risk Management Practice on Agricultural Projects Financed by Development Bank of Ethiopia [Електронний ресурс] // Academia.edu. — 2021. — Режим доступу: https://www.academia.edu/72369153/Assessment_of_project_Risk_Management_Practice_on_Agricultural_Projects_Financed_by_Development_Bank_of_Ethiopia
32. Руденко С., Гіржева О., Рижикова Н., Накисько О. Ризик-менеджмент у системі антикризового стратегічного управління аграрних підприємств // Modeling the Development of the Economic Systems. — 2023. — №9. — С. 155–164. — Режим доступу: <https://mdes.khmnmu.edu.ua/index.php/mdes/article/download/219/208/514>

- 33.Шкарлет С. В., Литвиненко О. В., Шкарлет О. В. (2018). *Decision Making by the Analysis of Project Risks Based on the FMEA Method*. ResearchGate. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.2538871>
- 34.Крамар О. В., Крамар Н. В., Шкарлет О. В. (2022). Quantity Assessment of the Risk of Investment Projects. ResearchGate. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7125531>
- 35.Про бухгалтерський облік та фінансову звітність в Україні. Офіційний веб-портал парламенту України. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/996-14#Text>
- 36.Рентабельність операційної та всієї діяльності підприємств за видами економічної діяльності з розподілом на великі, середні, малі та мікропідприємства за 2010-2023 роки. Державна служба статистики України. – Режим доступу: https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2021/fin/fin_new/rodp_ek_vsm_m_2010_2020_ue.xlsx
- 37.План рахунків бухгалтерського обліку. Бухолбк. – Режим доступу: <https://www.buhoblik.org.ua/uchet/organizacziya-buxgalterskogo-ucheta/388-plan-rahunkiv.html>
- 38.Unified Modeling Language. – Режим доступу: <https://tallyfy.com/uml-diagram/>
- 39.ThoughtSpot. “Conceptual vs Logical vs Physical Data Models”.– Режим доступу: <https://www.thoughtspot.com/data-trends/data-modeling/conceptual-vs-logical-vs-physical-data-models>
- 40.Tinkercad. – Режим доступу: <https://wikifizmat.udpu.edu.ua/index.php?title=Tinkercad>

