

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Навчально-науковий
інститут електроенергетики
(інститут)

Факультет інформаційних технологій
(факультет)
Кафедра інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії
(повна назва)

ПОЯСНОВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеня бакалавра

здобувача Атманзіна Олексія Андрійовича
(ПІБ)

академічної групи 123-22ск-1
(шифр)

спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія
(код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою Комп'ютерна інженерія
(офіційна назва)

на тему "IoT система мікроклімату теплиці агропідприємства"
(назва за наказом ректора)

| Керівники | Прізвище, ініціали | Оцінка за шкалою | | Підпис |
|------------------------|----------------------|------------------|---------------|--------|
| | | рейтинговою | інституційною | |
| кваліфікаційної роботи | проф. Олевський В.І. | | | |
| спеціального розділу | проф. Олевський В.І. | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| Рецензент | | | | |
| Нормоконтролер | проф. Цвіркун Л.І. | | | |

Дніпро
2025

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри
інформаційних технологій
та комп'ютерної інженерії
(повна назва)

Гнатушенко В.В.
(підпис) (прізвище, ініціали)

2025 року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеня бакалавр

здобувача Атманзіна О.А. академічної групи 123-22ск-1
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія

за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерна інженерія»
(офіційна назва)

на тему “ІоТ система мікроклімату теплиці агропідприємства”

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 5.05.2025 № 336-с

| Розділ | Зміст | Термін виконання |
|---|--|------------------|
| Стан питання і постановка завдання | На основі матеріалів виробничих практик, інших науково-технічних джерел показати актуальність завдання, сформулювати мету та задачі виконання кваліфікаційної роботи | 10.02.2025 |
| Розробка ІоТ-системи мікроклімату теплиці | Сформулювати найменування й призначення ІоТ-системи, висунути технічні вимоги до неї. Виконати технічне проектування апаратної частини ІоТ системи з необхідними інженерними розрахунками. | 15.04.2025 |
| Налаштування технології ІоТ | Розрахувати й розподілити адреси вузлів комп'ютерної системи. Виконати налаштування технології ІоТ | 27.05.2025 |

Завдання видано _____
(підпис керівника)

проф. Олевський В.І.
(прізвище, ініціали)

Дата видачі 25.01.2025

Дата подання до екзаменаційної комісії 10.06.2025

Прийнято до виконання _____

Атманзін О.А.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 74 с., 37 рис., 18 табл., 1 дод., 14 джерел.

GREENHOUSE, NB-IOT, МЕРЕЖА, СИСТЕМА, IOT

Об'єкт професійної діяльності – система розумної мінітеплиці в складі комп'ютерної системи агропідприємства «Зоряний сад».

Мета роботи – створення системи для підтримки оптимальних умов мікроклімату у мінітеплиці, зокрема: здійснення моніторингу параметрів мікроклімату у реальному часі й забезпечити можливість управління пристроєм через мобільний додаток.

Здійснено розробку системи розумної міні-теплиці з можливістю гнучкої зміни виду та набору виконуваних функцій шляхом редагування сценаріїв в хмарі IoT та програмного забезпечення рівня туманних обчислень. Система орієнтована на застосування в інфраструктурі агропідприємства «Зоряний сад», для збору, аналізу та використання вимірних даних для регулювання параметрів мікроклімату міні-теплиць для зручності агропідприємства.

Комп'ютерна система дозволяє здійснювати технічну і програмну модернізацію системи, а так само забезпечує виконання наступних функцій:

1. віддалений доступ до даних спостереження з розумних речей в на хмарній платформі;

2. керування розумними речами за сценаріями.

Предметом розробки є методи та пристрої вимірювання, автоматичного регулювання та передачі отриманих даних параметрів мікроклімату в мінітеплицях на віддалений сервер, а також впровадження IoT-технологій для створення інтегрованих систем автоматизації, що забезпечують стабільний і оптимальний мікроклімат у теплицях із мінімальними затратами ресурсів.

ЗМІСТ

| | | |
|---|--|----|
| | Перелік скорочень, умовних познач, символів, одиниць і термінів | 5 |
| | Вступ | 6 |
| 1 | Стан питання і постановка завдання | 8 |
| | 1.1 Актуальність задачі впровадження системи Smart Greenhouse..... | 8 |
| | 1.2 Характеристика, структура, особливості, умови роботи системи Smart Greenhouse..... | 15 |
| | 1.3 Огляд існуючих аналогів КС, технологій, архітектур та програмних рішень..... | 21 |
| | 1.4 Визначення можливих напрямків рішення поставлених завдань | 24 |
| | 1.5 Мета і задачі і роботи | 25 |
| 2 | Розробка IoT-системи мікроклімату теплиці агропідприємства... | 27 |
| | 2.1 Технічні вимоги до об'єкту професійної діяльності..... | 27 |
| | 2.1.1 Найменування і призначення об'єкту професійної діяльності..... | 27 |
| | 2.1.2 Вимоги до структури і функціонування Системи.... | 28 |
| | 2.1.3 Вимоги до способів і засобів зв'язку для інформаційного обміну між компонентами Системи..... | 29 |
| | 2.1.4 Вимоги до показників призначення..... | 31 |
| | 2.2 Розробка апаратної частини..... | 32 |
| | 2.2.1 Розробка схеми структурної обладнання | 32 |
| | 2.2.2 Розробка специфікації апаратних засобів IoT-системи | 36 |
| | 2.2.3 Розробка переліку вхідних та вихідних сигналів | 47 |
| | 2.2.4 Принципова схема..... | 48 |
| | 2.2.5 Реалізація програмного забезпечення..... | 53 |
| 3 | Налаштування технології IoT | 57 |
| | 3.1 Розрахунок схеми адресації мережі КС агропідприємства..... | 57 |
| | 3.2 Заходи налаштування функцій мережі агропідприємства «Зоряний сад»..... | 62 |
| | 3.3 Заходи налаштування функцій IoT-системи SmartGreenhouse | 68 |
| | Висновки | 72 |
| | Перелік посилань | 73 |
| | Додаток А. Текст програми | 75 |

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАК, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ І ТЕРМІНІВ

LED – світлодіодне освітлення;

PPFD – Photosynthetic Photon Flux Density;

IoT – Інтернет речей (англ. Internet of Things) ;

NB-IoT – Narrowband IoT;

LTE-M – технологія стільникового зв'язку для пристроївIoT;

LPWAN – (Low-Power Wide-Area Network);

МКА – мікроклімат теплиці агропідприємства;

ТД – точка доступу;

ТВ – телевимір;

ТС теле сигналізація;

ToF – Time-of-Flight

ВСТУП

В Україні наразі активно використовуються теплиці для культивування різноманітних сільськогосподарських культур, але більшість із них обладнані застарілими системами управління технологічними процесами, що зменшує їхню ефективність та енергоефективність [1]. Це обумовлює необхідність модернізації та впровадження сучасних технологій.

Процеси контролю тепло-вологісного режиму у промислових теплицях ускладнені через нестабільну поведінку множини внутрішніх і зовнішніх факторів: відмови обладнання та датчиків, збої у роботі програмного забезпечення, зміни кліматичних умов. Врахування динамічних характеристик окремих елементів і технологічних вузлів є складним завданням, яке потребує сучасних рішень для підвищення точності управління. В цьому контексті важливо впроваджувати інноваційні IoT технології, що дозволять автоматизувати моніторинг і регулювання параметрів у реальному часі, зробивши систему більш надійною і енергоефективною.

Розвиток автоматизованих систем управління, з урахуванням високотехнологічних, надійних і енергоефективних IoT-рішень відповідно до сучасних стандартів України, є актуальним напрямком. Це дозволить не тільки покращити якість управління мікрокліматом, а й зменшити витрати ресурсу, підвищити продуктивність теплиць.

В останні десятиліття зміна клімату і брак ресурсів призвели до необхідності використання технологій у сільському господарстві. Фермери були змушені використовувати інформацію та інновації в спілкуванні для підвищення ефективності виробництва і стійкості врожаю. Системна інженерія та інформаційна інфраструктура на основі Інтернету речей (IoT) є основними новими підходами, які викликали зростаючий інтерес. У сільському господарстві рішення IoT відповідно до завдань Індустрії 4.0 можуть застосовуватися в теплицях. Теплиці - це захищені середовища, в яких можна домогтися найкращого росту рослин. IoT для інтелектуальних теплиць відноситься до

датчиків, пристроїв та інформаційно-комунікаційної інфраструктури для моніторингу в реальному часі, збирання та оброблення даних з метою ефективного управління внутрішніми параметрами, такими як вплив світла, вентиляція, вологість, температура і рівень вуглекислого газу.

У роботі розглядається можливість використання хмарних технологій для управління та моніторингу мікроклімату у мінітеплицях агропідприємства «Зоряний Сад», що забезпечує гнучке дистанційне керування. Застосування IoT технологій і мобільних додатків є ключовим для створення сучасних систем автоматизації, здатних реагувати на зміни умов у режимі реального часу.

Мета роботи полягає у створенні системи для підтримки оптимальних умов мікроклімату у мінітеплиці, зокрема: здійснити моніторинг параметрів мікроклімату у реальному часі й забезпечити можливість управління пристроєм через мобільний додаток.

1 СТАН ПИТАННЯ І ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

1.1 Актуальність задачі впровадження системи Smart Greenhouse

В останні десятиліття сільське господарство переживає стрімку трансформацію під впливом інформаційних технологій. Традиційні методи ведення господарства все більше поступаються місцем автоматизованим та інтелектуальним системам, що дозволяють значно підвищити врожайність, зменшити витрати ресурсів та покращити якість продукції. Одним з найбільш показових прикладів цієї тенденції є комп'ютеризація та інтелектуалізація тепличних господарств, зокрема, вирощування овочів, таких як томати та огірки.

Впровадження "розумних" технологій у тепличне господарство – це не просто мода, а нагальна необхідність, зумовлена зростаючими потребами населення у якісній та доступній їжі, а також необхідністю більш ефективного використання обмежених ресурсів, таких як вода, енергія та добрива. "Розумні" теплиці – це комплексно автоматизовані системи, що використовують датчики, контролери, програмне забезпечення та інші сучасні технології для моніторингу та керування всіма ключовими параметрами вирощування: температурою, вологістю, освітленням, концентрацією CO₂, рівнем рН ґрунту та іншими.

Технологічні процеси, що реалізуються в сучасних розумних теплицях.

1. Моніторинг кліматичних параметрів. Мережа датчиків, розташованих в різних зонах теплиці, постійно збирає дані про температуру повітря та ґрунту, вологість повітря та ґрунту, освітленість, рівень CO₂, швидкість вітру, атмосферний тиск тощо. Ці дані передаються на центральний сервер (контролер), де обробляються спеціалізованим програмним забезпеченням.

2. Автоматизоване керування мікрокліматом. На основі даних, отриманих від датчиків, система автоматично регулює роботу опалювальних приладів, вентиляції, затінення, освітлення, зволоження та інших пристроїв, щоб підтримувати оптимальні умови для росту та розвитку рослин. Наприклад, у спекотний день система може автоматично вмикати затінення та вентиляцію, а вночі – опалення.

3. Точне живлення рослин (фертигація). Система фертигації автоматично дозує та вносить необхідні поживні речовини (добрива) разом з водою через систему поливу. Це дозволяє забезпечити рослини необхідною кількістю поживних елементів на кожному етапі їхнього росту, мінімізуючи втрати та забруднення навколишнього середовища.

4. Автоматизований полив. Системи автоматизованого поливу, такі як крапельний полив або спринклерний полив, дозволяють забезпечити рослини необхідною кількістю води у потрібний час, мінімізуючи втрати та ризик розвитку хвороб.

5. Управління освітленням. "Розумні" теплиці використовують штучне освітлення (наприклад, LED-лампи) для збільшення тривалості світлового дня або для забезпечення необхідного спектру світла для рослин, особливо в зимовий період.

6. Моніторинг стану рослин. Сучасні системи можуть використовувати камери з високою роздільною здатністю та алгоритми машинного навчання для моніторингу стану рослин, виявлення хвороб або шкідників на ранніх стадіях, оцінки росту та розвитку. Це дозволяє своєчасно реагувати на проблеми та приймати необхідні заходи.

7. Інтеграція з іншими системами управління підприємством. "Розумні" теплиці можуть бути інтегровані з іншими системами управління агропідприємством, такими як системи обліку, планування виробництва, управління запасами, продажу тощо. Це дозволяє оптимізувати всі бізнес-процеси та підвищити ефективність управління агропідприємством.

Вода є ключовим фактором, що визначає ріст, розвиток та продуктивність томатів в теплицях. Вона виконує низку життєво важливих функцій: транспортує поживні речовини з ґрунту до всіх частин рослини, бере участь у фотосинтезі, підтримує тургор клітин, регулює температуру рослини шляхом транспірації та сприяє оптимальному поглинанню CO₂.

Недостатнє водопостачання призводить до затримки росту, зниження врожайності, погіршення якості плодів (розтріскування, погіршення смаку) та

підвищення сприйнятливості до хвороб. Надмірне зволоження також є шкідливим, оскільки сприяє розвитку грибкових захворювань, гнилі коренів та нестачі кисню в кореневій зоні.

Для успішного вирощування томатів в теплицях необхідно ретельно контролювати подачу та кількість води. Сучасні системи крапельного зрошення дозволяють точно дозувати воду безпосередньо до кореневої зони, мінімізуючи втрати на випаровування та бур'яни. Кількість води, необхідна для томатів, залежить від багатьох факторів, включаючи стадію розвитку рослини, температуру та вологість повітря, сорт томатів та тип ґрунту.

Важливо регулярно проводити моніторинг вологості ґрунту, використовуючи тензіометри або інші сенсори, щоб визначити оптимальний режим поливу. Також слід враховувати погодні умови та адаптувати графік поливу відповідно до них. У спекотні періоди полив слід проводити частіше, але меншими дозами, щоб запобігти пересиханню ґрунту.

Крапельний полив є одним з найбільш ефективних та економічних методів поливу, особливо в теплицях. Він полягає у подачі води безпосередньо до кореневої зони рослин краплями через спеціальні крапельниці, розташовані на поверхні ґрунту або під землею.

Крапельний полив дозволяє значно зменшити втрати води на випаровування та стік, оскільки вода подається безпосередньо до коренів рослин. Це особливо важливо в регіонах з обмеженими водними ресурсами. Крапельний полив дозволяє уникнути зволоження листя рослин, що зменшує ризик розвитку грибкових захворювань. Крапельний полив зволожує лише кореневу зону рослин, що зменшує ріст бур'янів. Забезпечення рослин оптимальною кількістю води та поживних речовин сприяє підвищенню врожайності та покращенню якості продукції.

Ще одним методом поливу в теплицях є застосування спринклерних систем, які імітують дощ розпилюючи воду. Такі системи є дешевшими, компактними та легшими в монтажі та експлуатації, але для поливу овочевої культури томат він не використовується.

Враховуючи розміри теплиць агропідприємства «Зоряний Сад» та вид овочевої культури, доцільно застосовувати метод крапельного поливу, при якому листя томатів не намокнуть.

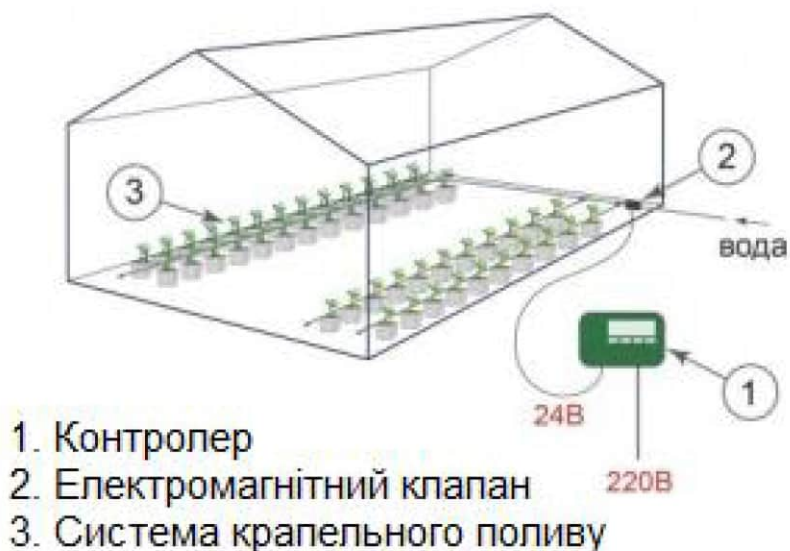


Рисунок 1.1 – Організація крапельного поливу в теплиці

Вирощування томатів у теплицях в умовах Полтавської області має значний потенціал, але успіх цієї справи значною мірою залежить від наявності ефективної системи опалення. Полтавщина характеризується помірно континентальним кліматом з холодною зимою та нестабільними температурами навесні та восени. Ці погодні умови роблять неможливим вирощування томатів у відкритому ґрунті протягом усього року, а також суттєво обмежують тривалість сезону.

Опалення теплиці дозволяє створити та підтримувати оптимальний мікроклімат для розвитку томатів, що включає в себе необхідну температуру повітря, ґрунту та вологість. Це особливо важливо на ранніх етапах вегетації, коли саджанці потребують стабільних умов для формування міцної кореневої системи та активного росту.

Опалення, особливо система "тепла підлога", є важливим елементом "розумної" теплиці, особливо в регіонах з холодним кліматом. Система "тепла

підлога" полягає в прокладанні труб з гарячою водою або електричних кабелів під поверхнею ґрунту.

Переваги опалення "тепла підлога":

3. рівномірний розподіл тепла по всій площі теплиці;
4. підвищення температури ґрунту, що стимулює розвиток кореневої системи рослин;
5. регулювання вологості повітря;
6. система "тепла підлога" може бути більш енергоефективною, ніж традиційні системи опалення, оскільки тепло передається безпосередньо в ґрунт.

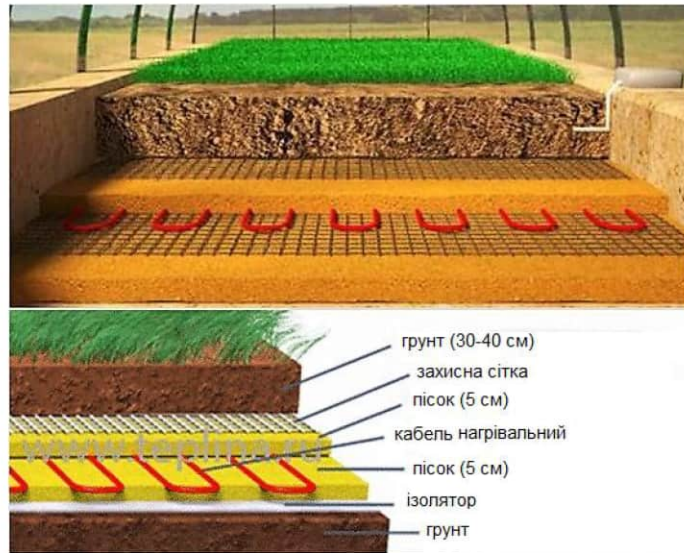


Рисунок 1.2 – Організація обігріву в теплиці

В теплиці проводиться вимір температури повітря і ґрунту. При цьому система обігріву керується за наступними правилами.

1. Температура повітря оптимально $+20^{\circ}\text{C}$... $+24^{\circ}\text{C}$. Температура ґрунту на глибині 10-15 см зазвичай $+12^{\circ}\text{C}$... $+16^{\circ}\text{C}$.

Якщо ґрунт охолоджується до $+10^{\circ}\text{C}$, це може сигналізувати про недостатню теплоізоляцію або слабкість системи обігріву, і потрібно ставити нагрівання ще активніше.

Таблиця 1.1 – Керування температурою в теплиці

| Повітря, °C | Грунт, °C | Дія системи |
|-------------|-----------|-------------------------------------|
| < +20 | < +12 | Активувати обігрів ґрунту і повітря |
| +20...+24 | +12...+16 | Оптимальний режим, без дії нагріву |
| > +24 | > +16 | Вимкнути або знизити нагрів |

Світлодіодне освітлення відіграє ключову роль у розумній теплиці, забезпечуючи оптимальні умови для вирощування томатів, особливо в умовах обмеженої природної інсоляції. Ефективність фотосинтезу, а отже, і продуктивність рослин, залежить від довжини хвилі та інтенсивності світла, які необхідно ретельно регулювати.

