

Я, як студент ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавав та не одержував недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

12.06.2024

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized, overlapping letters that appear to be 'M', 'S', and 'C'.

Моїсєєв М. С.

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Факультет _____ АКТ
Кафедра _____ КІТАР
Рівень вищої освіти _____ перший(бакалаврський)
Спеціальність _____ 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Тип програми _____ Освітньо-професійна
Освітня програма _____ Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав.кафедри _____
(підпис)

«__» _____ 2024р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

студентові _____ Моїсєєву Максиму Сергійовичу
(шифр і назва)

1. Тема роботи: _____ КТ1. Розробка системи моніторингу кліматичних параметрів приміщення ПТ1. Апаратна частина

Затверджена наказом університету від _____ №544Ст від 03.06.2024

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії _____ 17.06.2024р.

3. Вихідні дані до роботи: 3.1 Апаратний модуль на базі мікроконтролера;

3.2 Датчик температури і вологості; 3.3 С подібні мови програмування;

3.4 Методи вимірювання параметрів виробничого приміщення

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі: 4.1 Вступ; 4.2 Аналіз використання систем моніторингу параметрів виробничого приміщення;

4.3 Аналіз методів вимірювання параметрів виробничого приміщення;

4.4 Аналіз сучасних апаратних рішень для вимірювання параметрів

виробничого приміщення; 4.5 Розробка структурної схеми; 4.6 Аналіз та

вибір апаратних модулів; 4.7 Розробка схеми підключення апаратних

модулів; 4.8 Розрахунок передаточних функції; 4.9 Збірка макету системи

моніторингу параметрів виробничого приміщення; 4.10 Вибір середовища

розробки; 4.11 Розробка алгоритму роботи; 4.12 Реалізація функцій передачі

даних через протокол MQTT; 4.13 Розробка програми прошивки

мікроконтролера; 4.14 Тестування макета модуля системи моніторингу

модуля системи моніторингу параметрів виробничого приміщення;

4.16 Висновки

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 75 с., 9 табл., 15 рис., 2 дод., 27 джерел.

СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ, ВИРОБНИЧЕ ПРИМІЩЕННЯ, ПРОТОКОЛ MQTT, МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ, СТРУКТУРНА СХЕМА, АПАРАТНІ МОДУЛІ, СХЕМА ПІДКЛЮЧЕННЯ, СЕРЕДОВИЩЕ РОЗРОБКИ, АЛГОРИТМ РОБОТИ, ІННОВАЦІЇ У ВИРОБНИЦТВІ, ВИРОБНИЧІ ІННОВАЦІЇ.

Мета роботи – підвищення ефективності роботи виробництва за рахунок розробки апаратного модуля системи моніторингу температурних параметрів.

Об'єкт роботи – процес моніторингу параметрів виробничого приміщення.

Предмет роботи – апаратний модуль системи моніторингу температурних параметрів.

В даній кваліфікаційній роботі проаналізовано використання систем моніторингу параметрів виробничого приміщення. Проведено аналіз методів вимірювання параметрів виробничого приміщення. Було проаналізовано сучасні апаратні рішення. Наступним етапом було розроблено структурну схему. Проведено аналіз та вибрано апаратні модулі. Далі розроблено схему підключення апаратних модулів. Після проведено збірку макету системи моніторингу параметрів виробничого приміщення. Наступним етапом проведено вибір середовища розробки та розроблено алгоритм роботи. Далі реалізовано функції передачі даних через протокол MQTT. Розроблено програму прошивки мікроконтролера та проведено тестування макета.

ABSTRACT

Explanatory note: 75 pages, 9 tables, 15 figures, 2 app, 27 sources.

MONITORING SYSTEM, PRODUCTION ROOM, MQTT PROTOCOL, METHODS OF MEASURING PARAMETERS, STRUCTURE DIAGRAM, HARDWARE MODULES, CONNECTION DIAGRAM, DEVELOPMENT ENVIRONMENT, WORKING ALGORITHM, MANUFACTURING INNOVATION, INDUSTRIAL INNOVATION.