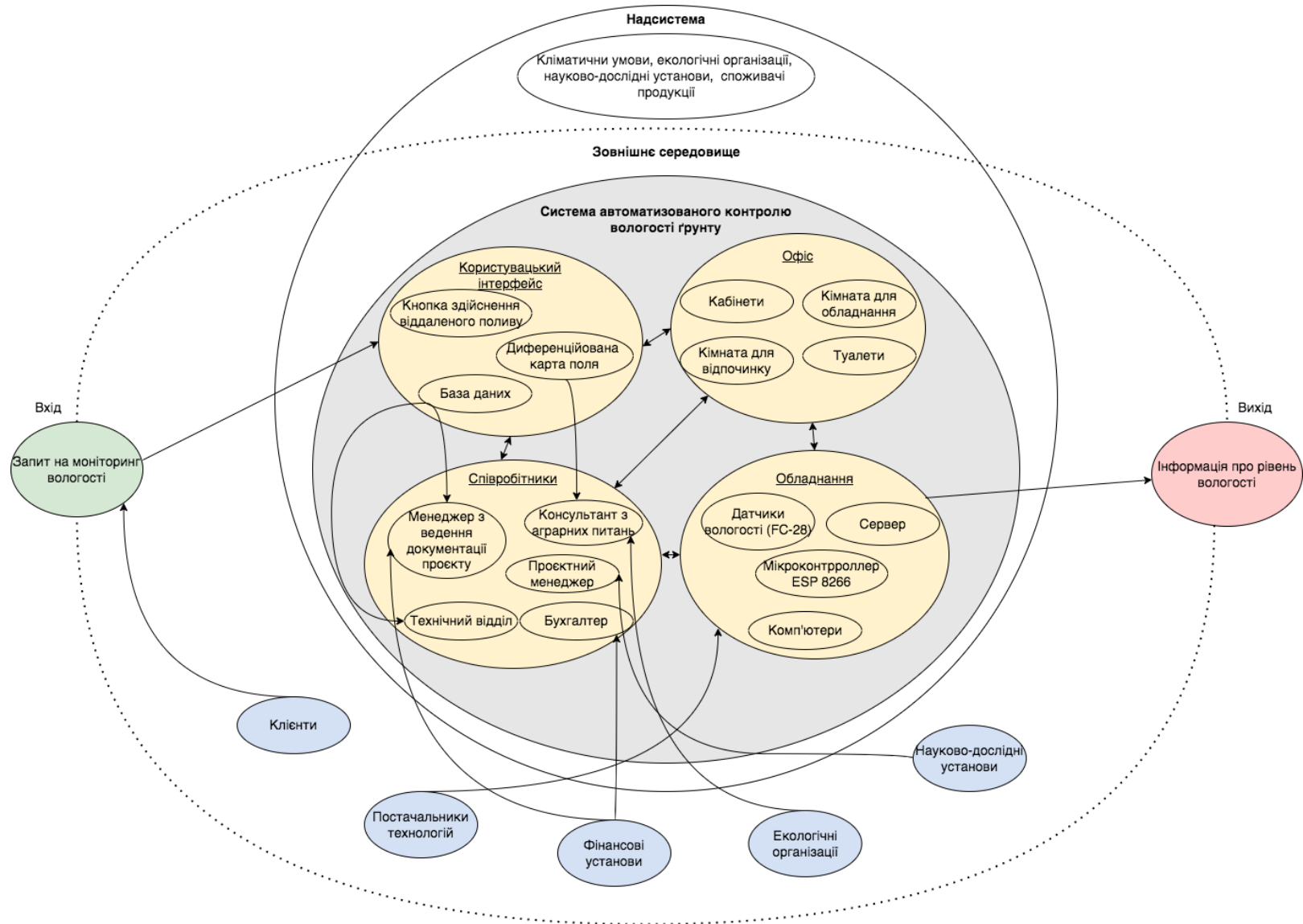
ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