Для томатів оптимальний спектр для фотосинтезу зосереджений у двох діапазонах: червоний (600-700 нм) та синій (400-500 нм). Червоне світло є найбільш ефективним для стимулювання росту стебла та формування плодів, тоді як синій спектр сприяє фотосинтезу, регулює розтягування стебла та підтримує утворення хлорофілу. Оптимальним рішенням є використання світлодіодних ламп, що поєднують обидва спектри, з акцентом на червоний, але з достатнім вмістом синього для забезпечення збалансованого росту.

Кількість світла, необхідна для фотосинтезу, вимірюється показником PPF (Photosynthetic Photon Flux Density), вираженим у $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Для томатів, залежно від стадії розвитку, оптимальний PPF коливається в межах 200-600 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. На етапі розсади достатньо 200-300 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, а на етапі цвітіння та плодоношення інтенсивність слід підвищити до 400-600 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Важливо зазначити, що надмірна інтенсивність може призвести до фотоінгібування та пошкодження рослин.

У розумній теплиці необхідно використовувати датчики освітленості для постійного моніторингу PPF та автоматичного регулювання потужності LED освітлення. Такий підхід дозволяє не тільки оптимізувати фотосинтез, але й економити енергію, використовуючи світло лише за необхідності. Загалом,

правильно підібране та кероване LED освітлення є критично важливим для ефективного вирощування томатів у розумній теплиці, забезпечуючи високу врожайність та якість продукції.



Рисунок 1.3 – Організація освітлення в теплиці

Таблиця 1.2 – Залежність інтенсивності фотосинтезу від температури повітря та рівня освітленості

| Інтенсивність світла, Вт/м ² | Температура повітря, °С | Продуктивність фотосинтезу, г/год.м ² |
|---|-------------------------|--|
| 20 | 10 | 0,3 |
| 100 | 16 | 1,2 |
| 200 | 23 | 2,7 |
| 400 | 35 | 4,1 |

Вентиляція є критично важливим аспектом успішного вирощування рослин у міні-теплицях. Забезпечення циркуляції повітря регулює температуру, вологість, і запобігає розвитку грибкових захворювань. Хоча існують різноманітні системи вентиляції, природна вентиляція залишається ефективним, економічно вигідним та екологічно чистим варіантом для малих теплиць.

Природна вентиляція використовує природні фізичні процеси, такі як різниця температур (термічна тяга) та вітер, для створення потоку повітря. Стратегічно розташовані вентиляційні отвори у стінах та даху теплиці дозволяють гарячому повітрю підніматися та виходити, а прохолодному –

заходити. Цей процес автоматично регулює температуру, запобігаючи перегріву та забезпечуючи оптимальне середовище для росту рослин.

1.2 Характеристика, структура, особливості, умови роботи системи Smart Greenhouse

Агропідприємство у Полтавській області, що спеціалізується на вирощуванні томатів з використанням міні теплиць, демонструє приклад ефективного поєднання традиційного землеробства та сучасних технологій. Масштабність підприємства, підкреслена наявністю адміністративних та ІТ-відділів, свідчить про його прагнення до оптимізації всіх бізнес-процесів.

Застосування міні теплиць дозволяє підприємству контролювати кліматичні умови вирощування, збільшуючи врожайність та подовжуючи сезон збору томатів. Наявність ІТ-відділу відкриває можливості для впровадження точного землеробства, зокрема, моніторингу стану ґрунту, поливу та внесення добрив на основі даних, що збираються датчиками.

Крім того, корпоративна мережа сприяє ефективній комунікації між відділами, забезпечуючи оперативний обмін інформацією та прийняття обґрунтованих управлінських рішень. Це дозволяє агропідприємству швидко реагувати на зміни на ринку, оптимізувати логістику та підвищувати конкурентоспроможність.

Схема топології корпоративної мережі агропідприємства «Зоряний сад» розроблена на основі даних схеми організаційної структури з урахуванням впровадження мережі

Складові організаційної структури.

1. Вищий рівень управління – директори, що координують всі підрозділи та стратегічне планування.

2. Відділ стратегічного розвитку та мережних технологій. Менеджери з розвитку підприємства, також інженери/технічні спеціалісти з мереж, що відповідають за впровадження та підтримку мережевої інфраструктури, фахівці для монтажу, налаштування, адміністрування мережі.

3. Підрозділ IoT-системи Smart Greenhouse. Керівник тепличного господарства, що контролює виробничі процеси, включаючи електропостачання й зв'язок. Агрономи, технічні працівники.

4. Відділ інформаційних технологій та автоматизації. IT-менеджери/спеціалісти з автоматизації. Спеціалісти з підтримки мережі, що відповідають за внутрішню мережу, датчики, автоматизацію процесів.

5. Відділ логістики і збуту. Менеджери з логістики та збуту.

Важливими складовими топології мережі є:

- внутрішні локальні підмережі (LAN) агропідприємства;
- забезпечення сегментації мережі та маршрутизації між сегментами;
- забезпечення підключення до Інтернету через оптоволоконний або кабельний канал;
- влаштування систем спостереження, датчиків, автоматизованих систем.
- забезпечення безпеки мережі та конфіденційності даних.

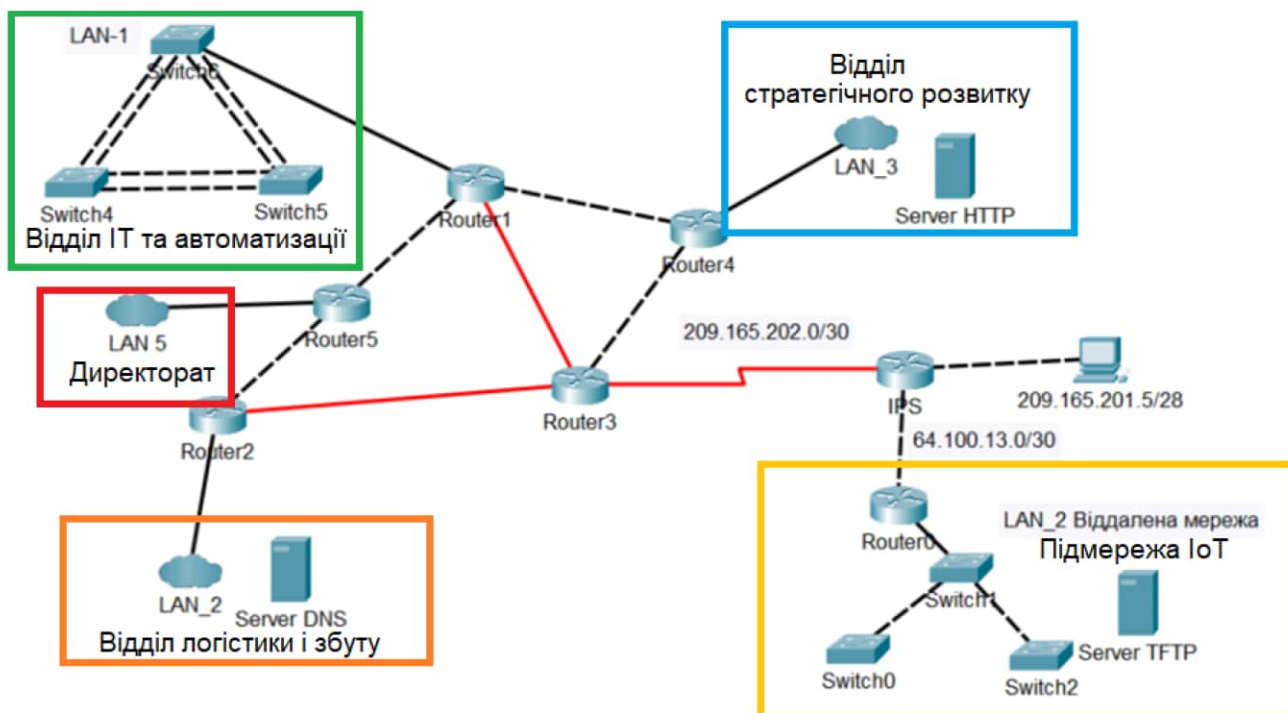


Рисунок 1.4 – Топологія мережі агропідприємства «Зоряний сад»

Для функціонування IoT-системи управління міні теплицею виділяється окрема підмережа. Вона забезпечує зв'язок між розумними речами, складовими туманних обчислень та серверами обробки даних та іншим критично важливим обладнанням.

При впровадженні IoT-системи Smart Greenhouse на агропідприємстві «Зоряний сад», з огляду на наявну корпоративну мережу, ключовим є стратегічний вибір технологій передачі даних, що забезпечить стабільність, розширюваність та безпеку всієї системи. Важливо враховувати також можливість інтеграції майбутніх IoT-рішень.

Концепція "Розумної міні-теплиці" набуває все більшої популярності завдяки її здатності автоматизувати догляд за рослинами, оптимізувати їхній ріст та забезпечувати високі врожаї навіть у міських умовах. Впровадження технологій Інтернету речей (IoT) в тепличне господарство, особливо при вирощуванні томатів у міні-теплицях на Полтавщині, відкриває значні перспективи для підвищення ефективності та рентабельності виробництва. Особливістю даного контексту є можливість більш точного контролю мікроклімату в кожній окремій міні-теплиці, що дозволяє оптимізувати умови для росту конкретних сортів томатів.

Перш за все, важливим є сенсорний блок, що включає датчики температури, вологості ґрунту та повітря, освітленості та рівня CO₂. Ці датчики забезпечують постійний моніторинг умов вирощування, надаючи дані для аналізу та прийняття рішень. На основі отриманої інформації автоматично регулюються системи поливу, вентиляції, опалення та освітлення, що забезпечує оптимальні умови для розвитку рослин.

Другим ключовим елементом є система автоматизації, яка на основі даних з сенсорів регулює важливі параметри. Це системи: автоматичний полив, регулювання освітлення (включення/виключення, зміна інтенсивності), вентиляцію та опалення.

Третім важливим компонентом є блок управління та комунікації. Він є сполучною ланкою між сенсорами, пристроями та кінцевим користувачем,

забезпечуючи збір даних, їх обробку та передачу. Цей блок, що охоплює канали зв'язку, IoT-платформи та додатки, гарантує ефективну взаємодію між різними компонентами екосистеми.

Канали зв'язку, такі як Wi-Fi, Bluetooth, LoRaWAN, NB-IoT, відповідають за безперебійну передачу даних. Їх вибір залежить від конкретних вимог застосування, враховуючи відстань, енергоспоживання та необхідну пропускну здатність.

IoT-платформи, у свою чергу, слугують централізованою точкою управління, забезпечуючи можливості збору, зберігання, аналізу та візуалізації даних. Вони також полегшують інтеграцію з іншими системами та сервісами.

IoT-додатки, як правило, є інтерфейсом для кінцевого користувача, дозволяючи моніторити, контролювати та автоматизувати процеси на основі даних, зібраних з пристроїв.



Рисунок 1.5 – Концепція впровадження IoT в тепличне господарство

Переваги впровадження IoT для тепличного господарства «Зоряний сад» на Полтавщині включають:

- підвищення врожайності завдяки точному контролю параметрів мікроклімату, рослини отримують оптимальні умови для росту, що призводить до збільшення врожаю та покращення якості плодів;

- зменшення витрат, так як ввтоматизований полив та внесення добрив дозволяють мінімізувати використання ресурсів та знизити виробничі витрати;
- покращення якості продукції за рахунок контролю за умовами вирощування дозволяє отримувати томати з кращими смаковими якостями та товарним виглядом;
- зниження ризиків, завдяки датчикам моніторингу, що дозволяють оперативно виявляти відхилення від норми та вживати необхідних заходів для запобігання хворобам та шкідникам;
- оптимізація трудових ресурсів.

1.2.1 Об'єкт впровадження

Об'єктом впровадження є 10 міні теплиць, розташовані на рівній місцевості без дерев, що затуляють потрапляння сонячного світла. Поле з теплицями розташоване на відстані 30 м від будівлі адміністрації, де розташоване мережне обладнання для доступу до корпоративної мережі агропідприємства "Зоряний сад".

Впровадження IoT передбачає розгортання мережі для підмережі IoT-системи, віддаленої від основної інфраструктури агропідприємства "Зоряний сад". Географічне розташування об'єкту за 8 км від головного офісу, визначає необхідність використання ресурсів провайдера для забезпечення зв'язку.

Ключовим аспектом є організація безпечного та надійного каналу передачі даних між віддаленою IoT-підмережею та корпоративною мережею. Використання VPN-з'єднання є необхідною умовою для захисту даних, що передаються. Це особливо важливо з огляду на чутливість інформації, зібраної з датчиків у теплицях (температура, вологість, освітленість), яка може впливати на прийняття важливих рішень у агробізнесі.

Наступним етапом є вибір оптимального протоколу та обладнання для IoT-підмережі в теплицях. Враховуючи відкритий простір та відсутність перешкод для сонячного світла, для зв'язку застосована технологія бездротового зв'язку з низьким енергоспоживанням NB-IoT.



Рисунок 1.6 – Міні-теплиці агропідприємства "Зоряний сад"

Міні-теплиці використовувані на агропідприємства "Зоряний сад" мають розміри 3м/10м/2,5м (Ш/Д/В). Всередині розташовані дві зони з ґрунтом.

Ріст та розвиток томатів – це складний процес, на який впливає безліч взаємопов'язаних факторів. Розуміння біологічних властивостей рослини у поєднанні з забезпеченням оптимальних умов навколишнього середовища є ключем до отримання високого та якісного врожаю.

Томат (*Solanum lycopersicum*) – теплолюбна рослина, що належить до родини пасльонових. Його біологічні особливості, такі як тривалість вегетаційного періоду, вимогливість до освітлення та температурного режиму, визначають необхідність ретельного планування та догляду. Сортові особливості також відіграють важливу роль, визначаючи стійкість до хвороб, величину плодів та загальну врожайність.

Найважливішими факторами навколишнього середовища, що впливають на ріст томатів, є:

– температура: оптимальна температура для росту томатів становить 22-28°C. Температури нижче 15°C та вище 35°C можуть гальмувати розвиток рослини та призвести до зниження врожайності;

- освітлення: томати потребують інтенсивного освітлення, особливо на етапах цвітіння та формування плодів. Недостатнє освітлення може призвести до витягування розсади, зменшення кількості плодів та зниження їх якості;
- вологість: підтримання оптимального рівня вологості ґрунту (60-70%) та повітря (60-70%) є важливим для забезпечення нормального росту та розвитку кореневої системи та вегетативної маси;
- живлення: томати потребують збалансованого живлення, з достатньою кількістю азоту, фосфору та калію. Дефіцит поживних речовин може призвести до сповільнення росту, появи ознак хвороб та зниження врожайності;
- ґрунт: томати найкраще ростуть на пухких, добре дренованих ґрунтах з рН 6.0-6.8. Тяжкі глинисті ґрунти потребують покращення структури шляхом внесення органічних матеріалів.

1.3 Огляд існуючих аналогів КС, технологій, архітектур та програмних рішень

Міні-теплиці, як компактні системи для вирощування рослин, стають все більш популярними серед аматорів та професіоналів, які прагнуть оптимізувати процес вирощування та підвищити врожайність. Автоматизація міні-теплиць відкриває широкі можливості для створення оптимального мікроклімату, зменшення ручної праці та забезпечення стабільного зростання рослин. Існує декілька поширених рішень, які дозволяють автоматизувати різні аспекти функціонування міні-теплиць.

Одним з ключових аспектів автоматизації є контроль клімату. Системи автоматичного регулювання температури та вологості ґрунту та повітря забезпечують оптимальні умови для розвитку рослин на різних етапах. Часто в проєктах реалізовано автоматичну систему керування поливом для міні-теплиць, ядром якої є мікроконтролер Arduino Nano. Система використовує датчики DHT22 (температура/вологість повітря) та гігрометр для визначення потреби в поливі, а також модуль реле, мембранний насос та електромагнітний клапан для реалізації безпосередньо процесу зрошення.

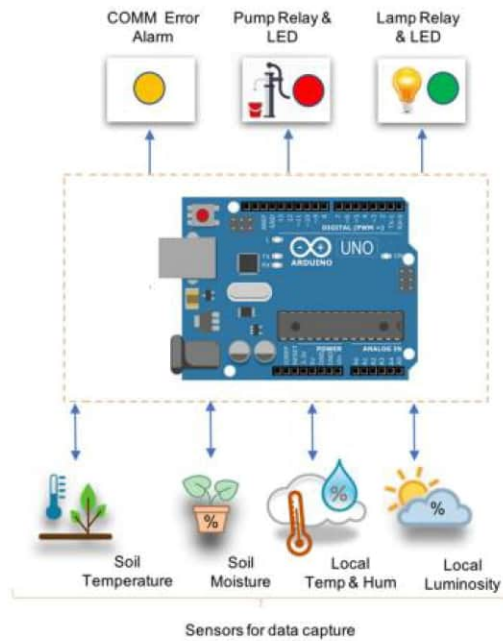


Рисунок 1.7 – Проєкт автоматизації міні-теплиці

Однак, для оптимізації мікроклімату в міні-теплиці, подальшого вдосконалення потребує розширення функціоналу системи. Зокрема, суттєвим є інтеграція датчиків концентрації CO₂ та рівня освітленості. Моніторинг та регулювання цих параметрів дозволить більш точно адаптувати умови вирощування до потреб конкретних рослин, що, в свою чергу, позитивно вплине на їхній ріст та врожайність. Додавання можливості керування штучним освітленням та вентиляцією на основі отриманих даних стане наступним логічним кроком у розвитку автоматизованої системи керування міні-теплицею.

Розумні теплиці представляють собою важливий крок у розвитку сільського господарства, дозволяючи ефективніше управляти процесами вирощування культур, оптимізувати використання ресурсів та підвищувати врожайність.

Однією з ключових тенденцій є ширше застосування Інтернету речей (IoT). Сенсори та датчики, інтегровані в систему теплиці, будуть збирати дані про температуру, вологість, рівень CO₂, освітлення та стан ґрунту. Ці дані, оброблені за допомогою алгоритмів машинного навчання, дозволять в режимі реального часу оптимізувати умови вирощування, налаштовуючи систему поливу,

вентиляції та освітлення. Більше того, передбачувальна аналітика, заснована на великих обсягах даних (Big Data), допоможе передбачити потенційні проблеми, такі як хвороби рослин або дефіцит поживних речовин, дозволяючи вжити профілактичних заходів.

Використання датчиків Інтернету речей (IoT) революціонізує тепличне господарство, надаючи можливість отримувати точну інформацію про ключові показники мікроклімату в режимі реального часу. Це включає в себе дані про освітлення, температуру, стан ґрунту, вологість повітря та ґрунту. Отримання цих даних дозволяє не лише моніторити навколишнє середовище, а й впроваджувати системи автоматичного регулювання умов відповідно до встановлених параметрів.



Рисунок 1.8 – Рішення від Grow Director

Вже існують комерційні рішення для автоматизованого контролю мікроклімату в міні-теплицях, що пропонуються, зокрема, компаніями Grow Director Ltd. та Harvst. Grow Director Ltd., ізраїльський лідер у сфері інтелектуальних систем клімат-контролю для закритого та тепличного господарства, пропонує рішення GrowDirector 3 PRO. Ця система являє собою модульний пакет, що складається з бездротових контролерів, сенсорів та програмного забезпечення на базі штучного інтелекту, розробленого для спрощення процесу вирощування рослин шляхом автоматизації та керування даними про навколишнє середовище.

1.4 Визначення можливих напрямків рішення поставлених завдань

Рішення для розумної міні-теплиці передбачає впровадження туманних та хмарних обчислень. Враховуючи розмір теплиці, виділено 4 зони теплиці, показаних на рисунку 1.5, для збору показників з сенсорів, що передаватимуть дані до контролера туманних обчислень. Розглянемо зони.

В зонах 1 та 4 виконується збір даних датчиками температури ґрунту та CO₂. Виконується керування, на основі зібраних та оброблених даних, освітленням, двома двигунами фрамуг та насосом подачі води.

В кожній зоні виконується збір даних датчиками температури та вологості ґрунту, освітленості.

На кожен зону встановлюється контролер з підтримкою технології бездротової передачі даних NB-IoT для зв'язку з мережним шлюзом.