The purpose of the work is to increase the efficiency of production by developing a hardware module of the temperature parameters monitoring system.

The object of the work is the process of monitoring the parameters of the production premises.

The subject of the work is the hardware module of the temperature parameters monitoring system.

In this qualification paper, analyzes the use of systems for monitoring the parameters of the production premises. An analysis of the methods of measuring the parameters of the production premises was carried out. Modern hardware solutions were analyzed. The next step was to develop a structural diagram. The analysis was carried out and the hardware modules were selected. Next, a connection scheme for hardware modules was developed. After that, the layout of the system for monitoring the parameters of the production premises was assembled. The next stage was the selection of the development environment and the work algorithm was developed. Further, the functions of data transmission via the MQTT protocol are implemented. The microcontroller firmware program was developed and the layout was tested.

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень	9
Вступ.....	10
1 Аналіз сучасних систем моніторингу параметрів виробничого приміщення	12
1.1 Аналіз використання систем моніторингу параметрів виробничого приміщення	12
1.2 Аналіз методів вимірювання параметрів виробничого приміщення.....	16
1.3 Аналіз сучасних апаратних рішень для вимірювання параметрів виробничого приміщення.....	19
2 Розробка структури, схеми та макета системи моніторингу параметрів виробничого приміщення.....	24
2.1 Розробка структурної схеми	24
2.2 Аналіз та вибір апаратних модулів	28
2.3 Розробка схеми підключення апаратних модулів.....	39
2.4 Збірка макету системи моніторингу параметрів виробничого приміщення	41
2.5 Розрахунок передаточних функцій	42
3 Розробка програми для управління макетом системи моніторингу параметрів виробничого приміщення.....	46
3.1 Вибір середовища розробки.....	46
3.2 Розробка алгоритму роботи	47
3.3 Реалізація функцій передачі даних через протокол MQTT	50
3.4 Розробка програми прошивки мікроконтролера	54
3.5 Тестування макета модуля системи моніторингу параметрів виробничого приміщення.....	62
3.6 Охорона праці.....	64

Висновки	66
Перелік джерел посилань	67
Додаток А Код програми.....	71
Додаток Б Демонстраційний матеріал	75

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

AI – штучний інтелект;

API – спеціалізовані програмні інтерфейси;

IDE – integrated development environment;

IIoT – industrial internet of things;

IoT – інтернет речей;

I2C – inter-integrated circuit;

QoS – якість обслуговування;

SPI – serial peripheral interface;

WSN – wireless sensor networks.

ВСТУП

У наш час, розробка системи моніторингу параметрів виробничого приміщення має велику актуальність та важливість в сучасному промисловому середовищі з кількох причин. По-перше, вимірювання та аналіз параметрів виробничого середовища дозволяють забезпечити безпеку працівників та уникнути можливих аварій чи небезпечних ситуацій. Моніторинг рівня токсичних речовин, температури, вологості та інших параметрів допомагає вчасно виявляти небезпеку та уникати негативних наслідків для здоров'я працівників. По-друге, системи моніторингу дозволяють оптимізувати виробничі процеси шляхом постійного контролю за параметрами у реальному часі. Це дозволяє виявляти можливі несправності або аномалії у виробництві та вчасно реагувати на них, щоб уникнути втрат часу та ресурсів. По-третє, розвиток індустрії 4.0 та інтеграція цифрових технологій у виробництво створює попит на ефективні та інтелектуальні системи моніторингу, які можуть автоматизувати процеси збору, обробки та аналізу даних. Це допомагає компаніям підвищувати продуктивність, знижувати витрати та покращувати якість продукції.

Мета роботи – підвищення ефективності роботи виробництва за рахунок розробки апаратного модуля системи моніторингу температурних параметрів.

Об'єкт роботи – процес моніторингу параметрів виробничого приміщення.