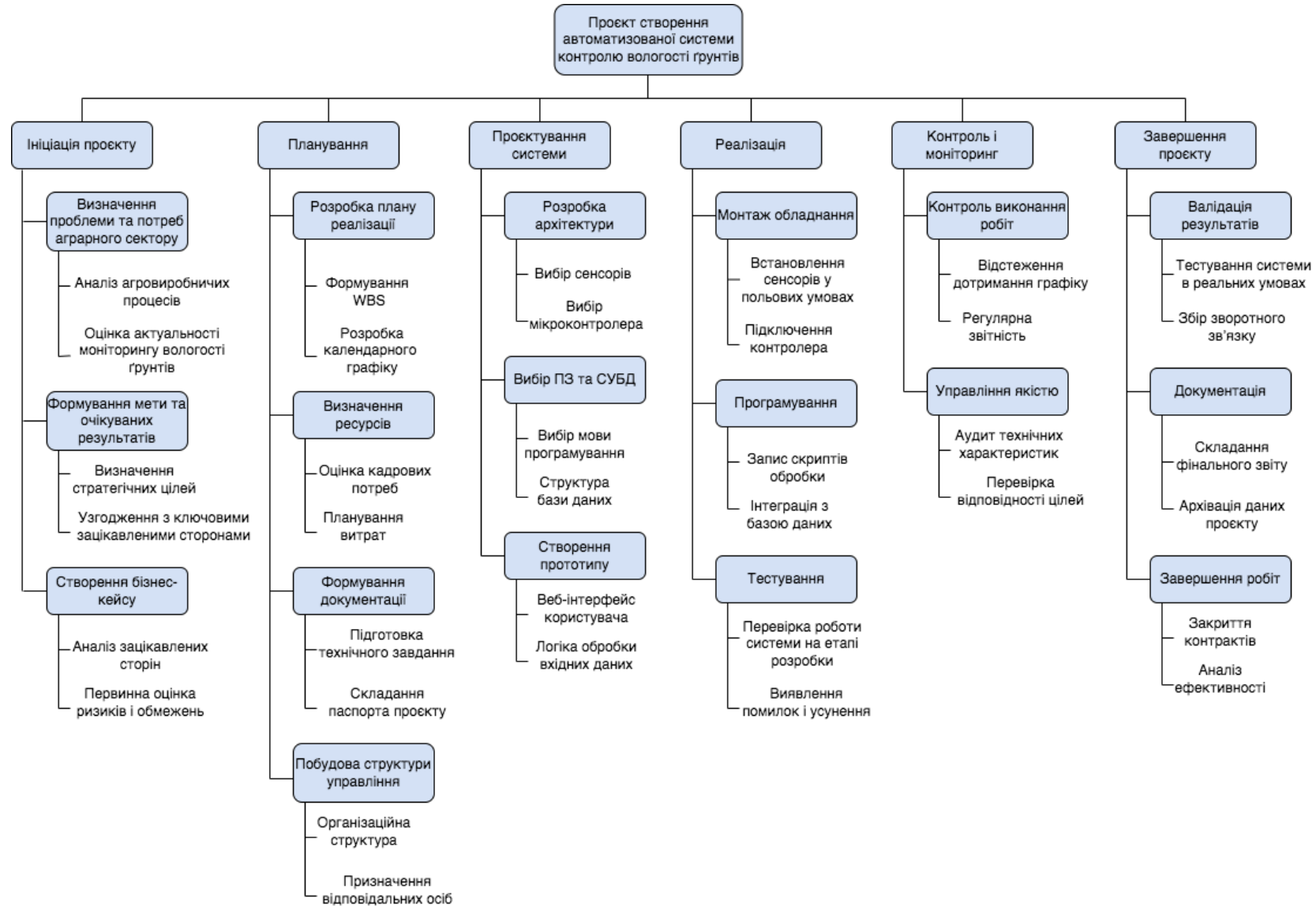
Дерево проблем






























Концептуальна модель проекту



WBS структура проєкту



Планування проєкту з використанням ProjectLibre

		Name	Duration	Start	Finish	Resource Names
1		Ініціація проєкту	5 days	4/7/25 8:00 A...	4/11/25 5:00 PM	
2		Аналіз потреб і проблематики	2 days	4/7/25 8:00 AM	4/8/25 5:00 PM	Аналітик;Консультант...
3		Формування цілей і результатів	1 day	4/9/25 8:00 AM	4/9/25 5:00 PM	Проектний менеджер...
4		Розробка паспорта проєкту	2 days	4/10/25 8:00...	4/11/25 5:00 PM	Менеджер з документ...
5		Завершення ініціації	0 days	4/11/25 8:00...	4/11/25 8:00 AM	
6		Планування	7 days	4/14/25 8:00 ...	4/22/25 5:00 PM	
7		Побудова WBS	2 days	4/14/25 8:00...	4/15/25 5:00 PM	Проектний менеджер
8		Визначення віх і етапів	1 day	4/16/25 8:00...	4/16/25 5:00 PM	Проектний менеджер
9		Складання технічного завдання	3 days	4/17/25 8:00...	4/21/25 5:00 PM	Аналітик;Менеджер з ...
10		Формування структури управління	1 day	4/22/25 8:00...	4/22/25 5:00 PM	Проектний менеджер
11		Завершення етапу планування	0 days	4/22/25 5:00...	4/22/25 5:00 PM	
12		Проектування системи	6 days	4/23/25 8:00 ...	4/30/25 5:00 PM	
13		Вибір апаратного забезпечення	2 days	4/23/25 8:00...	4/24/25 5:00 PM	Системний архітектор
14		Підготовка технічної документації	2 days	4/25/25 8:00...	4/28/25 5:00 PM	Розробник
15		Вибір програмного забезпечення	2 days	4/25/25 8:00...	4/28/25 5:00 PM	Системний архітекто...
16		Розробка архітектури	2 days	4/29/25 8:00...	4/30/25 5:00 PM	Системний архітектор
17		Завершення проектування системи	0 days	4/30/25 5:00...	4/30/25 5:00 PM	
18		Реалізація	7 days	5/1/25 8:00 A...	5/9/25 5:00 PM	
19		Монтаж обладнання	2 days	5/1/25 8:00 AM	5/2/25 5:00 PM	Розробник;Обладнання
20		Програмування	3 days	5/5/25 8:00 AM	5/7/25 5:00 PM	Розробник;Програмн...
21		Підготовка інструкції користувача	2 days	5/8/25 8:00 AM	5/9/25 5:00 PM	Розробник