Для збору даних про температуру та вологість повітря, детектування та швидкість вітру, сонячну радіацію використовуються IoT-пристрої з мережними адаптерами NB-IoT. За даними IoT-пристроїв приймаються рішення керування фрамугами та опаленням в теплиці.

Для віддаленого керування та спостереження дані передаються на хмарну платформу.

Запропонований метод керування окремими зонами передбачає використання безпроводної обчислювальної техніки у окремих зонах теплиці. Налаштування режимів роботи повинне надходити від окремого сервера від бази налагоджень.

Таким чином, IoT-система повинна виконувати наступні функції:

- доступ для вибору, створення, редагування, призначення для окремих зон теплиці оператором;
- синхронізація блоків керування обладнанням теплиці;
- керування обладнанням освітлення за годинником реального часу згідно вимог поточного рецепту;
- керування обладнанням теплиці даними датчиків.

Запропонований підхід до автоматизації агровиробництва базується на інтеграції Інтернету речей (IoT) в корпоративну мережу агропідприємства "Зоряний сад". Комплекс датчиків та виконавчих пристроїв, встановлений у кожній теплиці, забезпечує безперервний збір даних про ключові показники мікроклімату. Контролери, використовуючи бездротову технологію NB-IoT, передають цю інформацію до мережевого шлюзу. Шлюз, у свою чергу, пересилає дані до хмарної платформи, що живиться від IoT-сервера, розміщеного в підмережі "IT-підрозділ" корпоративної мережі.

Така архітектура дозволяє централізовано збирати та аналізувати інформацію про стан кожної теплиці. Забезпечуючи доступність даних через зручний веб-інтерфейс, рішення надає можливість оперативного моніторингу та дистанційного керування процесами, оптимізуючи використання ресурсів та підвищуючи ефективність агровиробництва в "Зоряному саду".

1.5 Завдання і мета роботи

Метою роботи є вирішення задачі підтримки оптимальних умов мікроклімату у міні-теплиці, зокрема: здійснення моніторингу параметрів мікроклімату у реальному часі й забезпечити можливість управління пристроєм через веб-додаток. Необхідно розробити IoT-систему розумного керування мікрокліматом із застосуванням туманних та хмарних технологій.

Детальне планування та проектування: Розробка детального плану впровадження, що включає специфікацію датчиків та виконавчих пристроїв, вибір контролерів та NB-IoT модуля для кожної теплиці, а також визначення технічних характеристик мережевого шлюзу. Необхідно врахувати масштабованість системи та передбачити можливості для подальшого розширення.

Реалізація потребує виконання наступних кроків.

1. Вибір апаратної інфраструктури, що включає комплекс датчиків та виконавчих пристроїв у кожній теплиці. Налаштування контролерів та забезпечення бездротового зв'язку з мережевим шлюзом за технологією NB-IoT.

Розміщення та конфігурація мережевого шлюзу для забезпечення стабільного зв'язку з контролерами та хмарною платформою.

2. Розробити структурну схему комплексу технічних засобів.

3. Виконати аналіз вхідних та вихідних даних.

4. Виконати

2. Забезпечити інтеграцію з мережею підприємства. Забезпечити доступ до підмережі "ІТ-підрозділ".

3. Розгортання та конфігурація IoT-сервера.

4. Розробка та впровадження хмарної платформи для збору, зберігання та обробки даних, що надходять від IoT-сервера. Розробка веб-інтерфейсу для користувачів, що забезпечує доступ до інформації про стан теплиць та дозволяє здійснювати дистанційне керування.

2 РОЗРОБКА ІОТ-СИСТЕМИ МІКРОКЛІМАТУ ТЕПЛИЦІ АГРОПІДПРИЄМСТВА

2.1 Технічні вимоги до об'єкту професійної діяльності

2.1.1 Найменування і призначення об'єкту професійної діяльності

ІоТ-система мікроклімату теплиці агропідприємства, далі ІоТ МТА, призначена для керування виконавчими пристроям теплиці агропідприємства для створення комфортних умов вирощування овочевих культур.

ІоТ-система мікроклімату теплиці агропідприємства (ІоТ МТА) представляє собою комплексне рішення для автоматизованого керування умовами вирощування овочевих культур. Вона базується на розподіленій мережі сенсорів, що моніторять ключові параметри мікроклімату, зокрема вологість та температуру ґрунту і повітря, вміст СО₂ та рівень освітлення.

Зібрані дані обробляються локально контролерами зон теплиці, інтегрованими в туманні обчислення, та агрегуються на ІоТ-сервері, розташованому в підмережі ІТ-відділу корпоративної мережі агропідприємства «Зоряний сад». Це забезпечує централізоване управління та аналіз отриманої інформації.

Розумні сенсори та виконавчі пристрої, підключені до корпоративної мережі, в автоматичному режимі коригують умови в теплиці згідно заданих параметрів. Інтеграція з мобільним додатком надає можливість оперативного моніторингу показників та дистанційного керування системою, забезпечуючи гнучке реагування на зміну умов та оптимізуючи процес вирощування. Таким чином, ІоТ МТА сприяє підвищенню врожайності, зниженню витрат ресурсів та покращенню якості продукції.

2.1.2 Вимоги до структури і функціонування об'єкту професійної діяльності

IoT МТА складається з пульта керування мікрокліматом теплиці, блоків керування виконавчими пристроями, що впливають на мікроклімат, блоків сенсорів.

Пульти керування мікрокліматом теплиці являють собою програмне забезпечення, встановлене на смартфони відповідальних осіб.

Пульт керування освітленням включає функціональні блоки:

1. БД спостереження мікроклімату теплиці;
2. сценарії налагодження роботи обладнання теплиці (насос подачі води, реле керування освітленням, серво двигуни керування фрамугами);
3. блок зв'язку по радіоканалу;
4. сервер системи;
5. шлюз доступу до мережі агропідприємства;
6. блок візуалізації;
7. інтерфейс і консоль оператора теплиці.

Блок керування мікрокліматом теплиці повинен забезпечувати наступний функціонал:

- підтримку бездротової технології NB-IoT;
- підтримку протокол обміну даних MQTT;
- відображення поточних даних з датчиків, що є компонентами туманних обчислень, на LCD-екран;
- відображення поточних даних з датчиків, що є компонентами хмарних обчислень, до веб-інтерфейсу;
- передачу даних на IoT-сервер до IoT-hub;
- керування процесами в теплиці за сценарієм на IoT-сервері;
- алгоритм керування блоком туманних обчислень.

Блок інтеграції з корпоративною мережею повинен забезпечувати наступний функціонал:

- мережева ізоляція через сегментування мережі IoT МТА від основної корпоративної мережі для забезпечення безпеки;
- застосування методів аутентифікації та авторизації для визначення політики доступу до даних та керування пристроями;
- моніторинг трафіку та виявлення аномалій.

2.1.3 Вимоги до способів і засобів зв'язку для інформаційного обміну між компонентами Системи

Для успішної інтеграції IoT-підсистеми Smart Greenhouse з існуючою інфраструктурою «ІТ-підрозділу» як частини мережі агропідприємства «Зоряний сад», зокрема для забезпечення обміну даними між цими сегментами, необхідне застосування комбінації провідних та бездротових технологій. У даному випадку, оптимальним рішенням є використання Ethernet на рівні ядра мережі та NB-IoT на рівні доступу.

Для інтеграції та підтримки технології NB-IoT як невід'ємної частини корпоративної мережі необхідно:

- стратегічне розміщення NB-IoT шлюзів, враховуючи географію покриття та особливості приміщень, а також інтеграцію з існуючою інфраструктурою стільникового зв'язку;
- запровадження протоколів аутентифікації, шифрування та контролю доступу для захисту конфіденційної інформації, що передається через NB-IoT пристрої;
- забезпечення розумних пристроїв з підтримкою NB-IoT IP-адресами з приватного діапазону 172.16.1.1/24.

Використання Narrowband IoT (NB-IoT) на рівні доступу для підключення модулів IoT у Smart Greenhouse є стратегічно обґрунтованим рішенням, обумовленим кількома ключовими факторами. Насамперед, NB-IoT забезпечує значне збільшення дальності зв'язку порівняно з іншими бездротовими технологіями, що критично важливо для теплиць, які часто розташовані у віддалених районах з обмеженим покриттям мобільної мережі.

NB-IoT характеризується надзвичайно низьким енергоспоживанням. Модулі IoT у теплицях працюють від батарей, і збільшення терміну їхньої служби є критичним для зменшення витрат на обслуговування та забезпечення безперервного моніторингу. NB-IoT інтегрується з існуючою інфраструктурою мобільних мереж, що дозволяє швидко та відносно легко розгорнути систему моніторингу Smart Greenhouse без необхідності створення нової інфраструктури зв'язку.

При інтеграції підмережі IoT-пристроїв до корпоративної мережі агропідприємства «Зоряний сад» бажано забезпечити:

- розподіл IP-адрес в підмереж з діапазону 10.24.248.0/21;
- виконати поділ вихідної IP-адреси методом VLSM з вимогами до кількості кінцевих пристроїв мереж: Відділ IT та автоматизації (LAN1) 76; IoT-система (LAN2) 179; Відділ стратегічного розвитку (LAN 3) 163; Відділ логістики і збуту (164), директорат (LAN 5) 221;
- для мереж WAN між маршрутизаторами забезпечити адреси з діапазону IP-адрес 10.78.0.0/26 та використання інтерфейсів Serial;
- кінцеві мережні пристрої отримують мережні налаштування за протоколом DHCP;
- в межах корпоративної мережі агропідприємства «Зоряний сад» застосовувати протокол EIGRP;
- реалізувати віддалений доступу за протоколом SSH;
- впровадити сервер IoT в підмережі «Відділ IT та автоматизації»;
- доступ до глобальної мережі Internet для внутрішніх мереж, забезпечити із застосуванням NAT та PAT (діапазон 209.165.202.5 – 209.165.202.30/25).

Для мережі підключення IoT-пристроїв на маршрутизаторах налаштувати використання SSID WiFi-мережі Atmanzin та впровадити захист WPA2-PSK з паролем Atmanzin22.

Доступ до хмарної платформи на IoT-сервері забезпечити через обліковий запис Greenhouse з паролем ATM12322.

2.1.4 Вимоги до показників призначення

IoT МТА та її функціональні складові повинні забезпечувати показники призначення:

- датчики освітлення з виходами ТВ до 3 входів;
- датчики температури й вологості ґрунту з виходами ТВ до 3 входів;
- датчики газові з виходами ТВ до 3 входів;
- освітлювальні прилади ТК до 2 виходів із застосуванням комутуючого реле;
- виконавчий пристрій подачі води ТК до 2 виходів із застосуванням комутуючого реле;
- виконавчий пристрій керування двома фрамугами ТК до 2 виходів;
- розумні пристрої бажано Tuia з підтримкою NB_IoT;
- бажана елементна база для побудови блока туманних обчислень Arduino;
- блоки живлення з параметрами 12V 8,3A 100Вт та ступенем захисту IP20;
- реалізація бездротового зв'язку бажано Arduino з підтримкою NB_IoT;
- тиск в системі крапельного поливу повинен бути в діапазоні від 2,5 до 3,5 бар;
- затримка реакції системи на виявлену та оброблену подію не повинна перевищувати 10 секунд у режимі ненаголошеного реального часу;
- забезпечити наступні режими роботи: автоматизоване керування мікрокліматом а сценаріями та ручний режим через веб сервіс.

Передбачається модернізація системи з підтримкою системи вентиляції.

2.2 Розробка апаратної частини

2.2.1 Розробка схеми структурної обладнання

Ефективна теплиця вимагає контролю якості повітря, боротьби з хворобами, шкідниками та поглинанням поживних речовин і води.

Вхідні та вихідні дані тепличної системи показані схематично на рисунку 2.1. Схема показує, як зовнішні і внутрішні фактори взаємодіють із системою для підтримки оптимальних умов для росту рослин, контролюючи різні параметри через датчики і системи регулювання.

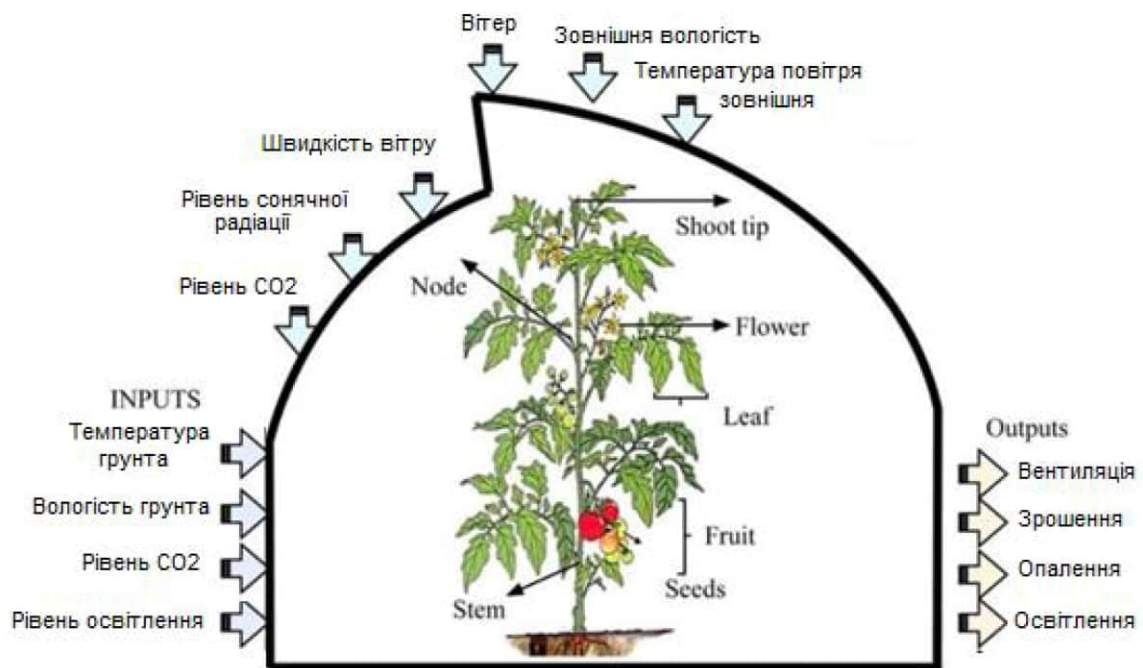


Рисунок 2.1 – Вхідні та вихідні дані тепличної системи

Фактори впливу на рослинну систему в теплиці.

Зовнішні фактори:

- вектор напрямку вітру і швидкість;
- вологість зовнішнього повітря;
- температура повітря зовні;
- вміст CO₂ поза теплицею;

Системи впливу (актуатори):

- вентиляційна система (двигуни фрамуг);

- обігрівальна система (електрична система «тепла підлога»);
- освітлювальна система (реле керування живленням);
- система зрошення (електромагнітний клапан).

Всі вони регулюються для створення оптимальних умов для рослин.

Параметри, які контролюються і вимірюються всередині теплиці:

- рівень освітлення;
- внутрішня температура і вологість повітря;
- температура ґрунту;
- рН- рівня ґрунту;
- вологість ґрунту.

Сільське господарство, як одна з найдавніших галузей людської діяльності, сьогодні переживає цифрову трансформацію завдяки впровадженню технологій Інтернету речей (IoT). Віддалені датчики, підключені до мережі Інтернет, збирають різноманітні екологічні та механічні показники, надаючи фермерам безпрецедентний контроль над процесом вирощування та догляду за культурами. Завдяки інтелектуальним інструментам для ведення сільського господарства, галузь стає більш передбачуваною, ефективною та стає на шлях до сталого розвитку.

Однією з ключових переваг IoT в сільському господарстві є можливість моніторингу та керування процесами віддалено. Фермери, використовуючи системи наведення, можуть керувати своєю технікою з будь-якої точки.

Важливим елементом впровадження технологій IoT є використання бездротового зв'язку, який забезпечує надійний та швидкий обмін даними між датчиками, технікою та центральною системою управління.

Синергія IoT та веб-сервісів відкриває нові горизонти для збору, обробки та аналізу великих обсягів даних (Big Data) у сільському господарстві. Інформація про стан ґрунту, погодні умови, рівень вологості, стан рослин та інші критичні параметри дозволяє фермерам приймати обґрунтовані рішення щодо поливу, внесення добрив, захисту від шкідників та хвороб. Це, в свою чергу,

сприяє підвищенню врожайності, покращенню якості продукції та зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище.

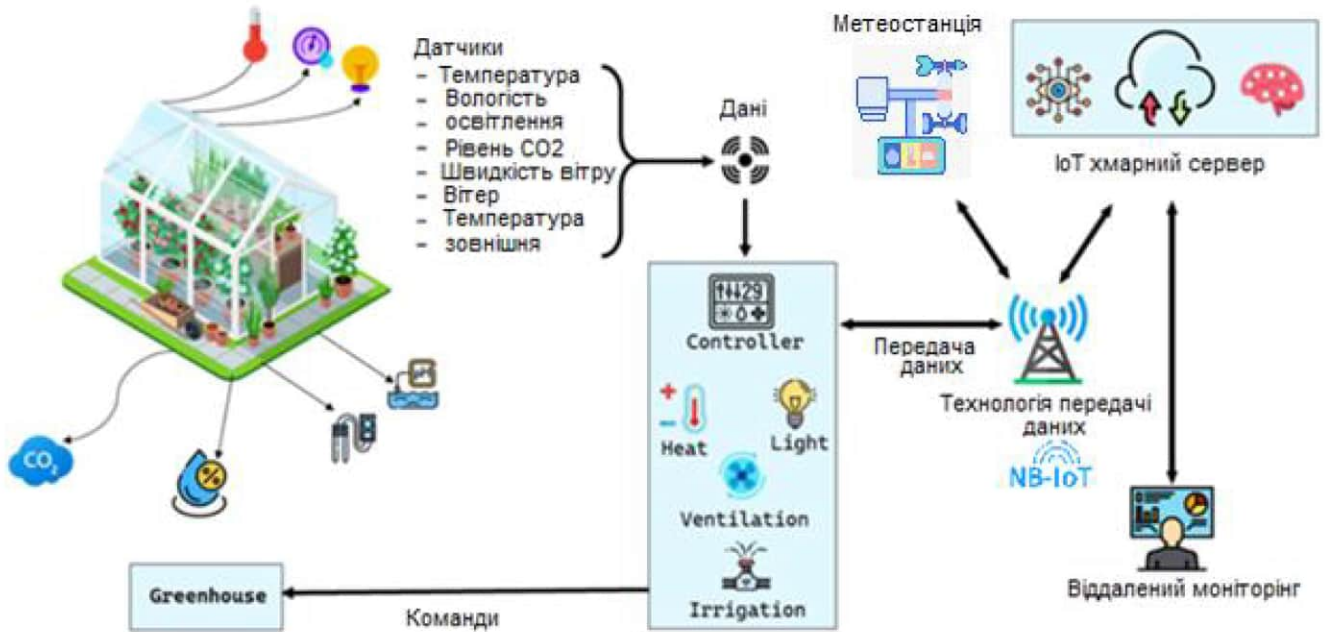


Рисунок 2.2 – Архітектура IoT-системи Greenhouse

Архітектура IoT-системи Greenhouse включає наступні ключові компоненти.

1. Використання туманних обчислень (Fog Computing). В даному проєкті, цифрові датчики, розміщені безпосередньо всередині теплиці, збирають дані про температуру, вологість, освітленість та інші параметри. Перевагою застосування в системі туманних обчислень над хмарним обчисленням, де обробка даних відбувається на віддалених серверах, є обробка даних локальним контролером. Розташований безпосередньо в теплиці, він оперативно отримує дані з датчиків, виконує їх обробку, аналіз та приймає рішення щодо керування виконавчими пристроями. Перевага такого підходу полягає в зменшенні затримки в обробці даних, що є критичним фактором для підтримки оптимальних умов росту рослин в реальному часі. Локальна обробка даних також зменшує залежність від стабільного інтернет-з'єднання.

2. Використання хмарних обчислень в теплицях агропідприємства. В даному проєкті для моніторингу погодних параметрів зовні теплиць використовується метеостанція, що обладнана розумними датчиками. Ключовим елементом такої системи є модуль передачі даних, що використовує технологію NB-IoT. NB-IoT забезпечує стабільний та економічний зв'язок навіть у складних умовах, таких як значна віддаленість від базових станцій або обмежена пропускна здатність мережі. Дані, зібрані розумною метеостанцією, передаються до хмарної платформи.