Предмет роботи – апаратний модуль системи моніторингу температурних параметрів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

– провести аналіз використання систем моніторингу параметрів виробничого приміщення;

- провести аналіз методів вимірювання параметрів виробничого приміщення;
- провести аналіз сучасних апаратних рішень;
- розробити структурну схему;
- провести аналіз та вибір апаратних модулів;
- розробити схему підключення апаратних модулів;
- провести збірку макету системи моніторингу параметрів виробничого приміщення;
- провести вибір середовища розробки;
- розробити алгоритм роботи;
- провести реалізацію функцій передачі даних через протокол MQTT;
- розробити програму прошивки мікроконтролера;
- провести тестування макета.

Дана кваліфікаційна робота була виконана згідно ДСТУ 3008 – 15 [1], а також, керуючись навчальним посібником з дипломного проекту [2] та методичними вказівками [3].

1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ ВИРОБНИЧОГО ПРИМІЩЕННЯ

1.1 Аналіз використання систем моніторингу параметрів виробничого приміщення

Моніторинг параметрів виробничого процесу – це система, яка забезпечує постійний контроль за ключовими параметрами та умовами, які впливають на ефективність та безпеку виробничого процесу. З огляду на постійний тиск на підвищення продуктивності та зниження витрат, моніторинг параметрів виробничого процесу стає надзвичайно актуальним, він дозволяє виробникам та співробітникам оперативно реагувати на зміни у виробничому середовищі та забезпечувати стабільну якість продукції.

Система моніторингу зазвичай складається з сенсорів, які вимірюють різні параметри, такі як температура, тиск, вологість, рівень ресурсів (наприклад, електроенергії або рідин), швидкість проходження матеріалів, вібрація, рівень шуму тощо. Ці дані зазвичай збираються в реальному часі і передаються до центральної системи для аналізу. Основна мета моніторингу параметрів виробничого процесу – це забезпечення стабільності та ефективності виробничого середовища. Це включає виявлення відхилень від норми, небезпечних умов, несправностей у обладнанні або процесах, а також оптимізацію ефективності виробничого процесу [4].

У виробництві, де автоматизація грає ключову роль, моніторинг параметрів стає ще важливішим. Він дозволяє системам автоматичного керування оперативно реагувати на будь-які зміни у виробничому процесі та уникнути виникнення проблем або аварійних ситуацій. Сучасні системи моніторингу використовують передові технології, такі як Інтернет речей (IoT), штучний інтелект (AI), аналітика в реальному часі та хмарні рішення.

Це дозволяє забезпечити більш точний та ефективний моніторинг, а також підвищує можливості прогнозування та оптимізації виробничого процесу.

У сучасних виробничих умовах, коли промисловість швидко розвивається та стає все більш автоматизованою, все актуальнішою стає інтеграція систем моніторингу. Вона дозволяє автоматичним системам керування оперативно реагувати на зміни в виробничому середовищі, оптимізувати процеси та забезпечувати високу якість продукції. Інтеграція між системами моніторингу та автоматичними системами керування вимагає стандартизації протоколів обміну даними, сумісності між обладнанням та програмним забезпеченням, а також надійної передачі та обробки даних в реальному часі. Основною задачею інтеграції є забезпечення спільної роботи систем моніторингу та керування для досягнення спільних цілей виробництва. Це включає автоматичне реагування на виявлені відхилення в параметрах, оптимізацію роботи обладнання та процесів, забезпечення безпеки та зниження витрат. Інтеграція може вимагати розробки спеціалізованих програмних інтерфейсів (API) для забезпечення взаємодії між системами. Важливо також забезпечити захист від несанкціонованого доступу до даних та надійну передачу інформації через мережу. Інтеграція систем моніторингу та керування дозволяє підвищити автоматизацію та ефективність виробничих процесів, зменшити витрати на енергію та ресурси, покращити якість продукції та забезпечити безпеку працівників [5].