22		Інтеграція та налаштування	2 days	5/8/25 8:00 AM	5/9/25 5:00 PM	Розробник
23		Завершення реалізації	0 days	5/9/25 5:00 PM	5/9/25 5:00 PM	
24		Тестування та впровадження	5 days	5/12/25 8:00 ...	5/16/25 5:00 PM	
25		Тестування в реальних умовах	3 days	5/12/25 8:00...	5/14/25 5:00 PM	Тестувальник;Консуль...
26		Аналіз і корекція	2 days	5/15/25 8:00...	5/16/25 5:00 PM	Тестувальник;Розробн...
27		Завершення тестування та впровадження	0 days	5/16/25 5:00...	5/16/25 5:00 PM	
28		Завершення проєкту	4 days	5/19/25 8:00 ...	5/22/25 5:00 PM	
29		Підготовка звітної документації	2 days	5/19/25 8:00...	5/20/25 5:00 PM	Менеджер з документ...
30		Презентація результатів	1 day	5/21/25 8:00...	5/21/25 5:00 PM	Проектний менеджер
31		Оцінка витрат проєкту	1 day	5/22/25 8:00...	5/22/25 5:00 PM	Бухгалтер;Проектний ...
32		Закриття проєкту	1 day	5/22/25 8:00...	5/22/25 5:00 PM	Проектний менеджер...
33		Завершення проєкту	0 days	5/22/25 5:00...	5/22/25 5:00 PM	



Name	Type	Standard Rate	Max. Units
Проектний менеджер	Work	500/hour	200%
Системний архітектор	Work	400/hour	100%
Аналітик	Work	600/hour	100%
Розробник	Work	550/hour	200%
Тестувальник	Work	450/hour	100%
Консультант з аграрних	Work	400/hour	100%
Менеджер з документів	Work	300/hour	100%
Бухгалтер	Work	350/hour	200%
Обладнання	Material	1,200	
Програмне забезпечення	Material	0	

Таблиця оцінювання ризикових подій

№	Ризикова подія	Затримки у часі		Фінансові втрати		Ймовірність		Частота (за проєкт)		Важливість ризиків
		ЯО	КО	ЯО	КО	ЯО	КО	ЯО	КО	
1	Несправність датчиків вологості	СВ	2	СВ	3	СВ	6	СВ	5	16
2	Екстремальні погодні умови	ВС	5	ВВ	7	ВС	8	ВС	6	26
3	Недостатня координація між командами	СВ	3	СВ	5	НС	3	СВ	4	15
4	Нестабільне підключення до мережі	СВ	3	СВ	6	СВ	5	СВ	5	19
5	Помилки в ПЗ при обробці даних	ВС	5	ВВ	7	СВ	6	СВ	4	22
6	Пошкодження датчиків через агрономічну діяльність	НС	2	СВ	3	ВС	8	ВС	6	19
7	Загроза кібербезпеці	ВВ	7	ВВ	8	НС	3	НС	2	20
8	Затримка постачання компонентів	СВ	3	СВ	5	СВ	6	СВ	5	19