3. Зв'язок і обмін даними. Контролер обладнаний мережним адаптером з підтримкою технології NB-IoT передає дані до хмарної платформи з підтримкою сервісів IoT Hub та Rules для аналізу і прийняття рішень, а також з системою моніторингу та керування через віддалений доступ.

4. Комунікаційні протоколи: Використовуються технологія NB-IoT для бездротової передачі даних.

5. Віддалений моніторинг і керування системою для автоматизації підтримки кліматичних умов у теплиці, включаючи контроль за умовами.

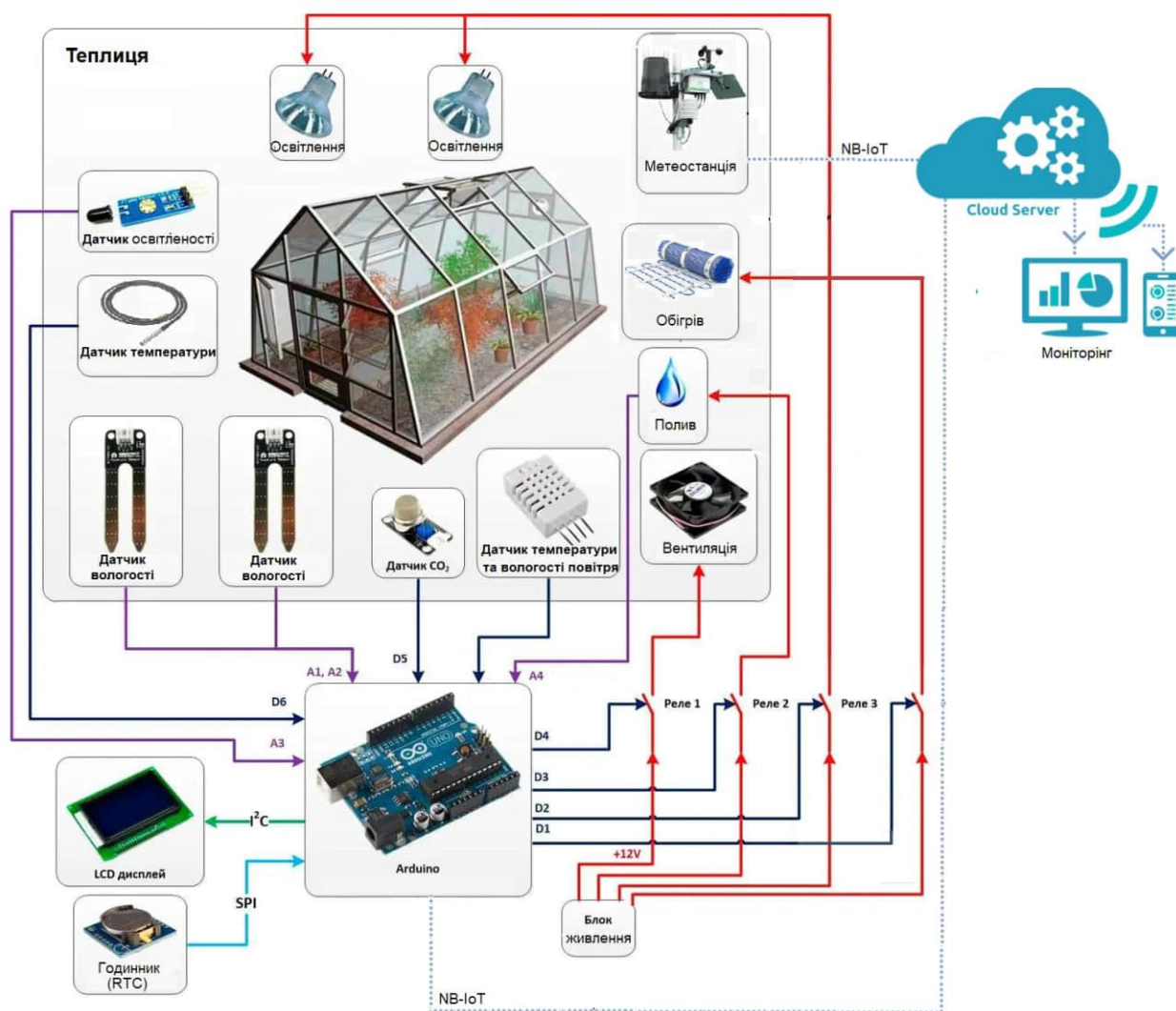


Рисунок 2.3 – Схема структурна обладнання

2.2.2 Розробка специфікації апаратних засобів IoT системи

В процесі розробки IoT-системи для теплиць агрокомпанії "Зоряний Сад", ключовим етапом є вибір відповідних апаратних засобів та елементної бази. Від цього вибору залежить ефективність взаємодії пристроїв, надійність збору, обробки та передачі даних, а також загальна функціональність системи.

Обрані компоненти мають забезпечувати безперебійну роботу в умовах підвищеної вологості та температурних коливань, характерних для теплиць. Датчики температури, вологості ґрунту та повітря, рівня освітлення та CO₂, що використовуються, мають високу точність та стабільність. Контролери, як центральний елемент системи, повинні мати достатню обчислювальну

потужність для обробки даних в реальному часі та реалізації алгоритмів автоматизації.

Важливим є вибір мережевого обладнання, що забезпечує надійне з'єднання між датчиками, контролерами та сервером даних. Використання бездротової технології NB-IoT дозволяє мінімізувати витрати на інфраструктуру та забезпечити широке покриття території теплиць.

У якості пристрою доступу в мережу пристроями системи Інтернету речей буде використано рішення від компанії Robustel- M1200.

Шлюзи для NB-IoT – це важливі пристрої для збору та передачі даних від IoT-сенсорів. Вони забезпечують з'єднання з мережами NB-IoT, об'єднують дані з багатьох пристроїв та часто мають додаткові порти. Такі шлюзи, як M1200 від Robustel, пропонують компактні рішення для промислових застосувань, включаючи підтримку різних стільникових мереж. Вони відіграють ключову роль в організації зв'язку між пристроями та хмарними платформами.

Robustel M1200 – підтримує 2 SIM-картки та оснащений промисловими інтерфейсами RS-232, RS-485, mini-USB, а також цифровими входами/виходами. Універсальність M1200 дозволяє застосування в галузі сільського господарства.

Таблиця 2.1 – Технічна характеристика Robustel M1200

| Назва | Параметр |
|--------------------------|---|
| Автоз'єднання по мережах | GSM/GPRS/EDGE/TDD LTE/Cat.M1/Cat.NB1 |
| Підтримка SIM-карт | 2 |
| Протоколи | PPP, TCP, UDP, ICMP, HTTP, HTTPS, DNS, NTP, SMTP, Telnet, SSH2, DDNS |
| Ітнерфейси | Антенний конектор SMA, 2x DI, 1x DO miniUSB |
| Керування | Web, CLI, SMS |
| Захист | IP30 |
| Бездротовий протокол | Cat.NB1 |

Для керування фрамуажним відкривачем GEZE ECchain з ланцюговим приводом, застосована розумна розетка з підтримкою NB-IoT та LTE МОКО LTE-NB/LTE-M1 МК117NB, яка дозволяє віддалено керувати підключеними пристроями. Вона використовує NB-IoT для передачі даних, що забезпечує низьке енергоспоживання та широке покриття. Здатна підключатися до різних MQTT серверів (EMQTT).

Таблиця 2.2 – Технічна характеристика Robustel M1200

| Назва | Параметр |
|--------------------------------|---|
| Номінальне робоче живлення | 100-240VAC, 50/60Гц |
| 100,000 разів | 100,000 разів |
| Максимальна вантажопідйомність | 16А / 240 В змінного струму |
| Стільниковий модуль | БГ95 |
| WAN-зв'язок | NB-IoT/eMTC/GSM |
| Бездротовий протокол | Cat.NB1 |
| Смуги частот | B1/B2/B3/B4/B5/B8/B12/ B13/B18/B19/B20/ B25/B28/ B66/B71/B85 |
| Сім-карта | SIM та eSIM |

Для збору даних про стан навколишнього середовища застосована Метеостанція μ METOS – це комплексне рішення для моніторингу погодних умов, що поєднує в собі підключення до мобільних мереж LTE-M (LTE Cat M1) і NB-IoT (LTE Cat NB1). μ METOS підтримує датчики температури, вологості, швидкості та напрямку вітру, кількості опадів та інших важливих параметрів. Ця універсальність робить μ METOS цінним інструментом для сільського господарства, наукових досліджень та інших галузей, де важливі точні та своєчасні метеорологічні дані.

В якості датчику температури та вологості повітря було DHT21 від виробника AOSONG. Для умов теплиць DHT21/AM2301A підходить з огляду на підвищену точності виміру. Довжина дроту не більше 30м.

Датчик DH21 є цифровим датчиком температури та відносної вологості, що працює на основі ємнісного методу. Його принцип роботи полягає у зміні електричної ємності чутливих елементів під впливом температури та вологості.

Вимірювання температури. DH21 використовує терморезистор (NTC), опір якого змінюється залежно від температури. Вбудований АЦП (аналого-цифровий перетворювач) вимірює напругу на терморезисторі, яка пропорційна його опору, і перетворює її у цифровий сигнал, що відображає температуру.

Вимірювання вологості. Датчик вологості складається з конденсатора, діелектриком якого є гігроскопічний полімерний матеріал. Вологість повітря впливає на кількість води, поглинутої полімером, що змінює діелектричну проникність і, відповідно, ємність конденсатора. Ця зміна ємності також вимірюється вбудованим АЦП і перетворюється у цифровий сигнал, що відображає відносну вологість.

DH21 використовує однопровідний інтерфейс зв'язку для передачі цифрових даних про температуру та вологість до мікроконтролера.

Таблиця 2.3 – Технічна характеристика DH21

| Назва | Параметр |
|----------------------------------|-----------------|
| Тип | 3-дротове |
| Тип інтерфейсу | цифровий 1-wire |
| Точність | 0.1 °C |
| Діапазон вимірювання вологості | 0-100% |
| Діапазон вимірювання температури | -40 ~ 80 °C |
| Джерело живлення | DC12V/3A |

В якості датчику температури ґрунту було обрано водонепроникний DS18B20.

Датчик температури DS18B20 має водонепроникний захисний корпус з класом пиловологозахисту IP67. Діапазон вимірюваних температур становить від -55°C до $+125^{\circ}\text{C}$. Оскільки корпус датчика зроблений із ПВХ, рекомендується обмежити верхню межу вимірювань до 100°C . Сам елемент DS18B20 внутрішньо знаходиться у герметичному, пиловологозахищеному корпусі, що забезпечує найвищий ступінь захисту. Це дозволяє проводити вимірювання температури у будь-яких умовах вологості та запиленості, а також при повному зануренні датчика у рідину.

Цифровий модуль датчика освітленості LM393 використовує компаратор для визначення рівня світла. Він має цифровий вихід (DO), який змінює свій стан в залежності від порогу, що регулюється змінним резистором. Модуль живиться напругою 3.3-5 В. Ці модулі широко використовуються в робототехніці та інших проектах, де необхідне виявлення рівня освітленості.

Таблиця 2.4 – Технічна характеристика LM393

| Назва | Параметр |
|----------------------------|---|
| Чутливий елемент | фоторезистор |
| Вихід компаратора | 15 мА |
| Робоча напруга | від 3.3В до 5В |
| Цифровий вихід компаратора | (0 і 1) |
| Цифровий вихід DO | до цифрового входу контролера або модуля реле |
| Джерело живлення | DC5V/2A |

Датчики CO₂ MG-811 використовуються для вимірювання концентрації вуглекислого газу. Мета вимірювання CO₂ у теплицях полягає у контролі рівня концентрації вуглекислого газу для оптимізації процесу фотосинтезу, що сприяє

покращенню росту і врожайності рослин. Датчики CO₂ використовуються для точного визначення концентрації вуглекислого газу у повітрі теплиці.

Таблиця 2.5 – Технічна характеристика MG-811

| Назва | Параметр |
|----------------------|------------------------------------|
| Інтерфейс | Аналоговий |
| Вимірюваний газ | діоксид вуглецю (CO ₂) |
| Робоча напруга | 5В |
| Вимірюваний діапазон | від 0 до 0.5% |
| Цифровий вихід DO | від 3.6 до 5.5 В |
| Джерело живлення | DC5V/2A |

В якості датчика вологості ґрунту обрано Gravity від DFRobot через його переваги. Gravity аналоговий ємнісний датчик вологості ґрунту має покращену водонепроникність у порівнянні з попередніми моделями – антикорозійні властивості датчика значно покращені. Також збільшена довжина електродної пластини й оптимізовані вихідні параметри: розширено діапазон вимірювань та підвищена точність результатів.

Таблиця 2.6 – Технічна характеристика Gravity

| Назва | Параметр |
|------------------|----------------|
| Інтерфейс | 3-х вивідний |
| Тип | Аналоговий |
| Напруга живлення | 3,3 В до 5,5 В |
| Вихідна напруга | від 0 В до 3 В |
| Довжина кабелю | 1,5 м |
| Джерело живлення | DC5V/2A |

Застосування модуля реального часу (RTC) на базі DS3231SN для системи «розумна теплиця» забезпечують точне і стабільне відстеження часу для автоматизації процесів. Це дозволяє тоді точно синхронізувати режими поливу, освітлення, вентиляції та інших систем, керуючись графіками або розкладом. Крім того, RTC допомагає вести точний журнал подій і даних, забезпечуючи коректну роботу системи незалежно від переривань електропостачання. Real Time Clock Модуль на DS3231SN.

Таблиця 2.7 – Технічна характеристика Real Time Clock DS3231SN

| Назва | Параметр |
|------------------|--|
| Інтерфейс | I2C, два інтерфейсні сигнали (SCL і SDA) |
| Тип | Аналоговий |
| Напруга живлення | 3,3 В до 5,5 В |
| Точність часу | вбудований термостабілізатор |
| Розрядність | 12- або 24-годинний формат |
| Джерело живлення | Батарея CR2032 |

Для IoT-системи Smart Greenhouse агропідприємства «Зоряний сад» обрано контролер Arduino Mega 2560.

По-перше, Arduino Mega забезпечує достатню обчислювальну потужність для обробки даних з великої кількості сенсорів в режимі реального часу. Її швидкий процесор дозволяє оперативно реагувати на зміни умов та виконувати складні алгоритми керування мікрокліматом теплиці.

По-друге, наявність великої кількості цифрових та аналогових входів/виходів на платі Arduino Mega робить її ідеальним вибором для підключення різноманітних датчиків: температури, вологості, освітленості, рН, рівня CO₂ та інших. Це дозволяє створити комплексну систему моніторингу та керування, яка враховує безліч факторів.

По-третє, Arduino Mega відрізняється високою масштабованістю. Завдяки можливості підключення додаткових модулів та периферійних пристроїв, систему "Розумна Теплиця" можна легко розширювати в міру розвитку проєкту, додаючи нові функції та можливості.

Нарешті, інтеграція модуля NB-IoT для бездротової передачі даних на платформі Arduino Mega є відносно простою та добре документованою. Це забезпечує можливість віддаленого моніторингу та керування теплицею, що особливо важливо для великих та розподілених систем.

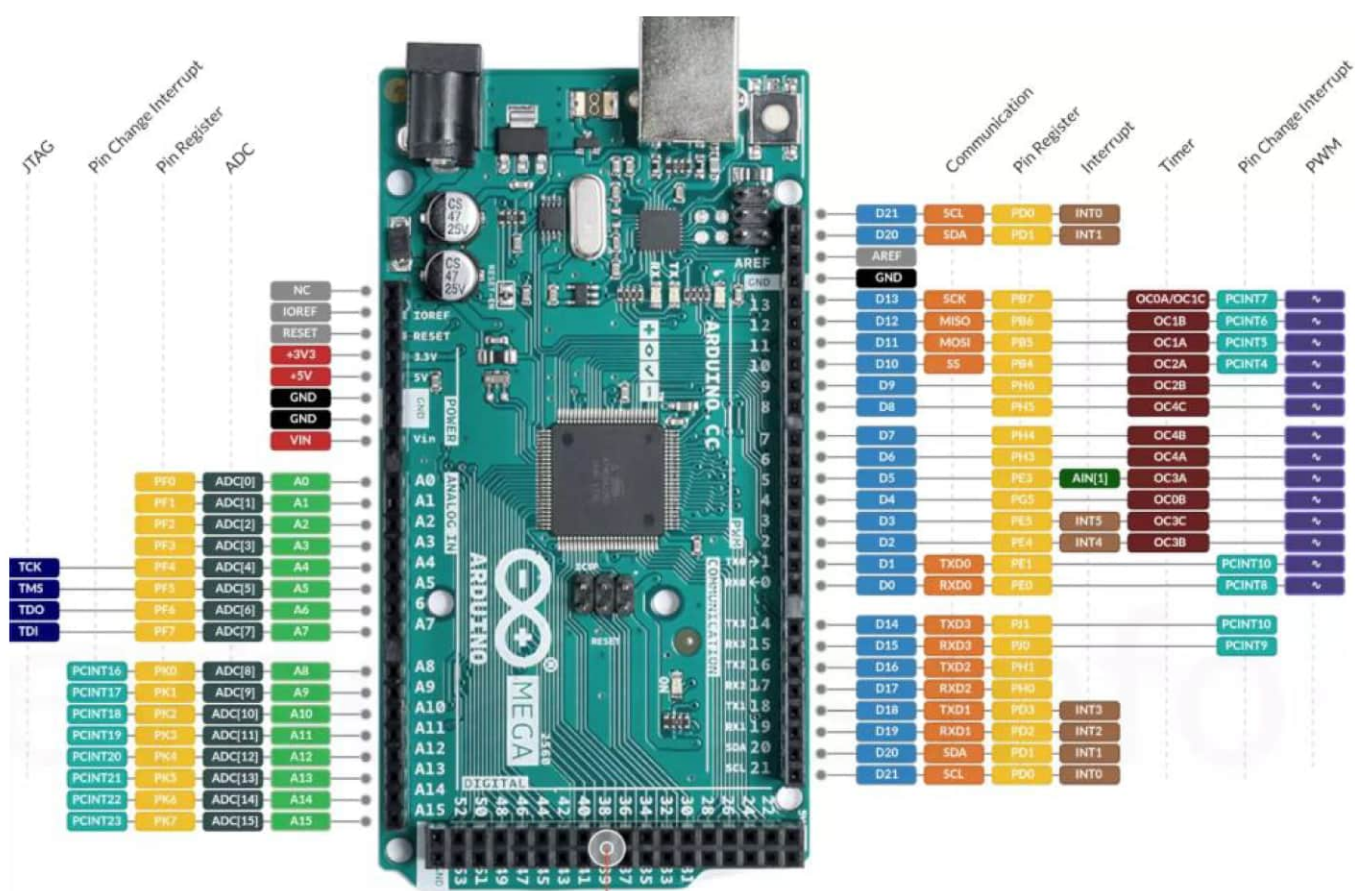


Рисунок 2.4 – Піни Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 є популярною платформою завдяки своїм розширеним можливостям та значній кількості ввідів/виводів. Arduino Mega 2560 має мікроконтролер ATmega2560. Він працює на частоті 16 МГц і має 256 КБ флеш-пам'яті для зберігання програмного коду, 8 КБ SRAM для оперативної пам'яті та 4 КБ EEPROM для зберігання даних, що не потребують постійного

перепрограмування. озрядність АЦП складає 10 біт, що дозволяє отримати значення від 0 до 1023.

Однією з головних переваг цієї плати є велика кількість цифрових входів/виходів (54), з яких 15 можуть бути використані як виходи широтно-імпульсної модуляції (PWM) для керування аналоговими пристроями, такими як двигуни. Також наявні 16 аналогових входів, які забезпечують високу точність вимірювань аналогових сигналів.

Arduino Mega 2560 підтримує декілька протоколів зв'язку, включаючи UART (4 послідовні порти), SPI та I2C, що забезпечує інтеграцію з різноманітними сенсорами, модулями та іншими мікроконтролерами.

Плата живиться від USB-порту або зовнішнього джерела живлення (7-12 В). Вона має вбудований регулятор напруги, що забезпечує стабільну роботу.