Також, однією з важливих складових системи моніторингу виробничого процесу, яка спрямована на попередження потенційних проблем та аварійних ситуацій шляхом виявлення відхилень від норми або змін, які можуть свідчити про несправності у виробничому середовищі є виявлення аномалій та попередження про несправності системи. Розглянувши виявлення аномалій та попередження про несправності в системі моніторингу параметрів виробничого процесу, можна підкреслити його важливість для запобігання потенційних проблем у виробничому

середовищі. Цей аспект включає моніторинг в реальному часі, аналіз даних для виявлення відхилень, встановлення порогових значень, системи сповіщення та автоматичні заходи, а також можливість прогнозування та попередження майбутніх проблем. Такий підхід допомагає забезпечити безпеку, стабільність та ефективність виробничого процесу.

Відображення даних в реальному часі та їх аналіз є ключовими елементами для ефективного управління та контролю над виробничим процесом. Це дозволяє операторам та керівникам виробництва бачити поточний стан процесу без затримок. Це дозволяє їм оперативно реагувати на будь-які зміни, виявляти проблеми та приймати необхідні заходи для їх вирішення. Швидкий доступ до актуальних даних дозволяє оцінювати продуктивність в реальному часі. Це дозволяє ідентифікувати слабкі місця виробничого процесу та швидко реагувати на них для підвищення ефективності. Аналіз даних в реальному часі також дозволяє ідентифікувати можливості для оптимізації виробничих процесів. Шляхом виявлення та аналізу різних варіантів виконання, можна знайти способи підвищення продуктивності, зниження витрат та покращення якості продукції.

Наступним, критично важливими аспектом виробничого процесу є безпека та дотримання стандартів. Системи моніторингу також можуть бути налаштовані для відстеження відповідності виробничого процесу встановленим стандартам та нормативам, таким як стандарти безпеки праці, екологічні норми, вимоги до якості продукції тощо. Важливим аспектом безпеки є можливість автоматичного виявлення аварійних ситуацій та автоматичного сповіщення працівників та служб безпеки про них, а також забезпечення швидкої та безпечної евакуації персоналу. Зібрані дані про інциденти та безпеку можуть бути використані для аналізу причин та узагальнення висновків для підвищення безпеки в майбутньому. Це може включати впровадження додаткових заходів безпеки, навчання персоналу або

вдосконалення процедур реагування на аварії, що призведе до зменшення нещасних випадків на виробництві [6].

Не менш важливим в даному питанні є ефективність та витрати – це два ключових аспекти, які необхідно враховувати при використанні систем моніторингу параметрів виробничого процесу. Ефективність систем моніторингу полягає в їх здатності оптимізувати виробничі процеси та підвищувати продуктивність. Це включає зменшення витрат, оптимізацію використання ресурсів, покращення якості продукції та зниження відходів. Детальний аналіз даних дозволяє ідентифікувати можливості для підвищення ефективності та вжити відповідних заходів для досягнення цієї мети. Витрати, пов'язані з системами моніторингу, є суттєвим аспектом управління виробництвом, так як крім основних витрат на придбання обладнання та програмного забезпечення, важливо враховувати наступні складові:

- інвестиції в обладнання та програмне забезпечення, що включає витрати на придбання самого обладнання для моніторингу, сенсорів, датчиків, а також необхідного програмного забезпечення для збору, аналізу та візуалізації даних;

- для ефективного використання систем моніторингу необхідно проводити навчання персоналу з їх використання, налаштування та інтерпретації отриманих даних;

- витрати на технічне обслуговування включають у себе регулярне технічне обслуговування обладнання, відремонтовання у випадку несправностей, а також технічну підтримку з боку постачальників;

- операційні зміни та підтримка, це витрати, пов'язані з щоденною експлуатацією систем моніторингу, такі як заміна датчиків, оновлення програмного забезпечення, вирішення технічних проблем тощо;

- при розширенні обсягів виробництва або впровадженні нових технологій можуть виникати витрати на інтеграцію нового обладнання чи розширення функціональності існуючих систем моніторингу.