9	Зміни у законодавстві щодо цифрового агросектору	CB	3	CB	5	HC	2	HC	2	6
10	Низький рівень цифрової грамотності користувачів	CB	2	HC	3	BC	8	BC	6	19
11	Відмова серверного або хмарного середовища	BC	5	BB	10	CB	6	CB	5	25
12	Відсутність зворотного зв'язку від користувачів	CB	2	HC	2	CB	5	CB	5	14
13	Несумісність з існуючим обладнанням на підприємстві	CB	4	CB	6	CB	6	CB	4	24
14	Відмова оновлення програмного забезпечення	CB	3	BB	7	CB	5	CB	5	22

Опис класів UML-діаграми:

Клас Field: Цей клас представляє поле і має наступні атрибути: length: довжина поля (ціле число).

width: ширина поля (ціле число). sensor_radius: радіус сенсора (ціле число).

number_of_rows: кількість рядків на полі (ціле число). number_of_column: кількість стовпців на полі (ціле число). sensor_list: список сенсорів на полі.

Клас має такі методи:

__init__(length: int, width: int, sensor_radius: int): конструктор, який ініціалізує атрибути класу.

create_list(): list: метод, який створює список сенсорів на полі.

get_moisture_map(sensor_cords: str, start_time_delta_dict: dict, end_time_delta_dict: dict, username: str, password: str): float: метод, який отримує середнє значення вологості для заданого сенсора протягом певного часового інтервалу.

water_sectors(coord_list: list): метод, який визначає сектори для поливу на основі списку координат.

Клас datetime: Цей клас представляє функціональність для роботи з датою і часом. Він має два методи:

now(): метод, який повертає поточну дату і час.

timedelta(days: int, hours: int, minutes: int): метод, який створює інтервал часу на основі заданих днів, годин і хвилин.

Клас sqlite3: Цей клас представляє функціональність для роботи з базою даних SQLite. Він має метод connect(database: str), який створює з'єднання з базою даних і повертає об'єкт Connection.

Клас Connection: Цей клас представляє з'єднання з базою даних SQLite. Він має метод cursor(), який повертає об'єкт Cursor для виконання запитів до бази даних.

Клас Cursor:

Цей клас представляє курсор для виконання запитів до бази даних. Він має методи execute(sql: str) для виконання SQL-запитів і fetchall() для отримання

результатів запиту.

У діаграмі зображені зв'язки між класами: Клас Field залежить від класів datetime і sqlite3. Клас sqlite3 залежить від класу Connection.

Клас Connection залежить від класу Cursor.

Опис атрибутів бази даних:

Тип даних "int" використовується для представлення цілих чисел у базі даних і може бути використаний для створення стовпців (полів) у таблицях бази даних, де числові значення будуть зберігатись у цілочисельному форматі. Атрибут `moisture_value` є числовим значенням, яке використовується для представлення рівня вологості на конкретній ділянці поля. Він використовує тип даних "float", що дозволяє зберігати значення з десятковою точністю.

Тип даних "float" є одним з числових типів даних, який використовується для представлення чисел з плаваючою комою. Числа з плаваючою комою використовуються для зберігання та обробки дійсних чисел, які можуть мати десяткову точність та можуть бути дуже великими або дуже малими.

Атрибут `color` відображає колір ділянки поля, в залежності від рівня вологості. Він представляється у форматі `char`. `Char` відноситься до типу даних, який використовується для зберігання символічних рядків фіксованої довжини. Кожен символ в полі `char` займає фіксовану кількість байтів, незалежно від того, скільки фактично використовується символів у рядку.

Атрибут `username` представляє собою ім'я користувача, використовує тип даних `char`.

Атрибут `password` також використовує тип даних `char` і використовується для зберігання паролів користувачів.