Модуль NB-IoT Sim7000E. Sim7000E підтримує роботу в європейському діапазоні частот GSM та NB-IoT. Напруга живлення модуля становить 5 В, а робоча напруга може бути 3.3 В або 5 В. SIM7000E має низьке енергоспоживання, з струмом у сплячому режимі близько 1.2 мА. Модуль також працює в температурному діапазоні від -40°C до $+85^{\circ}\text{C}$. Він часто використовується в пристроях IoT, що потребують зв'язку з низьким енергоспоживанням.

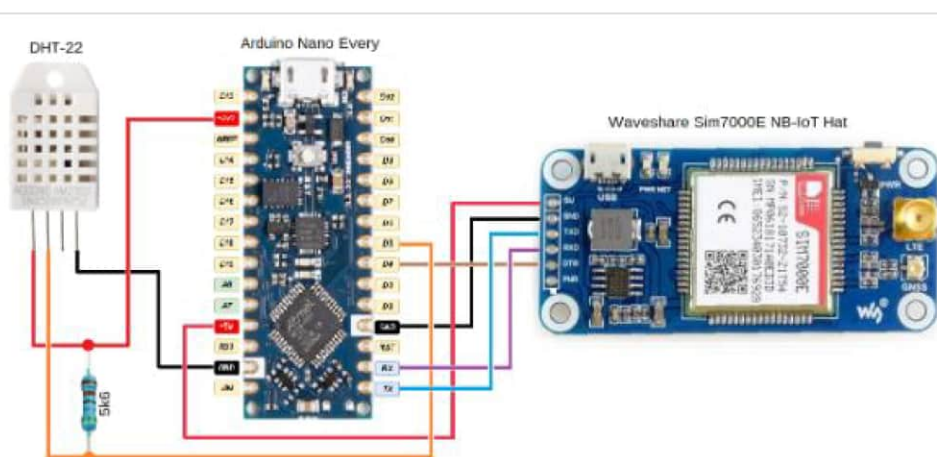


Рисунок 2.5 – Схема з'єднання Sim7000E

Застосування електричної теплої підлоги (нагрівального мату IN-THERM) є рішенням для підтримки оптимальної температури ґрунту в міні-теплиці. Живлення мату IN-THERM від мережі змінного струму 220В.

Типовою практикою є використання потужності в діапазоні 75-100 Вт/м² для забезпечення достатнього обігріву. Розрахунок потужності здійснюється за формулою: $P = I \cdot U$, де P – потужність, I – сила струму, а U – напруга. Таким чином для теплиці в 30 м² необхідно – 3000 Вт. Одним з найважливіших параметрів, який необхідно враховувати при виборі реле, є струм, що комутується. Тобто, $I=3000/220= 13$ А. Необхідне комутуюче реле на 10-30 А.

Для забезпечення освітлення застосовані 6 фітосвітильники для теплиць LFS-220, що мають повну потужність 210 Вт та забезпечують світловий потік в 22000 Лм. Загальна потужність складає 1260Вт, а струм, що комутується 5,8 А. Необхідне комутуюче реле на 10-30 А.

Для забезпечення подачі води в систему крапельного поливу з трубою діаметром 3/4" застосований електромагнітний клапан нормально закритий Rain Bird DV/DVF 075 , що має робочий тиск до 6 бар та напругою живлення 24V AC.

Для забезпечення вентиляції в теплиці застосований осьовий вентилятор продуктивністю, яка забезпечує повітрообмін 1-2 рази на годину. WO-K 200 QuickAir має живлення від мережі змінного струму 220В, потужність 145 Вт. Необхідне комутуюче реле на 5 А.

Таким чином, для системи Smart Greenhouse для керування виконавчими пристроям застосовані 3 релейні модулі 5В 30А та для комутації 24 В твердотільне реле GTA-W-5A.

Таблиця 2.8 – Технічна характеристика релейного модуля 5В 30А SLA-05VDC-SL-C

| Назва | Параметр |
|--------------------------------------|---------------|
| Напруга живлення | 5 В |
| Максимальний струм навантаження реле | 30 А |
| Струм сигналу керування | 3 мА |
| Полярність сигналу керування | перемикається |

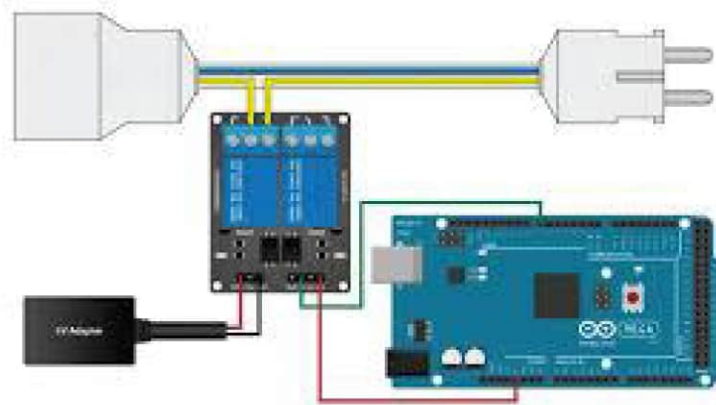


Рисунок 2.6 – Схема з'єднання

Релейний модуль 5В 30А з опторозв'язкою є важливим компонентом в електроніці, який дозволяє контролювати ланцюги з більшим струмом та напругою за допомогою низьковольтних сигналів. Ключовою особливістю цього модуля є наявність опторозв'язки, що забезпечує гальванічну ізоляцію між ланцюгом управління (5В) і керованим ланцюгом (до 30А).

Опторозв'язка досягається за допомогою світлодіода та фототранзистора. Сигнал управління активує світлодіод, світло якого вмикає фототранзистор, який, в свою чергу, вмикає реле. Це дозволяє уникнути пошкоджень контролера через випадкові стрибки напруги або короткі замикання у керованому ланцюзі.

Таблиця 2.9 – Технічна характеристика твердотільного реле GTA-W-5A

| Назва | Параметр |
|----------------------------|------------------------------|
| Напруга живлення | 3-32 В |
| Максимальний робочий струм | 38 мА |
| Режим запуску | тригер високого рівня 3-32 В |
| Напруга | 24-380В |



Рисунок 2.7 – Схема з'єднання

Для підключення контролера до живлення застосований блок живлення AC-DC 220В-12В. Контролери Arduino допускають підключення до нестабілізованого джерела живлення 5-20В, але для стабільної роботи необхідне стабілізоване джерело 5В. Для зниження напруги використовується DC-DC перетворювач LM2596, який дозволяє регулювати вихідну напругу за допомогою підлаштування резистора. Вхідна напруга перетворювача становить 3.2-40В, а вихідна – 1.25-35В. Максимальний вихідний струм досягає 3А за умови належного охолодження.

2.2.3 Розробка переліку вхідних та вихідних сигналів

У таблиці 2.8 наведено опис сигналів, які є вхідними для IoT-системи.

У таблиці 2.9 наведено опис керованих компонентів, для яких IoT-система виробляє вихідні сигнали.

Таблиця 2.10 – Вхідні сигнали

| № | Найменування інформації | Отрим. | Функція | Вид | Форма подання (разрядність, точність) | |
|---|--|--------|---------|---------|---------------------------------------|-----------|
| | | | | | Зовнішня | Внутрішня |
| 1 | Датчик DH21 температури та відносної вологості | A2 | Контр. | Аналог. | 5В | 10 біт |
| 2 | Датчик температури ґрунту DS18B20 | A3 | Контр. | Аналог. | 3,3 В | 10 біт |
| 3 | Датчик освітленості LM393 | A4 | Контр. | Дискр. | 3,3 В | 10 біт |
| 4 | Датчики CO2 MG-811 | A5 | Контр. | Аналог. | 5В | 10 біт |
| 5 | Датчик вологості ґрунту Gravity | A6 | Контр. | Аналог. | 5В | 10 біт |

Таблиця 2.11 – Вихідні сигнали

| № | Найменування інформації | Отрим. | Функція | Вид | Форма подання (разрядність, точність) | |
|---|--------------------------------|--------|---------|---------|---------------------------------------|-----------|
| | | | | | Зовнішня | Внутрішня |
| 1 | Реле SLA-05VDC-SL-C | D0 | Кер. | Дискр.. | ~ 230В | 1біт |
| 2 | Реле SLA-05VDC-SL-C | D1 | Кер. | Дискр. | ~ 230В | 1біт |
| 3 | Реле SLA-05VDC-SL-C | D2 | Кер. | Дискр. | ~ 230В | 1біт |
| 4 | Реле GTA-W-5A | D3 | Кер. | Дискр. | 24 В | 1 біт |
| 5 | Лисплей LCD1602 із модулем I2C | A0 | Кер. | Аналог. | 5В | 10 біт |
| | | A1 | Кер. | Аналог. | 5В | 10 біт |

2.2.4 Принципова схема

На основі структурної схеми (див. рис. 2.3) було розроблено схему електричних з'єднань пристрою для контролю параметрів мікроклімату теплиці.

Даний етап проектування є критично важливим, оскільки визначає фізичну реалізацію системи контролю та її функціональну ефективність. Розроблена схема електричних з'єднань забезпечує чітке та надійне з'єднання між усіма компонентами системи: сенсори (датчики температури та вологості, освітлення) та виконавчі пристрої (вентилятори, системи поливу, обігріву, освітлення) та контролер.

Схема з'єднання, принципова схема та програмування виконані за допомогою середовища моделювання TinkerCad, що має наступні переваги:

- інтерфейс програми простий і зрозумілий;
- TinkerCad є веб-орієнтованим;
- платформа інтегрована з іншими інструментами Autodesk
- TinkerCad підтримує широкий спектр можливостей для проектів, наприклад програмний код експортується в IDE Arduino.

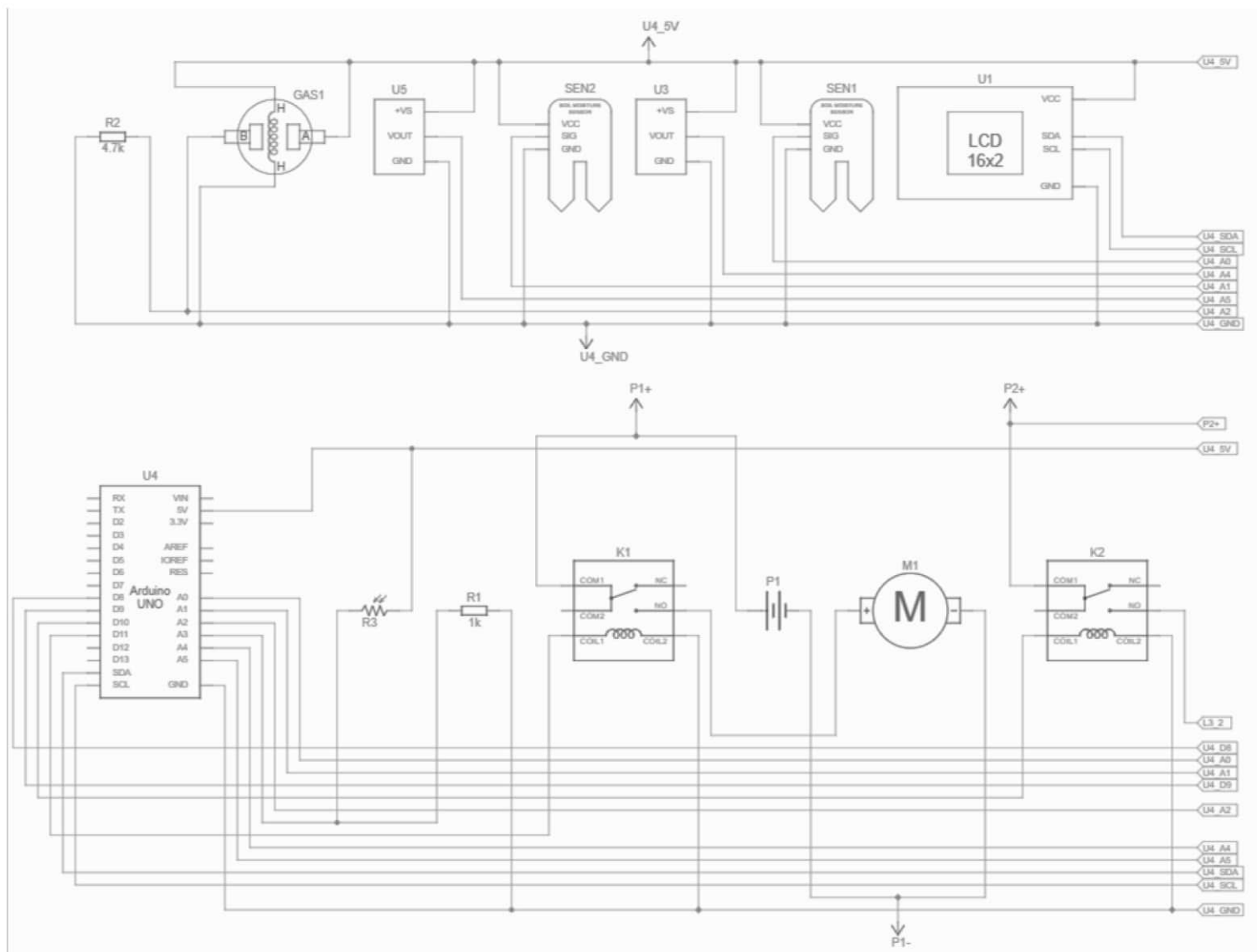


Рисунок 2.8 – Схема принципова

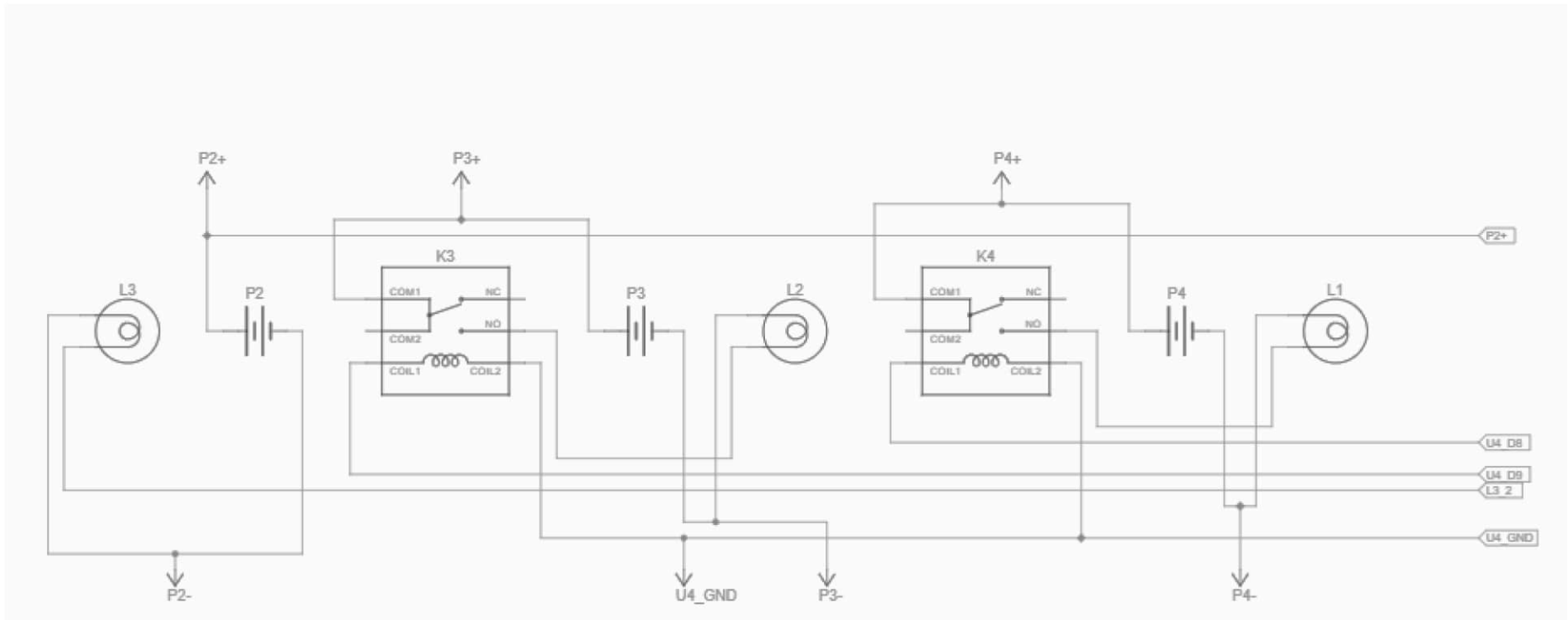


Рисунок 2.9 – Схема принципова

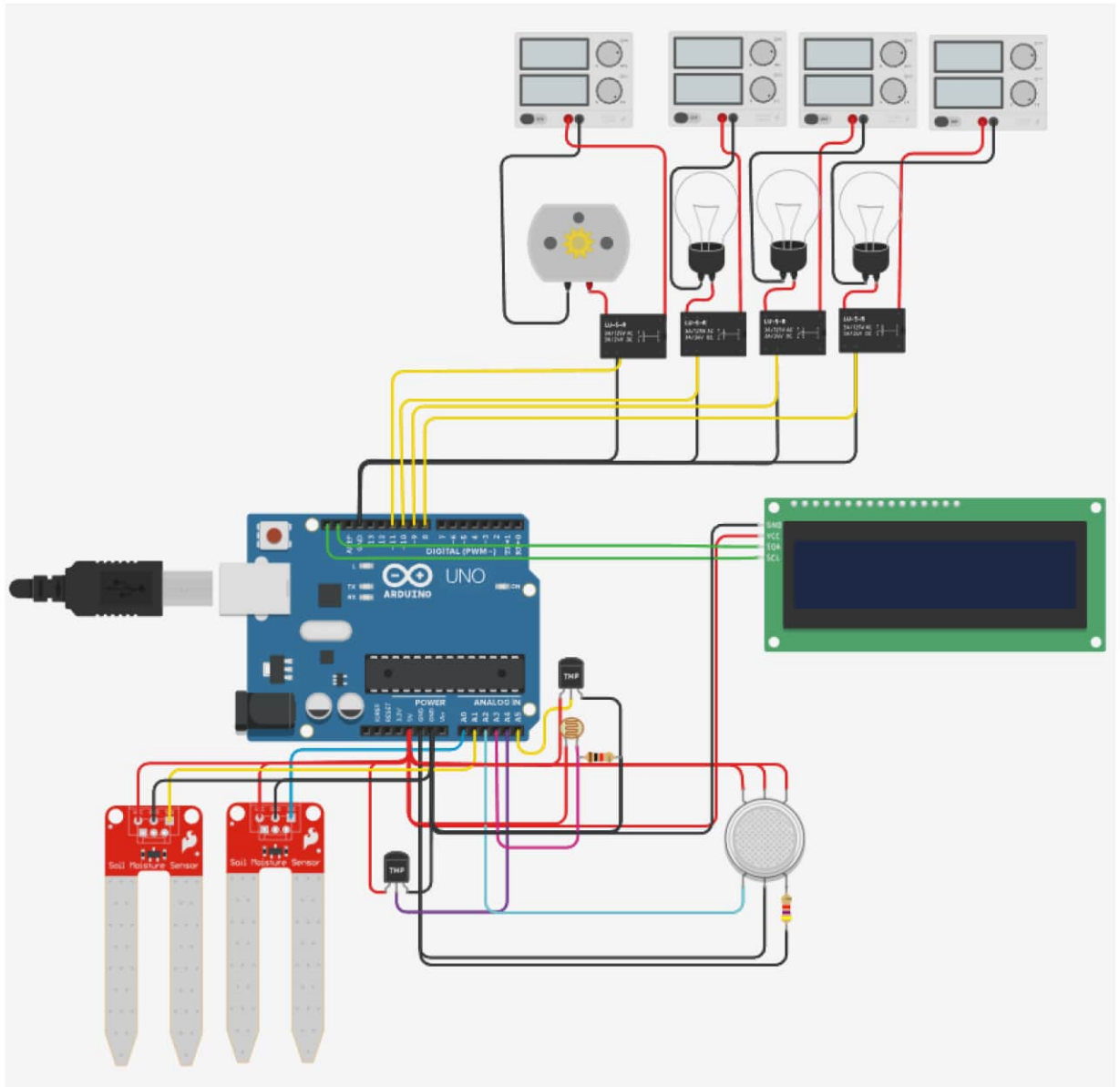


Рисунок 2.10 – Схема системи, модельована в TinkerCad

2.2.5 Реалізація програмного забезпечення

В сучасному сільському господарстві, особливо в контексті вирощування культур в закритому ґрунті, критично важливим є забезпечення оптимальних умов мікроклімату. Для цього впроваджуються розумні системи, здатні автоматично контролювати та регулювати ключові параметри середовища. Важливим етапом розробки такої системи є створення алгоритму, який визначає логічну послідовність дій для підтримки необхідних умов.