Використання систем моніторингу параметрів виробничого приміщення є критично важливим для підвищення ефективності та безпеки виробничого процесу. Ці системи дозволяють в реальному часі контролювати параметри виробництва, виявляти аномалії та попереджати про можливі несправності, що сприяє запобіганню аваріям та втратам продукції. Шляхом аналізу даних ці системи допомагають оптимізувати використання ресурсів, зменшити витрати та підвищити якість продукції. Навчання персоналу та регулярне технічне обслуговування є важливими елементами успішного впровадження та експлуатації систем моніторингу. Загалом, ці системи є необхідним інструментом для сучасного виробництва, які допомагають підтримувати високий рівень продуктивності, безпеки та конкурентоспроможності [7].

1.2 Аналіз методів вимірювання параметрів виробничого приміщення

Аналіз методів вимірювання параметрів виробничого приміщення включає вивчення різних технік та технологій, що дозволяють виміряти різноманітні параметри виробничого процесу. Основні вимоги до цих методів включають точність, надійність, швидкість та можливість моніторингу в реальному часі. Задачі вимірювання параметрів включають контроль та оптимізацію виробничих процесів, виявлення аномалій та попередження про можливі несправності, а також забезпечення дотримання встановлених стандартів якості та безпеки. Характеристики різних методів вимірювання включають тип вимірюваних параметрів (температура, тиск, вологість тощо), принцип дії (механічні, електричні, оптичні), можливість безконтактного вимірювання, діапазон вимірювання, точність, вартість та складність установки та обслуговування [8].

Наступним етапом проведено порівняльний аналіз основних методів вимірювання параметрів виробничого приміщення та представимо його у вигляді таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняльний аналіз основних методів вимірювання параметрів виробничого приміщення

Метод вимірювання	Основні параметри	Переваги	Недоліки
Механічні	Тиск, температура, вологість	Прості в установці та експлуатації, дешеві	Обмежений діапазон вимірювання, можуть потребувати регулярного обслуговування
Електричні	Тиск, температура, вологість, рівень	Висока точність, можливість безконтактного вимірювання	Вплив електромагнітних перешкод, вимагають калібрування
Оптичні	Температура, освітленість, склад газів	Безконтактний, висока точність	Чутливі до зовнішніх умов, високі вартість та складність обслуговування
Акустичні	Рівень шуму, частота	Широкий діапазон вимірювання, можливість вимірювання важкодоступних місць	Вплив шуму навколишнього середовища, сприйнятливості до перешкод

Механічні методи базуються на механічних властивостях речовини або фізичних впливах, що виникають в результаті зміни параметрів. Наприклад, для вимірювання тиску можуть використовуватися механічні датчики, які реагують на зміну тиску шляхом зміни своєї форми або розмірів. Електричні ж методи використовують властивості електричного поля для вимірювання параметрів. Наприклад, для вимірювання температури можуть використовуватися терморезистори або термопари, які змінюють свій електричний опір в залежності від температури. В той час як оптичні методи

базуються на використанні властивостей світла для вимірювання параметрів. Наприклад, для вимірювання освітленості можуть використовуватися фотодатчики, які перетворюють світловий потік на електричний сигнал. А акустичні методи використовують звукові хвилі для вимірювання параметрів. Наприклад, для вимірювання рівня шуму можуть використовуватися мікрофони, які перетворюють звукові коливання на електричний сигнал.

Після проведення порівняльного аналізу основних методів вимірювання параметрів виробничого приміщення можна зробити такі висновки, кожен метод має свої переваги та недоліки, і обрання найбільш підходящого методу залежить від конкретних потреб виробництва, вимог до точності вимірювання та доступності фінансових ресурсів. Особливу увагу слід звернути на точність та надійність методу, оскільки це визначальні фактори для забезпечення ефективного контролю над виробничими процесами. Деякі методи, такі як оптичні, можуть бути складними у використанні та вимагати спеціалізованого обслуговування. Також важливо враховувати аспекти безпеки при виборі методу. Вартість обладнання, його встановлення та підтримка також є важливими факторами при виборі методу вимірювання параметрів. Необхідно враховувати особливості виробництва, такі як характеристики середовища, вимоги до точності та швидкості вимірювання, щоб обрати найбільш підходящий метод [9].