Лістинг коду:

```
import time
import requests
ssid = "ваш_SSID_роутера"
password = "ваш_пароль_роутера"
server_address = "адрес_вашего_сервера"
soil_moisture_pin = 0
x_cord = 1
y_cord = 1
def get_soil_moisture():
    response =
requests.get(f"http://localhost:5000/soil_moisture/{soil_moisture_pin}
") if response.status_code == 200:
    return response.json().get("soil_moisture")
    return None
print("Connecting to Wi-Fi...")
while True:
    try:
        response = requests.get(f"http://localhost:5000/wifi/{ssid}/{password}") if
response.status_code == 200:
            print("Connected to Wi-Fi")
            break
    except:
        pass
        time.sleep(1)
while True:
    soil_moisture = get_soil_moisture()
    if soil_moisture is not None:
        data = {
            "moisture_value": soil_moisture,
```

```

        "x_cord": x_cord,
        "y_cord": y_cord
    }
    response = requests.post(f"http://{server_address}/api/data", data=data) if
response.status_code == 200:
    print("Data sent to server")
else:
    print("Connection to server failed")
    time.sleep(10)

import datetime
import json
import random
import time
import sqlite3

class Field:
    def __init__(self, length, width, sensor_radius):
        self.length = length
        self.width = width
        self.sensor_radius = sensor_radius
        sensor_diameter = sensor_radius * 2
        if length % sensor_diameter == 0:
            self.number_of_rows = length // sensor_diameter
        else
            self.number_of_rows = length // sensor_diameter + 1
        if width % sensor_diameter == 0:
            self.number_of_column = width // sensor_diameter
        else:
            self.number_of_column = width // sensor_diameter + 1
        self.sensor_list = self.create_list()
    def create_list(self):

```

```

sensor_list = [[] for row in range(self.number_of_rows) ]
for row in range(self.number_of_rows):
for column in range(self.number_of_column):
sensor_list[row].append(f" {row+1} _ {column+1} ")
return sensor_list

def get_moisture_map(self, sensor_cords,
start_time_delta_dict, end_time_delta_dict, username,
password):
sqliteConnection = sqlite3.connect('sql.db')
cursor = sqliteConnection.cursor()
from_time = datetime.datetime.now() -
datetime.timedelta(days=start_time_delta_dict["days"],
hours=start_time_delta_dict["hours"],
minutes=start_time_delta_dict["minutes"]) until_time =
datetime.datetime.now() -
datetime.timedelta(days=end_time_delta_dict["days"],
hours=end_time_delta_dict["hours"],
minutes=end_time_delta_dict["minutes"]) sensor_cord_x, sensor_cord_y =
sensor_cords.split("_")

query = f"SELECT x_cord, y_cord, AVG(moisture_value), timestamp FROM
sensor_data" \
f" WHERE x_cord = {sensor_cord_x}" \
f" AND y_cord = {sensor_cord_y}" \
f" AND username = '{username}'" \
f" AND password = '{password}'" \
f" AND timestamp BETWEEN '{from_time}' AND '{until_time}'" row =
cursor.execute(query).fetchall()

sensor_avg_moisture = round(row[0][2],2) if row[0][2] != None else (-1)
return sensor_avg_moisture

def water_sectors(self, coord_list):
pass

```

```

#In metrs
FIELD_LENGTH = 40

FIELD_WIDTH = 40
FIELD_SENSOR_RADIUS = 3
# threshold levels for moisture to be equal or above these values, to color the
sector in the interface
INTERFACE_SECTOR_COLOR_RED = 0
INTERFACE_SECTOR_COLOR_YELLOW = 40
INTERFACE_SECTOR_COLOR_GREEN = 70
import json
import requests
import random
from my_credentials import username,password
number_of_sensors_in_row = 10
number_of_sensors_in_column = 10
moisture_value_range = [0, 100]
number_of_loops = 1
web_server_address = "http://localhost:8060"
def get_color(moisture_value):
    if moisture_value >= 0 and moisture_value < 40:
        return "red"
    elif moisture_value >= 40 and moisture_value <= 69:
        return "yellow"
    else:
        return "green"
for loop in range(number_of_loops):
    for row in range(number_of_sensors_in_row):
        for col in range(number_of_sensors_in_column):
            moisture_value = random.randint(moisture_value_range[0],
            moisture_value_range[1])
            color = get_color(moisture_value)