Основою будь-якого алгоритму є чіткий перелік інструкцій, що виконуються послідовно для досягнення поставленої мети. В даному випадку,

метою є підтримка оптимального мікроклімату в теплиці шляхом контролю та регулювання температури повітря та ґрунту, вологості повітря та ґрунту, освітленості та концентрації CO₂. Принцип роботи системи полягає в автоматичному вмиканні/вимиканні відповідного інженерного обладнання у відповідь на зміни параметрів середовища.

Алгоритм роботи програми системи керування мікрокліматом теплиці зазвичай починається з ініціалізації. На цьому етапі відбувається підключення необхідних зовнішніх бібліотек, налаштування режимів роботи виводів мікроконтролера та ініціалізація інтерфейсів зв'язку. Далі, програма переходить до головного циклу, де відбувається постійний моніторинг параметрів мікроклімату.

В головному циклі відбувається опитування сенсорів, що вимірюють вологість та температуру повітря, освітленість, концентрацію CO₂ в повітрі та вологість ґрунту. Отримані аналогові сигнали оцифровуються та порівнюються з заданими пороговими значеннями. Це ключовий момент, оскільки саме на основі порівняння з пороговими значеннями приймаються рішення щодо необхідності втручання.

Якщо температура повітря в теплиці опускається нижче встановленого мінімуму (<+20°C повітря) та (<+12°C ґрунту), мікроконтролер надсилає сигнал на реле для ввімкнення нагрівального приладу. В межах діапазону ((+20-24°C повітря та (+12-16°C ґрунту) обігрів вимикається.

При зниженні рівня освітленості нижче допустимої норми (15 000–20 000 люкс – для зелені та томатів), вмикаються освітлювальні прилади подачею керуючого впливу на реле подачі живлення на прибори освітлення.

Контроль вологості ґрунту здійснюється за допомогою аналогічного принципу – при зниженні вологості ґрунту для овочевих культур 70–80% відбувається ввімкнення системи поливу.

Для забезпечення оптимального складу повітря в теплиці використовується система рециркуляції з вентилятором. Оптимальний рівень CO₂ для теплиці з томатами становить приблизно 800–1200 ppm (parts per

million). Це підвищує швидкість фотосинтезу та забезпечує більший урожай і кращу якість рослин. Вентилятор вмикається при виході концентрації CO₂ за межі норми, що сприяє підтримці необхідного балансу.

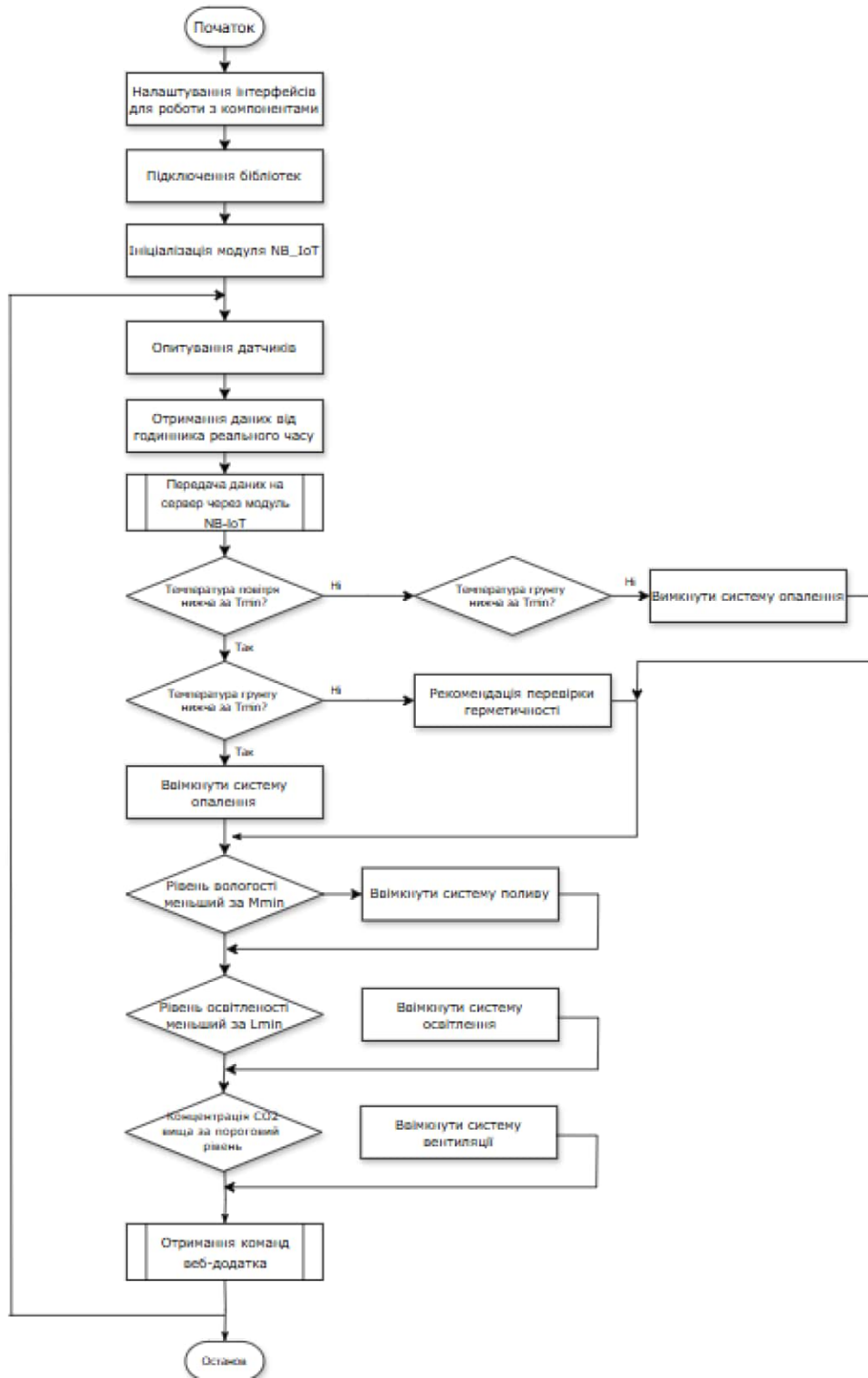


Рисунок 2.10 – Схема алгоритму

Важливим аспектом є передача даних про стан мікроклімату. Результати вимірювань передаються до NB-IoT модуля, який, використовуючи протокол MQTT, надсилає їх до IoT платформи. Це дозволяє користувачу в режимі реального часу відслідковувати параметри мікроклімату за допомогою мобільного додатку та вносити корективи у налаштування системи, якщо це необхідно.

Текст програми наведено в додатку А.

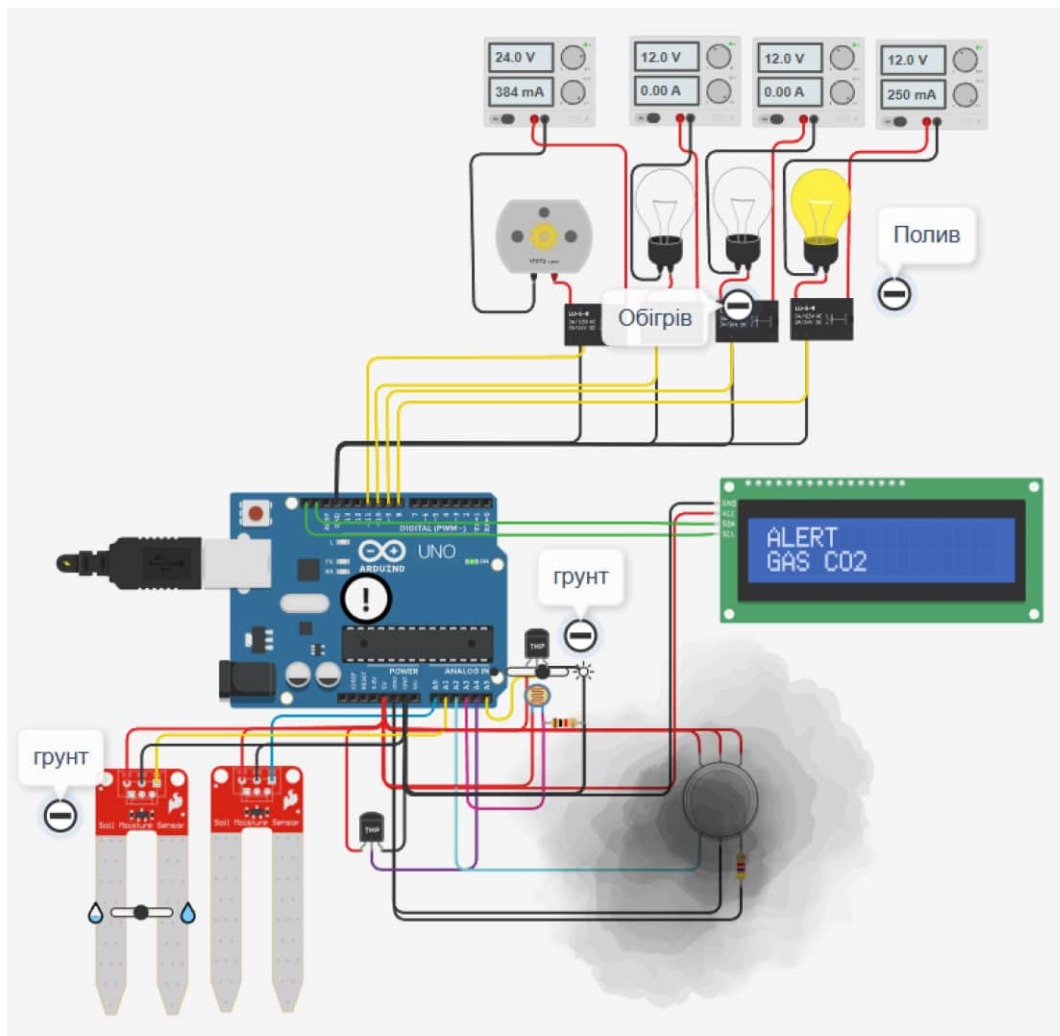


Рисунок 2.11 – Тестування сценарію

Для тестування наведено сценарій де вологість ґрунту становить менше 80% і при цьому вмикається система крапельного поливу (показання струму на приборі). Також при настанні умови, що показники CO₂ перевищують норму, вмикається вентилятор.

3 НАЛАШТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ІОТ

3.1 Розрахунок схеми адресації мережі КС агропідприємства

Впровадження IoT-системи інтелектуальної міні-теплиці відкриває широкі можливості для оптимізації процесу вирощування томатів в обмеженому просторі. Завдяки віддаленому моніторингу та контролю, аграрії можуть управляти мікрокліматом теплиці, мінімізуючи ризики, пов'язані з людським фактором. Крім того, збір та аналіз даних, отриманих з сенсорів IoT, дозволяє приймати обґрунтовані рішення щодо внесення добрив, поливу та інших важливих аспектів догляду за рослинами, що в кінцевому підсумку сприяє підвищенню врожайності та якості продукції.

Система GreenHouse, будучи підмережею в межах загальної мережі агропідприємства, потребує ретельного планування та розподілу IP-адрес для забезпечення належної функціональності її компонентів.

Відповідно до технічних вимог, адресація хостів агропідприємства виконана за VLSM.

Розподіл IP-адрес за допомогою VLSM (Variable Length Subnet Masking) з вихідного блоку 10.24.248.0/21 дозволяє ефективно використовувати адресний простір, оптимізуючи його для потреб різних мереж. Для IoT-системи (LAN2) з 179 хостами необхідно виділити підмережу, достатню для підтримки цієї кількості пристроїв, враховуючи адресний простір для шлюзу та broadcast-адреси. Мережі WAN між маршрутизаторами, використовуючи діапазон 10.78.0.0/26 та інтерфейси Serial, вимагають окремого підходу, де необхідно врахувати мінімальну кількість адрес для з'єднання типу "точка-точка". Сервер, що надає сервіси хмарної платформи та розташований в підмережі IT-відділу агропідприємства, потребує статичної IP-адреси для забезпечення стабільного доступу та надійної роботи сервісів. Такий комплексний підхід до розподілу IP-адрес, з урахуванням специфічних потреб кожної мережі, є ключем до ефективної та масштабованої IT-інфраструктури.

Таблиця 3.1 – Розподіл вихідного блоку IP-адрес «Зоряний сад»

| № | Блок адрес | LAN_1 | LAN_2 | LAN_3 | LAN_4 | LAN_5 |
|---|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 10.24.248.0/21 | 76 | 179 | 163 | 164 | 249 |

LAN_1 – Відділ IT та автоматизації.

LAN_2 – IoT-система Smart GreenHouse.

LAN_3 – Відділ стратегічного розвитку.

LAN_4 – Відділ логістики і збуту.

LAN_5 – Директорат.

Таблиця 3.2 – Схема адресації підмереж АП «Зоряний сад»

| Назва мережі | Необхідна кількість вузлів | Виділена кількість вузлів | Адреса підмережі | Префікс | Діапазон допустимих IP-адрес вузлів |
|--------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------------|---------|-------------------------------------|
| LAN_1 | 221+2 | 256 | 10.24.248.0 255.255.255.0 | /24 | 10.24.248.1 - 10.24.248.254 |
| LAN_2 | 179+2 | 256 | 10.24.249.0 255.255.255.0 | /24 | 10.24.249.1 - 10.24.249.254 |
| LAN_3 | 164+2 | 256 | 10.24.250.0 255.255.255.0 | /24 | 10.24.250.1 - 10.24.250.254 |
| LAN_4 | 163+2 | 256 | 10.24.251.0 255.255.255.0 | /24 | 10.24.251.1 - 10.24.251.254 |
| LAN_5 | 76+2 | 128 | 10.24.252.0 255.255.255.128 | /25 | 10.24.252.1 - 10.24.252.126 |

Канали WAN між маршрутизаторами використовують мережу з діапазону 10.78.0.0/26.

Таблиця 3.3 – Схема адресації маршрутизаторів КС ПА «Зоряний сад»

| Пристрій | Інтерфейс | IP-адрес | Префікс | Пристрій призначення/інтерфейс |
|----------|-------------|------------------------------|---------|-----------------------------------|
| ZoryS_R1 | Gig0/0 | 10.24.248.1 255.255.255.0 | /24 | ZoryS_Sw11/Gig0/0 |
| | Gig0/1 | 10.78.0.9 | /30 | ZoryS_R5/ Gig0/1 |
| | Gig0/2 | 10.78.0.1 | /30 | ZoryS_R4/ Gig0/2 |
| | Serial0/0/1 | 10.78.0.5 | /30 | ZoryS_R3/Serial0/0/1 |
| ZoryS_R2 | Gig0/1 | 10.24.249.1 | /24 | ZoryS_SwL2/Gig0/1 |
| | Gig0/2 | 10.78.0.14 | /30 | ZoryS_R5/Gig0/2 |
| | Gig0/0 | 10.78.0.17 | /30 | ZoryS_R3/Gig0/0 |
| ZoryS_R3 | Serial0/0/0 | 209.165.202.2 | /30 | ISP /Serial0/0/0 |
| | Serial0/0/1 | 10.78.0.6 | /30 | ZoryS_R1/Serial0/0/1 |
| | Gig0/0 | 10.78.0.18 | /30 | ZoryS_R2/Gig0/0 |
| | Gig0/1 | 10.78.0.21 | /30 | ZoryS_R4/Gig0/1 |
| ZoryS_R4 | Gig0/0 | 10.24.250.1 | /24 | ZoryS_SwL3/G0/0 |
| | Gig0/1 | 10.78.0.22 | /30 | ZoryS_R3/G0/1 |
| | Gig0/2 | 10.78.0.2 | /30 | ZoryS_R1/Gig0/2 |
| ZoryS_R5 | Gig0/0 | 10.24.252.1 | /24 | ZoryS_SwL5/G0/0 |
| | Gig0/1 | 10.78.0.10 | /30 | ZoryS_R1/G0/1 |
| | Gig0/2 | 10.78.0.14 | /30 | ZoryS_R2/Gig0/2 |
| ZoryS_R0 | Gig0/0 | 64.10.20.2 | /24 | Sw_isp Gig0/0 |
| | Gig0/1 | 10.24.251.1 | /30 | ZoryS_SwL4/G0/1 |
| ISP_RT | Gig0/0 | 64.10.20.1 | /24 | Sw_isp Gig0/0 |
| | Serial0/0/0 | 209.165.202.1 | /30 | ZoryS_R3/Serial0/0/0 |

Таблиця 3.4 – Схема адресації SVI комутаторів

| Підмережа | Пристрій | IP-адрес | Маска мережі | Адреса шлюзу |
|-----------|-----------|---------------|-----------------|--------------|
| LAN_1 | ITA_Sw1.1 | 10.24.248.2 | 255.255.255.0 | 10.24.248.1 |
| | ITA_Sw1.2 | 10.24.248.3 | 255.255.255.0 | 10.24.248.1 |
| | ITA_Sw1.3 | 10.24.248.4 | 255.255.255.0 | 10.24.248.1 |
| LAN_2 | Sw_L2 | 10.24.249.2 | 255.255.255.0 | 10.24.249.1 |
| LAN_4 | Sw_L4.1 | 10.24.251.98 | 255.255.255.224 | 10.24.251.97 |
| | Sw_L4.2 | 10.24.251.99 | 255.255.255.224 | 10.24.251.97 |
| | Sw_L4.2 | 10.24.251.100 | 255.255.255.224 | 10.24.251.97 |
| LAN_5 | Sw_15 | 10.24.252.2 | 255.255.255.128 | 10.24.252.2 |
| LAN_3 | Sw_L3 | 10.24.250.2 | 255.255.255.0 | 10.24.250.1 |

Таблиця 3.5 – Схема адресації підмереж VLAN

| Назва мережі | Необхідна кількість вузлів | Виділена кількість вузлів | Адреса підмережі | Префікс | Діапазон допустимих IP-адрес вузлів |
|--------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------------|---------|-------------------------------------|
| VLAN_11 | 30 | 30 | 10.24.251.0 255.255.255.224 | /27 | 10.24.251.1 - 10.24.251.30 |
| VLAN_12 | 30 | 30 | 10.24.251.32 255.255.255.224 | /27 | 10.24.251.33 - 10.24.251.62 |
| VLAN_13 | 30 | 30 | 10.24.251.64 255.255.255.224 | /27 | 10.24.251.65 - 10.24.251.94 |
| VLAN_99 | 10 | 14 | 10.24.251.96 255.255.255.240 | /28 | 10.24.251.97 - 10.24.251.110 |

Агропідприємство "Зоряний сад" використовує логічну топологію мережі, що складається з п'яти окремих підмереж, кожна з яких сегментована роутером. Цей підхід забезпечує ефективний розподіл трафіку та підвищує загальну безпеку мережі.

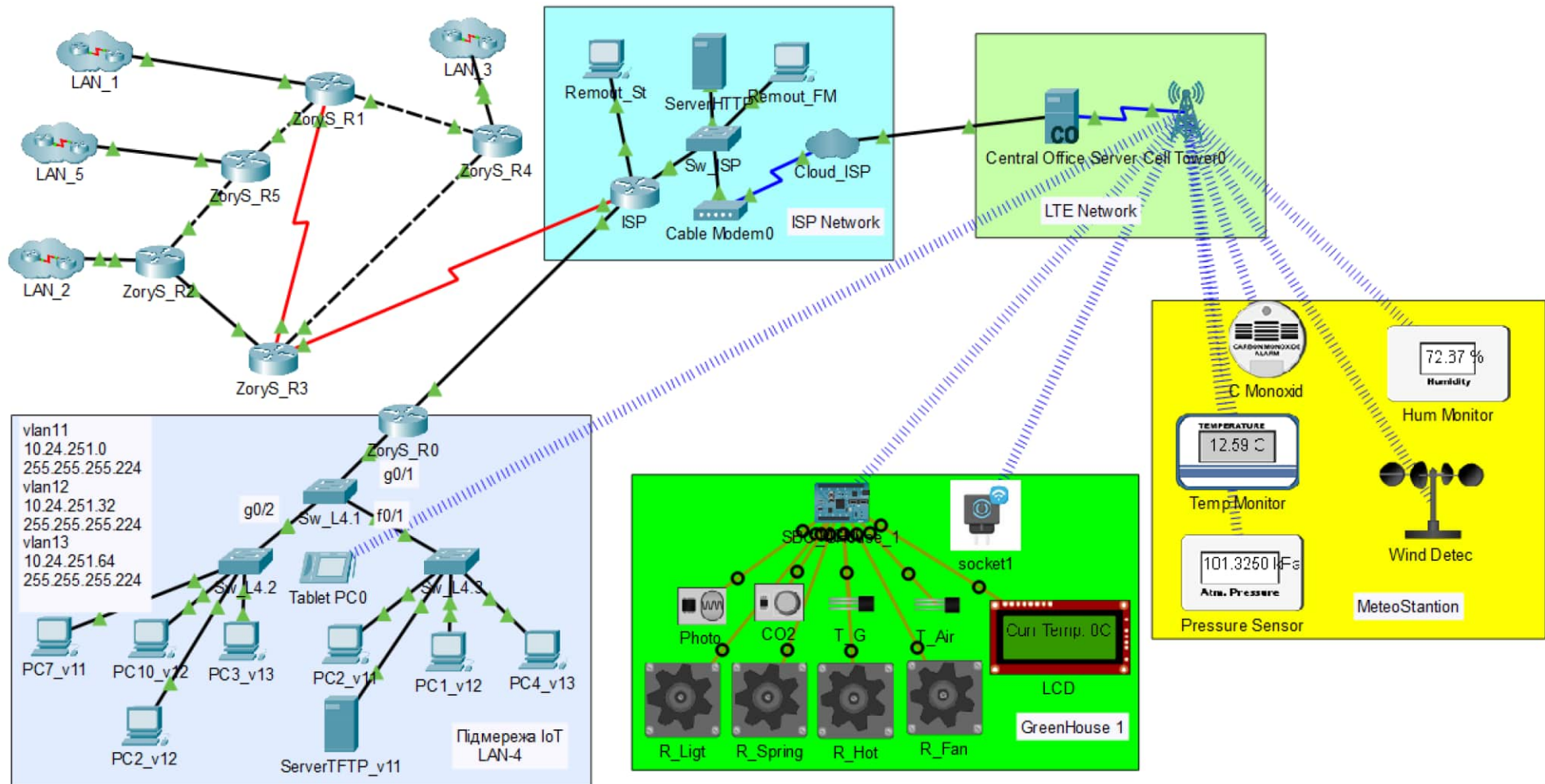


Рисунок 3.1 – Топологія мережі

Зв'язок між роутерами реалізовано через WAN-канали, що використовують IP-адреси з блоку 10.78.0.0/26. Технології Ethernet та Serial застосовуються для фізичного з'єднання роутерів, що дозволяє забезпечити надійну та масштабовану інфраструктуру для передачі даних між підрозділами підприємства. Використання роутерів для сегментації мережі та WAN-каналів для зв'язку демонструє продуманий підхід до побудови мережевої інфраструктури, спрямований на забезпечення стабільної та продуктивної роботи IT-систем агропідприємства.

3.2 Заходи налаштування функцій мережі агропідприємства «Зоряний сад»

Мережа сучасного агропідприємства є критично важливим елементом його інфраструктури, забезпечуючи зв'язок між різними підрозділами, автоматизацію процесів та ефективне управління ресурсами. У рамках налаштування мережі агропідприємства «Зоряний сад» було здійснено комплекс заходів, спрямованих на забезпечення стабільності, безпеки та продуктивності мережевої інфраструктури.

Першим етапом стало налаштування базової конфігурації маршрутизаторів Cisco IOS. Цей етап включав присвоєння кожному пристрою унікального імені, створення локального користувача та домену для автентифікації, а також налаштування надійних паролів до операційної системи. Забезпечення безпеки було пріоритетним завданням, тому було впроваджено захист портів віддаленого доступу для запобігання несанкціонованому доступу до мережі. Для попередження потенційних зловмисників було налаштовано інформаційний банер MOTD. З метою забезпечення конфіденційності паролів, було застосовано шифрування паролів з ключем RSA 1024 біт, що значно підвищує рівень захисту від атак.

```

Router>enable
Router#configure terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
Router(config)#hostname ZoryS_R4
ZoryS_R4(config)#no ip domain-lookup
ZoryS_R4(config)#service password-encryption
ZoryS_R4(config)#enable secret Atmanzin
ZoryS_R4(config)#line console 0
ZoryS_R4(config-line)#password cisco
ZoryS_R4(config-line)#login
ZoryS_R4(config-line)#exit
ZoryS_R4(config)#line vty 0 15
ZoryS_R4(config-line)#password cisco
ZoryS_R4(config-line)#login local
ZoryS_R4(config-line)#trans inp ssh
ZoryS_R4(config-line)#exit
ZoryS_R4(config)#banner motd #123-22sk Atmanzin. Have access to system!#
ZoryS_R4(config)#username 12322sk_Atmanzin password cisco
ZoryS_R4(config)#ip domain-name ZoryS_R4
ZoryS_R4(config)#cryp key g r
The name for the keys will be: ZoryS_R4.ZoryS_R4
Choose the size of the key modulus in the range of 360 to 4096 for your
General Purpose Keys. Choosing a key modulus greater than 512 may take
a few minutes.

How many bits in the modulus [512]: 1024
% Generating 1024 bit RSA keys, keys will be non-exportable...[OK]

```

Рисунок 3.2 – Приклад базового налаштування на ZoryS_R4

Наступним кроком стало налаштування інтерфейсів маршрутизаторів відповідно до технічних вимог та схеми адресації. Враховуючи вимоги до швидкості передачі даних, було використано інтерфейси Gigabit Ethernet, що дозволило забезпечити високу пропускну здатність мережі. Правильна адресація є ключовим аспектом функціонування мережі, тому було приділено особливу увагу відповідності IP-адрес та масок підмереж узгодженій схемі.

```

ZoryS_R4(config)#int g0/1
ZoryS_R4(config-if)#description TO R3
ZoryS_R4(config-if)#ip add 10.78.0.22 255.255.255.252
ZoryS_R4(config-if)#no shutdown

ZoryS_R4(config-if)#exit
%LINK-5-CHANGED: Interface GigabitEthernet0/0, changed state to up

%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface GigabitEthernet0/0, changed state to
up

```

Рисунок 3.3 – Приклад налаштування інтерфейса Gigabit Ethernet

Для забезпечення динамічної маршрутизації та автоматичного вибору оптимальних шляхів передачі даних було налаштовано протокол EIGRP (Enhanced Interior Gateway Routing Protocol) з номером автономної системи 1. EIGRP є гібридним протоколом, який поєднує в собі переваги дистанційно-векторних та лінково-локальних протоколів, забезпечуючи швидку збіжність та ефективне використання мережевих ресурсів.

```
ZoryS_R4(config)#router eigrp 1
ZoryS_R4(config-router)#redistribute static
ZoryS_R4(config-router)#no auto-summary
ZoryS_R4(config-router)#network 10.78.0.0 0.0.0.3
ZoryS_R4(config-router)#network 10.78.0.20 0.0.0.3
ZoryS_R4(config-router)#network 10.24.250.0 0.0.0.255
ZoryS_R4(config-router)#exit
ZoryS_R4(config)#ip route 0.0.0.0 0.0.0.0 209.165.202.1
```

Рисунок 3.4 – Приклад налаштування EIGRP

```
ZoryS_R0#sh ip route
Codes: L - local, C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2, E - EGP
i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, ia - IS-IS inter area
* - candidate default, U - per-user static route, o - ODR
P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is 209.165.202.1 to network 0.0.0.0

10.0.0.0/8 is variably subnetted, 15 subnets, 5 masks
D 10.24.248.0/24 [90/2170880] via 64.100.13.1, 00:48:17, GigabitEthernet0/0
D 10.24.250.0/24 [90/2170624] via 64.100.13.1, 00:48:17, GigabitEthernet0/0
C 10.24.251.0/27 is directly connected, GigabitEthernet0/1.11
L 10.24.251.1/32 is directly connected, GigabitEthernet0/1.11
C 10.24.251.32/27 is directly connected, GigabitEthernet0/1.12
L 10.24.251.33/32 is directly connected, GigabitEthernet0/1.12
C 10.24.251.64/27 is directly connected, GigabitEthernet0/1.13
L 10.24.251.65/32 is directly connected, GigabitEthernet0/1.13
C 10.24.251.96/28 is directly connected, GigabitEthernet0/1.99
L 10.24.251.97/32 is directly connected, GigabitEthernet0/1.99
D 10.78.0.0/30 [90/2170624] via 64.100.13.1, 00:48:17, GigabitEthernet0/0
D 10.78.0.4/30 [90/2682112] via 64.100.13.1, 00:48:17, GigabitEthernet0/0
D 10.78.0.8/30 [90/2170880] via 64.100.13.1, 00:48:17, GigabitEthernet0/0
D 10.78.0.16/30 [90/2170368] via 64.100.13.1, 00:48:17, GigabitEthernet0/0
D 10.78.0.20/30 [90/2170368] via 64.100.13.1, 00:48:17, GigabitEthernet0/0
64.0.0.0/8 is variably subnetted, 3 subnets, 3 masks
C 64.100.13.0/30 is directly connected, GigabitEthernet0/0
L 64.100.13.2/32 is directly connected, GigabitEthernet0/0
D 64.200.13.0/28 [90/3072] via 64.100.13.1, 00:48:17, GigabitEthernet0/0
209.165.201.0/28 is subnetted, 1 subnets
D 209.165.201.0/28 [90/5376] via 64.100.13.1, 00:48:17, GigabitEthernet0/0
209.165.202.0/30 is subnetted, 1 subnets
D 209.165.202.0/30 [90/2170112] via 64.100.13.1, 00:48:17, GigabitEthernet0/0
S* 0.0.0.0/0 [1/0] via 209.165.202.1
```

Рисунок 3.5 – Перевірка налаштування динамічної маршрутизації

Для автоматичного налаштування IP-адрес, масок підмереж та інших мережесих параметрів на кінцевих пристроях було налаштовано DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) у відповідних підмережах. DHCP значно спрощує адміністрування мережі, автоматизуючи процес призначення IP-адрес та запобігаючи конфліктам IP-адрес.

```
ZoryS_R4(config)#service DHCP
ZoryS_R4(config)#ip dhcp ex 10.24.250.1 10.24.250.10
ZoryS_R4(config)#ip dhcp pool LAN_IT
ZoryS_R4(dhcp-config)#net 10.24.250.0 255.255.255.0
ZoryS_R4(dhcp-config)#def 10.24.250.1
ZoryS_R4(dhcp-config)#dns 10.24.250.9
ZoryS_R4(dhcp-config)#exit
```

Рисунок 3.6 – Приклад налаштування DHCP для LAN_3

```
ZoryS_R4#show ip dhcp binding
IP address      Client-ID/      Lease expiration      Type
Hardware address
10.24.250.11    0002.4A01.45EC  --                    Automatic
10.24.250.12    0090.0C4B.6B9B  --                    Automatic
10.24.250.13    00D0.D33D.A99C  --                    Automatic
10.24.250.14    0006.2ABE.0A04  --                    Automatic
10.24.250.15    0007.ECDB.3BE8  --                    Automatic
```

Рисунок 3.7 – Перевірка налаштування DHCP на ZoryS_R4

Перевірка роботи мережі за протоколом ICMP дозволяє визначити доступність та стан мережесих з'єднань між пристроями, допомагаючи діагностувати проблеми з мережею та оцінити її швидкодію і стабільність.











| Fire | Last Status | Source | Destination | Type | Color |
|---|-------------|-----------------|-------------|------|---|
|  | Successful | Pressure Sensor | ServerHTTP | ICMP |  |
|  | Successful | IT_PC6 | IT_PC5 | ICMP |  |
|  | Successful | IT_PC5 | ServerIoT | ICMP |  |
|  | Successful | IT_PC1 | ServerFTP | ICMP |  |
|  | Successful | SR_PC3 | Remout_St | ICMP |  |

Рисунок 3.8 – Перевірка доступності вузлів

З метою забезпечення доступу внутрішньої мережі до Інтернету та приховування внутрішньої структури мережі було налаштовано NAT (Network Address Translation) на пограничному маршрутизаторі ZoryS_R3. NAT дозволяє приховувати внутрішні IP-адреси за однією або кількома зовнішніми IP-адресами, що забезпечує додатковий рівень безпеки та дозволяє ефективно використовувати обмежений пул зовнішніх IP-адрес.

```
ZoryS_R3(config)#access-list 1 permit 10.24.248.0 0.0.7.255
ZoryS_R3(config)#ip nat pool Internet 209.165.200.5 209.165.200.30 netmask
255.255.255.224
ZoryS_R3(config)#ip nat inside source list 1 pool Internet
ZoryS_R3(config)#ip nat inside source static 10.24.250.10 209.165.200.3
ZoryS_R3(config)#ip route 0.0.0.0 0.0.0.0 209.165.202.1
ZoryS_R3(config)#ip route 10.24.248.0 255.255.248.0 s0/0/0
%Default route without gateway, if not a point-to-point interface, may impact
performance
ZoryS_R3(config)#interface s0/0/0
ZoryS_R3(config-if)#ip nat outside
ZoryS_R3(config-if)#interface g0/1
ZoryS_R3(config-if)#ip nat inside
ZoryS_R3(config-if)#interface g0/0
ZoryS_R3(config-if)#ip nat inside
ZoryS_R3(config-if)#interface s0/0/1
ZoryS_R3(config-if)#ip nat inside
ZoryS_R3(config-if)#exit
```

Рисунок 3.9 – Приклад налаштування NAT та PAT на ZoryS_R3

```
ZoryS_R3#show ip nat translations
Pro  Inside global      Inside local          Outside local         Outside global
icmp 209.165.200.14:2    10.24.248.10:2       64.200.13.7:2        64.200.13.7:2
icmp 209.165.200.14:4    10.24.248.10:4       64.200.13.8:4        64.200.13.8:4
icmp 209.165.200.15:1    10.24.250.13:1       64.200.13.7:1        64.200.13.7:1
icmp 209.165.200.15:6    10.24.250.13:6       64.200.13.8:6        64.200.13.8:6
icmp 209.165.200.16:2    10.24.250.12:2       64.200.13.7:2        64.200.13.7:2
icmp 209.165.200.16:3    10.24.250.12:3       209.165.201.5:3      209.165.201.5:3
icmp 209.165.200.17:5    10.24.250.15:5       64.200.13.7:5        64.200.13.7:5
--- 209.165.200.3       10.24.250.10         ---                   ---
```

Рисунок 3.10 – Перевірка трансляції адрес

Налаштування функцій мережі агропідприємства «Зоряний сад» включають в себе впровадження технології VLAN в підмережі IoT. Створено три віртуальні підмережі для сегментації трафіку та підвищення безпеки. Маршрутизатор налаштовано для підтримки VLAN, забезпечуючи ефективну

комунікацію між віртуальними підмережами та іншими сегментами мережі. Це дозволяє оптимізувати управління пристроями IoT та підвищити загальну продуктивність мережі агропідприємства. При налаштуванні VLAN основний протокол, який використовується на роутері, — це IEEE 802.1Q. Він відповідає за тегування VLAN у Ethernet-кабеляти і є стандартом для роботи з VLAN-мережами.

```
ZoryS_R0(config-if)#int g0/1.11
ZoryS_R0(config-subif)#enc d 11
ZoryS_R0(config-subif)#ip add 10.24.251.1 255.255.255.224
ZoryS_R0(config-subif)#no shut
ZoryS_R0(config-subif)#exit
ZoryS_R0(config)#int g0/1.12
ZoryS_R0(config-subif)#enc d 12
ZoryS_R0(config-subif)#ip add 10.24.251.33 255.255.255.224
ZoryS_R0(config-subif)#no shut
ZoryS_R0(config-subif)#exit
ZoryS_R0(config)#int g0/1.13
ZoryS_R0(config-subif)#enc d 13
ZoryS_R0(config-subif)#ip add 10.24.251.65 255.255.255.224
ZoryS_R0(config-subif)#no shut
ZoryS_R0(config-subif)#exit
ZoryS_R0(config)#int g0/1.99
ZoryS_R0(config-subif)#enc d 99
ZoryS_R0(config-subif)#ip add 10.24.251.97 255.255.255.240
ZoryS_R0(config-subif)#no shut
ZoryS_R0(config-subif)#exit
```

Рисунок 3.11 – Налаштування роутера ZoryS_R3 на підтримку IEEE 802.1Q

```
Sw_L4.2#show vlan brief
```

| VLAN | Name | Status | Ports |
|------|------------|--------|--|
| 1 | default | active | Fa0/1, Fa0/2, Fa0/3, Fa0/4 Fa0/11, Fa0/15, Fa0/21, Fa0/22 Fa0/23, Fa0/24, Gig0/1 |
| 11 | Specialist | active | Fa0/5, Fa0/6, Fa0/7, Fa0/8 Fa0/9, Fa0/10 |
| 12 | Servers | active | Fa0/12, Fa0/13, Fa0/14 |
| 13 | Menedger | active | Fa0/16, Fa0/17, Fa0/18, Fa0/19 Fa0/20 |
| 99 | Management | active | |
| 100 | Native | active | |

Рисунок 3.12 – Перевірка VLAN на комутаторі

| Fire | Last Status | Source | Destination | Type | Color |
|------|-------------|----------------|-------------|------|-------|
| | Successful | PC7_v11 | PC10_v12 | ICMP | |
| | Successful | PC7_v11 | PC4_v13 | ICMP | |
| | Successful | PC3_v13 | PC2_v12 | ICMP | |
| | Successful | ServerTFTP_v11 | PC4_v13 | ICMP | |
| | Successful | ServerTFTP_v11 | Remout_St | ICMP | |

Рисунок 3.13 – Перевірка доступності вузлів в мережах

Port Status Summary Table for ZoryS_R0

Device Name: ZoryS_R0
 Device Model: 2911
 Hostname: ZoryS_R0

| Port | Link | VLAN | IP Address | IPv6 Address | MAC Address |
|-----------------------|------|------|-----------------|--------------|----------------|
| GigabitEthernet0/0 | Up | -- | 64.100.13.2/30 | <not set> | 0001.4333.9D01 |
| GigabitEthernet0/1 | Up | -- | <not set> | <not set> | 0001.4333.9D02 |
| GigabitEthernet0/1.11 | Up | -- | 10.24.251.1/27 | <not set> | 0001.4333.9D02 |
| GigabitEthernet0/1.12 | Up | -- | 10.24.251.33/27 | <not set> | 0001.4333.9D02 |
| GigabitEthernet0/1.13 | Up | -- | 10.24.251.65/27 | <not set> | 0001.4333.9D02 |
| GigabitEthernet0/1.99 | Up | -- | 10.24.251.97/28 | <not set> | 0001.4333.9D02 |
| GigabitEthernet0/2 | Down | -- | <not set> | <not set> | 0001.4333.9D03 |
| Serial0/0/0 | Down | -- | <not set> | <not set> | <not set> |
| Serial0/0/1 | Down | -- | <not set> | <not set> | <not set> |
| Vlan1 | Down | 1 | <not set> | <not set> | 0006.2A61.7A41 |

Рисунок 3.14 – Перевірка Налаштування роутера ZoryS_R3 на підтримку IEEE 802.1Q

3.4 Заходи налаштування функцій IoT-системи SmartGreenhouse

Сучасне сільське господарство дедалі більше покладається на технології Інтернету речей (IoT) для оптимізації виробничих процесів та підвищення врожайності. В агропідприємстві «Зоряний сад» впроваджено IoT-систему для автоматизованого керування мікрокліматом у теплицях. Ця система базується на поєднанні сучасних технологій бездротового зв'язку та хмарних обчислень, забезпечуючи моніторинг і керування ключовими параметрами середовища.

Система складається з кількох ключових компонентів, інтегрованих для забезпечення оптимальних умов вирощування.