```

```

payload = {

"moisture_value": moisture_value,
"``python
"x_cord": col + 1,
"y_cord": row + 1,
"color": color,
"username": username,
"password": password
}
r = requests.post(
web_server_address,
data=json.dumps(payload)
)
print(f"Response: {r.text}\nAdded moisture value {payload['moisture_value']} on
coord {payload['x_cord']}, {payload['y_cord']}, color: {payload['color']},
username: {payload['username']}, password: {payload['password']}")
import random
import tkinter
from tkinter import messagebox
import classes
import configuration
class MainWindow:
...
def login_window(users):
def open_main_window(username, password):
users = {
"potato": "potato1",
"grain": "grain1",
# Add other users as needed
}
login_window(users)

```

```

def login_window(users):
def open_main_window(username, password):
users = {
    "potato": "potato1",
    "grain": "grain1",
    # Add other users as needed
}
login_window(users)
class FieldServer(HTTServer):
def __init__(self, *args, **kwargs):
super(FieldServer, self).__init__(*args, **kwargs)
self.init_database()
def init_database(self):
    sqliteConnection = sqlite3.connect('sql.db')
    self.cursor = sqliteConnection.cursor()
    self.cursor.execute("CREATE TABLE IF NOT EXISTS sensor_data("
"x_cord int,"
"y_cord int,"
"moisture_value float,"
"color char,"
"username char,"
"password char,"
"timestamp timestamp )"
)
    sqliteConnection.commit()
    result = self.cursor.fetchall()
    print(f"Table init result: {result}")
    sqliteConnection.close()
class MyServer(BaseHTTPRequestHandler):
def do_POST(self):

```

```

try:
content_len = int(self.headers.get('Content-Length'))
post_body = json.loads(self.rfile.read(content_len))
print(f"Request: {self.requestline}, \nData: {post_body}")
self.connect_to_database()
self.add_data_to_list(post_body)
self.successful_response()
except Exception as e:
print(f"During request handling error occurred {e}")
self.unsuccessful_response()
# self.add_data_to_list(post_body)
def successful_response(self):
self.send_response(200)
self.send_header("Content-type", "text/html")
self.end_headers()
self.wfile.write(bytes("Successful Response", "utf-8"))
def unsuccessful_response(self):
self.send_response(500)
self.send_header("Content-type", "text/html")
self.end_headers()
self.wfile.write(bytes("Unsuccessful Response", "utf-8"))
def connect_to_database(self):
self.sqliteConnection = sqlite3.connect('sql.db')
self.cursor = self.sqliteConnection.cursor()
def add_data_to_list(self, data):
print("DEBUG: ", data['color'])
insert_data = f" {data['x_cord']}, {data['y_cord']}, {data['moisture_value']},
\{data['color']}\, \{data['username']}\, \{data['password']}\,
\{datetime.datetime.now()}\\"
try:
self.cursor.execute(

```

```
f"INSERT INTO sensor_data (x_cord, y_cord, moisture_value, color,
username, password, timestamp) VALUES ({insert_data})"
self.sqliteConnection.commit()
    result = self.cursor.fetchone()
    print(f"Insert of values {insert_data} \n resulted with: {result}")
except sqlite3.Error as error:
    print(f"Durring insert of values: {insert_data} \nError occurred -
{error}") finally:
    self.sqliteConnection.close()
webServer = FieldServer((hostName, serverPort),
MyServer) print("Server started http://%s:%s" %
(hostName, serverPort)) try:
    webServer.serve_forever()
except KeyboardInterrupt:
    pass
webServer.server_close()
print("Server stopped.")
```