Розумні реле з підтримкою NB-IoT, встановлені на фрамужних відкривачах, забезпечують дистанційне керування провітрюванням. Також в системі задіяний контролер, який виконує туманні обчислення для аналізу даних сенсорів і прийняття рішень щодо керування виконавчими пристроями. Цей контролер оснащений модулем NB-IoT для бездротової передачі даних. Для забезпечення надійного зв'язку контролера з мережею використовується шлюз Robustel M1200, який забезпечує доступ до стільникової мережі.

Важливим елементом системи є метеостанція μ METOS, яка здійснює моніторинг погодних умов на ділянці теплиць. Метеостанція підтримує підключення до мобільних мереж LTE-M та NB-IoT, що забезпечує безперервну передачу даних про температуру, вологість, освітленість та інші важливі показники.

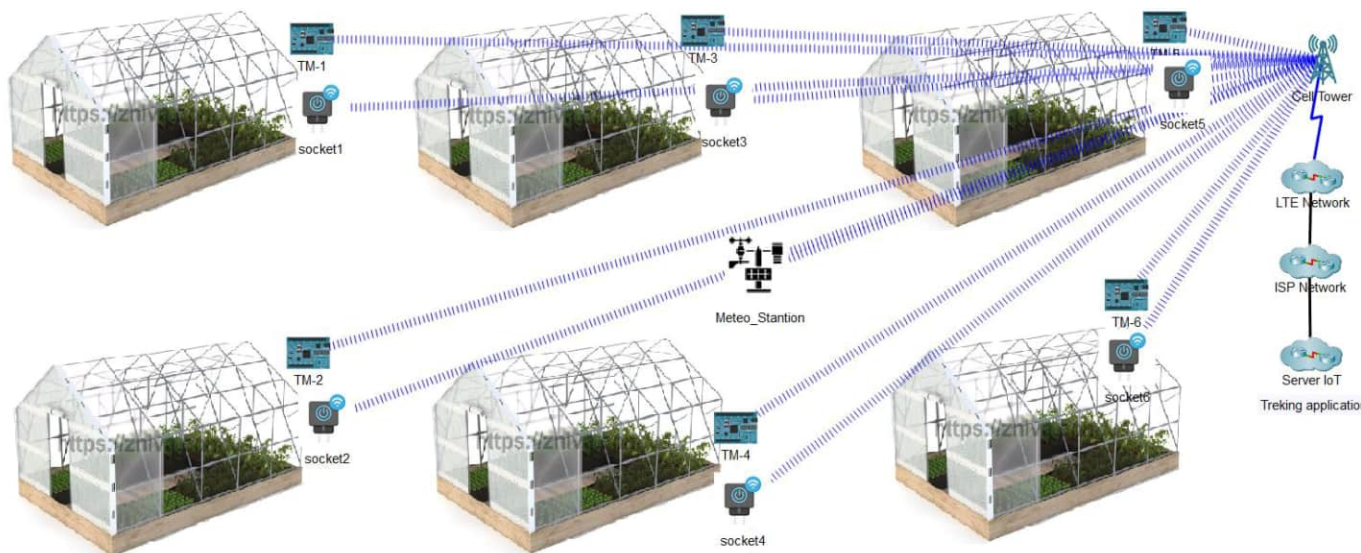


Рисунок 3.15 – Схема організації зв'язку розумних пристроїв

Зібрані дані з розумних реле, контролера туманних обчислень та метеостанції передаються через стільникову мережу провайдера на хмарну платформу. Ця платформа розміщена на сервері в мережі агропідприємства і використовує хмарні сервіси для відображення стану розумних пристроїв та керування ними за заданими сценаріями. Інтерфейс IoT дозволяє

користувачам в реальному часі відстежувати параметри мікроклімату та дистанційно регулювати роботу виконавчих механізмів, наприклад, відкривати або закривати фрамуги для провітрювання.

Для підключення до мережі стільникового зв'язку в середовищі симулятора мереж Packet Tracer необхідно налаштувати Central Office Server, який через інтерфейс Backbone надає можливість підключення до мережного обладнання провайдера і отримувати налаштування TCP/IP від провайдера. Інтерфейс Tower надає пул IP-адрес для хостів, що приєднуються.

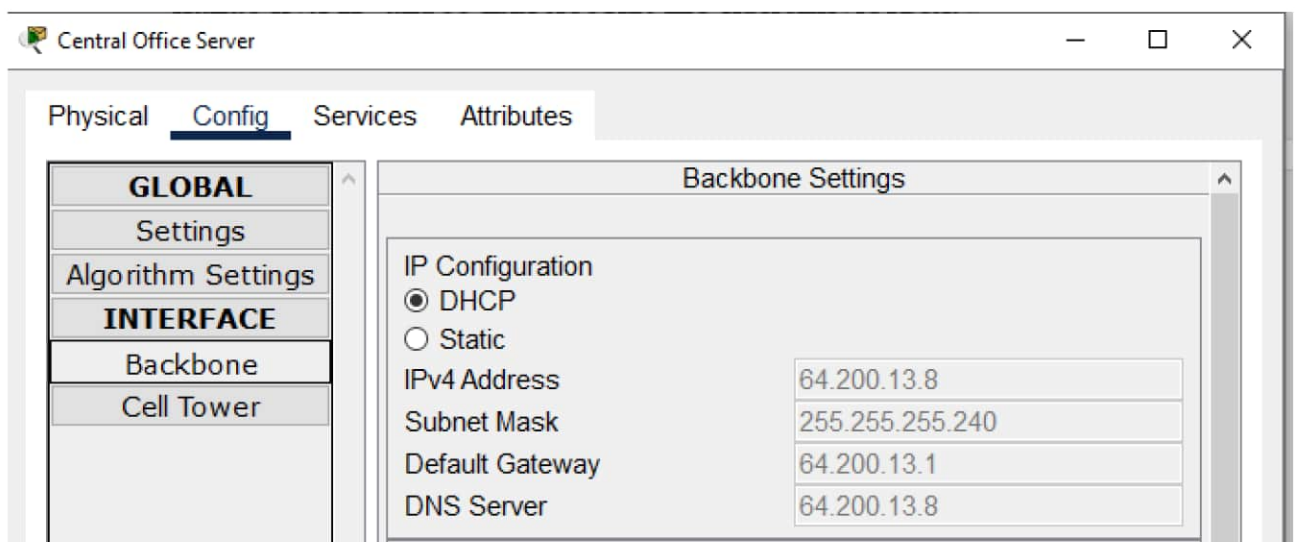


Рисунок 3.16 – Налаштування Central Office Server

Для налаштування розумних пристроїв, необхідно додати адаптер підтримки стільникових мереж, та виконати підключення до хмарного сервісу.

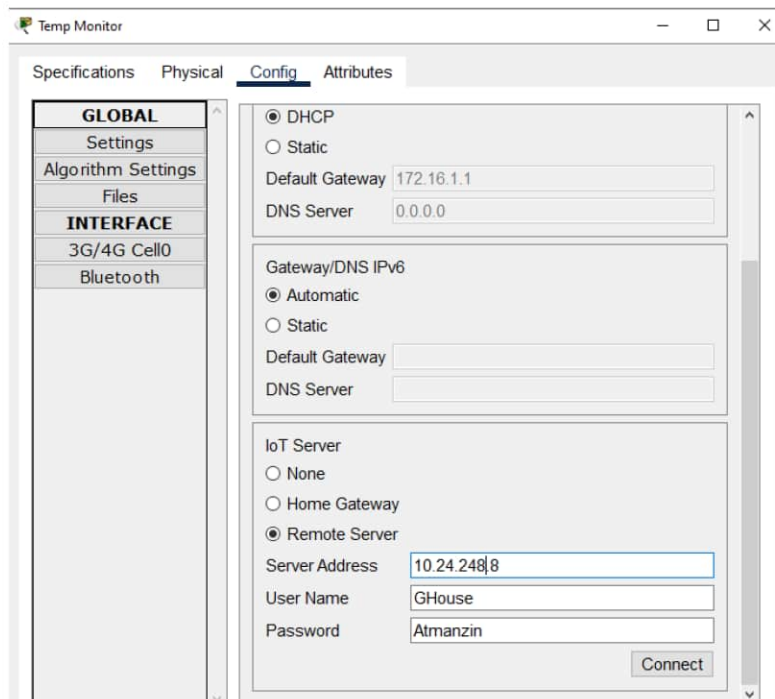


Рисунок 3.17 – Налаштування метеостанції

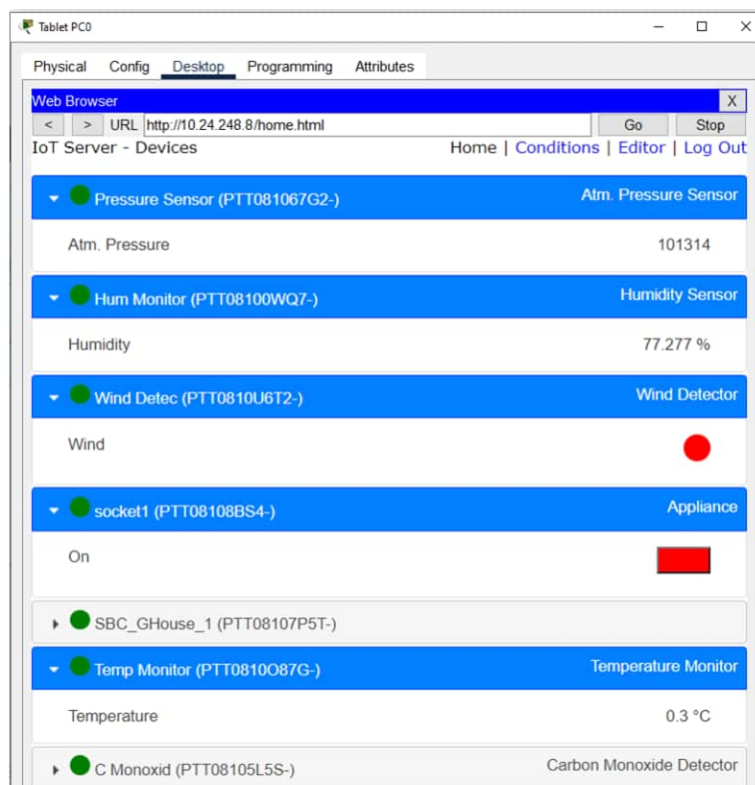


Рисунок 3.18 – Інтерфейс веб-сервісу з підключеними пристроями

IoT-система мікроклімату теплиць відкриває можливості для довготривалого вирощування рослин, особливо чутливих до навколишніх умов, практично без необхідності постійного нагляду. Принцип її дії полягає в безперервному аналізі змін мікроклімату всередині теплиці з подальшою автоматичною реакцією. Система активно регулює роботу різних компонентів, підтримуючи таким чином оптимальні умови для культивування протягом значного періоду часу.

ВИСНОВКИ

Впровадження цієї IoT-системи дозволяє агропідприємству «Зоряний сад» значно підвищити ефективність управління мікрокліматом у теплицях. Автоматизація процесів провітрювання та точне керування параметрами середовища сприяють створенню оптимальних умов для росту рослин, що, в свою чергу, призводить до підвищення врожайності та покращення якості продукції. Крім того, система дозволяє знизити енергоспоживання та оптимізувати витрати на ручну працю.

У відповідність із технічними вимогами було отримано такі результати:

- досліджено об'єкт впровадження;
- визначено напрями реалізації системи;
- обране апаратне забезпечення розробки системи;
- за результатами аналізу вхідних та вихідних сигналів обрано контролер туманих обчислень;
- виконане моделювання електричної схеми в середовищі TinkerCad;
- розроблено програму реалізації туманих обчислень;
- виконано проект мережі агропідприємства з кластерами мереж стільникового зв'язку та провайдера;
- виконане симуляцію роботи IoT-системи в середовищі Cisco Packet Tracer.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Статистична інформація. Сільське господарство. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: <http://www.vn.ukrstat.gov.ua/index.php/statisticalinformation/228/2013--1995-2010.html> (дата звернення: 13.07.25).
2. Паламар М. І., Стрембіцький М. О., Паламар А. М. Проектування комп'ютеризованих вимірювальних систем і комплексів. Навчальний посібник. Тернопіль: ТНТУ. 2019. 150 с.
3. 17. Deisiane Santos da Cruz, Caio Castro Rodrigues, Otavio A Chase, Dênmora Gomes de Araújo, José Felipe Souza de Almeida. IoT-based Smart Mini Greenhouse. International Journal for Innovation Education and Research. 2019, 7(10). P. 31-37.
4. A Shamshiri, A Redmond, Y Kalantari. Advances in greenhouse automation and controlled environment agriculture: A transition to plant factories and urban agriculture. International Journal of Agricultural and Biological Engineering. 2018/01/31.
5. Ясінський Р.В., Осухівська Г.М., Паламар А.М., Величко Д.В. Комп'ютерна система для контролю параметрів мікроклімату теплиць на основі інтернету речей. Актуальні задачі сучасних технологій : збірник тез доповідей XI міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів, Тернопіль: ФОП Паляниця В. А. 2022. С. 177
6. Вирощування овочів у закритому ґрунті. URL: <https://nashausadba.com.ua/ogorod/ovochi/423-zakrytyi-grunt.html> (дата звернення: 13.04.25)
7. Розумна теплиця принцип автоматики і організація системи. Режим доступу: URL: <https://valest.com.ua/rozumna-teplicja-princip-avtomatiki-i-organizacija/> (дата звернення: 15.04.25)

8. Еко теплиця. Режим доступу: URL: <https://teplitca.kiev.ua/ua/a436417-teplitsa-kak-biznes.html> (дата звернення: 10.04.25)

9. Опалення теплиці. Режим доступу: URL: <http://dachadecor.com.ua/otveti-na-voprosi/otoplenie-teplitsi-effektivnie-i-nedorogie-sposobi.htm> (дата звернення: 13.04.25)

10. Інтелектуальна система зрошення. Режим доступу: URL: <http://uk.solarirrigations.com/blog/copy-what-is-an-intelligent-irrigation-system-smartphone-app-controls-water-saving-irrigation/> (дата звернення: 3.05.25)

10. Обзор NB-iot. Режим доступу: URL: <https://www.grandmetric.com/narrowband-internet-of-things-nb-iot-an-overview/> (дата звернення: 11.05.25)

10. NB-ІоТ-шлюз. <https://deps.ua/katalog/industrial-equipment/46318.html>

11. МОКО LTE-NB / LTE-M1 розумна розетка. URL: <https://www.mokosmart.com/ru/moko-lte-nb-lte-m1-smart-plug/> (дата звернення: 1.06.25)

12. Шарапа О. В., Бердников А. Г. Модель системи управління технологічним процесом в тепличному агропромисловому комплексі. Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління». Вип. 47, 2020. С. 86–92.

13. Віхрова Л. Г., Каліч В. М., Прокопенко Т. А. Адаптивна автоматизована система збору та контролю основних параметрів мікроклімату в теплиці. Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Кіровоград: КНТУ, Вип. 29. 2016. С. 168–172.

14. Романов Д.В., Осухівська Г.М., Паламар А.М. Система управління зовнішнім освітленням на основі Інтернету речей. Актуальні задачі сучасних технологій : збірник тез доповідей X міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів. Тернопіль: ТНТУ. 2021. С. 120.

Додаток А

Текст програми керування мікрокліматом теплиці

Міністерство освіти і науки України
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
“ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ ТЕПЛИЦІ

Текст програми

804.02070743.24001-01 12 01

Листів 8

АНОТАЦІЯ

Дана програма містить в собі частину програмного коду для системи розумної теплиці. Призначена для реалізації функціоналу.

Програма написана мовою C у середовищі розробки IDE Android та призначена для керування виконавчими пристроями теплиці з огляду на показники сенсорів. Виконується керування LCD для відображення показників сенсорів та повідомлень.

ЗМІСТ

| | |
|--------------------|---|
| 1.1 Текст програми | 3 |
|--------------------|---|

```
// стандартна бібліотека LiquidCrystal для LCD
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

//волог. повітря
#define moist_pin A0
//волог. ґрунту
#define moist_pin A1
//температура повітря
#define temp_pin A4
//температура ґрунту
#define temp_pin A5
//рівень CO2
#define gas_pin A2
//рівень освітленості
#define Light_pin A3
//двигун вентилятора
#define drive_pin 11
//реле кер. освітленням
#define led_pin 10
//реле кер. обігрівом
#define TEN_pin 9
//реле кер. клапаном на к.полив
#define Water_pin 8
#define ledred_pin 7

//адреса шілда, разрядність LCD, кіл-ть рядків
LiquidCrystal_I2C lcd(0x20, 16, 2);
```

```
//попередне значення датчика вологості
int last_moistVal = -1;

//попередне значення датчика температури
int last_temp = -1;

int gasThresh = 400;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  Wire.begin();
  lcd.init();
  lcd.backlight(); // підсвітити LCD
  lcd.noBlink();
  lcd.setCursor(0, 0); // курсор початок 1 рядка
  lcd.print("WELCOM");
  lcd.setCursor(0,1);// курсор початок 2 рядка
  lcd.print("GreenHouse");
  delay (2000); // чекати 2 сек
  lcd.clear();// очистити LCD

  pinMode(moist_pin, INPUT);
  pinMode(temp_pin, INPUT);
  pinMode(gas_pin, INPUT);
  pinMode(Light_pin, INPUT);
  pinMode(drive_pin, OUTPUT);
  pinMode(led_pin, OUTPUT);
  pinMode(TEN_pin, OUTPUT);
```

```
pinMode(Water_pin, OUTPUT);
pinMode(ledred_pin, OUTPUT);

// int light_timer = 0;
// int light_flag;
}

void loop()
{

///// HUMIDITY
int moistVal = map(analogRead(moist_pin), 0, 876, 0, 100);
Serial.print("moist");
Serial.println(moistVal);
if(moistVal != last_moistVal)
{
  lcd_print_data(moistVal, 1);
  //оновлення попереднього значення вологості
  last_moistVal = moistVal;
}

if(moistVal < 80)
{
  digitalWrite(Water_pin, HIGH);
}

else digitalWrite(Water_pin, LOW);
```

```

//Отримання значення датчика температури
int tempP = map(analogRead(temp_pin), 20, 358, -40, 125);
int tempG = map(analogRead(temp_pin), 20, 358, -40, 125);
//якщо значення відрізняється від попереднього,
//оновлюємо данні на екрані
if (tempP != last_temp)
{
  lcd_print_data(tempP, 0);
  //оновлення попереднього значення температури
  last_temp = tempP;
}
if (tempP < 20 && tempG < 12)
{
  digitalWrite(TEN_pin, HIGH);
}
else if(tempP > 23 && tempG > 12)
{
  digitalWrite(TEN_pin, LOW);
}

//читання значення датчика газу
int gasVal = analogRead(gas_pin);
//якщо значення перевищує MAX, увімк. вентиляцію
if(gasVal > gasThresh)
{
  //вкл червоний LED
  digitalWrite(ledred_pin, HIGH);
  digitalWrite(drive_pin, HIGH);
  lcd.clear();
}

```

```

lcd.setCursor(0,0);
//вивід на екран "обережно, зavelикий CO2"
lcd.print("ALERT");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("GAS CO2");
delay(1000);
lcd.clear();
}
else
{
//ставимо попереднє значення температури та вологості на -1
//щоб на екран знову виводились дані
last_moistVal = -1;
last_temp = -1;
//вимкнення вентиляції
digitalWrite(ledred_pin, LOW);
digitalWrite(drive_pin, LOW);
}

int Lg = analogRead(Light_pin); // отримання даних фоторезистора
if (Lg < 500)
{
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("LOW Light");
// увімкнути освітлення
digitalWrite (led_pin, HIGH);
delay(1000);
lcd.clear();
}

```

```
else digitalWrite(led_pin,LOW);

} // end loop

//функция вывода данных о температуре и влажности на экран
//принимет значение датчика и строку,
//на какую нужно выводить данные
void lcd_print_data(int val, int line)
{
    //устанавливаем вывод на переданную в функцию строку
    lcd.setCursor(0, line);
    //если строка первая, выводим температуру
    if(line == 0)
    {
        lcd.print("Temperature C ");
        lcd.print(val);
    }
    //иначе выводим влажность
    else if(line == 1)
    {
        lcd.print("Moisture % ");
        lcd.print(val);
    }
}
```