Вибір методів вимірювання параметрів виробничого приміщення – це процес, що вимагає уважного аналізу та обґрунтування. Перший крок – це чітке визначення параметрів, які необхідно вимірювати в конкретному виробничому середовищі. Це може включати температуру, тиск, вологість, рівень освітленості та інші параметри, які є критичними для процесу виробництва. Наступний крок – це аналіз різних методів вимірювання та їх характеристик, таких як точність, швидкість вимірювання, вартість обладнання та обслуговування, складність установки тощо. Важливо оцінити специфічні вимоги та обмеження вашого виробничого середовища. Це може

включати особливості робочого середовища, температурні умови, наявність вологи, наявність електромагнітних перешкод тощо. При виборі методів важливо врахувати вимоги до безпеки та надійності. Деякі методи можуть бути менш безпечними або менш надійними у певних умовах експлуатації. Перед повним впровадженням вирішального методу важливо провести тестування та валідацію на практиці. Це допоможе підтвердити придатність обраного методу для конкретного виробничого середовища [10].

1.3 Аналіз сучасних апаратних рішень для вимірювання параметрів виробничого приміщення

Сучасні апаратні рішення для вимірювання параметрів виробничого приміщення широко розповсюджені і мають різноманітні застосування в різних галузях промисловості. Далі розглянемо деякі з найбільш поширених та інноваційних апаратних рішень.

Інтелектуальні датчики – це сучасні пристрої, які об'єднують в собі датчик із здатністю до обробки даних та зв'язку для забезпечення високої ефективності та автоматизації процесів вимірювання та моніторингу. Інтелектуальні датчики можуть бути різних типів, включаючи температурні, вологість, тиску, рівня тощо. Вони можуть підтримувати бездротові стандарти зв'язку, такі як Bluetooth, Wi-Fi, Zigbee або LoRa. Також, вони мають вбудовані процесори для обробки отриманих даних та виконання розумних аналітичних алгоритмів. Додаткові вимоги до живлення можуть бути враховані, включаючи використання батарей або можливість живлення через мережу.

До основних категорій таких датчиків відносяться універсальні датчики, призначення яких – вимірювання різних параметрів та використання в різних виробничих середовищах та спеціалізовані датчики, оптимізовані

для конкретних застосувань або галузей промисловості, таких як сільське господарство, медицина, автомобільна промисловість тощо.

Вимогами до інтелектуальних датчиків є висока точність для надійного контролю параметрів виробництва, датчики повинні бути стабільними та надійними навіть у варіативних умовах робочого середовища та важливо, щоб інтелектуальні датчики забезпечували захист від несанкціонованого доступу до даних.

Інтелектуальні датчики здатні виявляти, вимірювати та обробляти дані в реальному часі. Вони можуть автоматично передавати дані до центральної системи моніторингу через бездротові зв'язки. Деякі моделі мають можливість самонавчання, що дозволяє їм адаптуватися до змін у середовищі роботи та оптимізувати вимірювання. Інтелектуальні датчики відкривають нові можливості для автоматизації та оптимізації виробничих процесів, забезпечуючи точність, ефективність та надійність вимірювань у реальному часі [11].

WSN (Wireless Sensor Networks) – це системи, які об'єднують бездротові сенсори в єдину мережу для збору, обробки та передачі даних про навколишнє середовище. Бездротові мережі сенсорів можуть включати сенсори різних типів, такі як температурні, вологість, тиск, рівень, звук тощо. Ними використовуються бездротові стандарти зв'язку, такі як Zigbee, Bluetooth, Wi-Fi або LoRa, а дані вже передаються від сенсорів до центральної станції через інтервальні узли або маршрутизатори.

Існує дві їх категорії, локальні та розподілені. Локальні мережі сенсорів використовуються для моніторингу виробничих середовищ в обмеженому просторі, такому як підприємства або фабрики, а розподілені мережі сенсорів, в свою чергу, використовуються для моніторингу великих областей або віддалених місць, таких як сільське господарство або відкриті простори.

Якщо розглянути вимоги до даної системи, то можна виділити такі, а саме сенсори повинні бути енергоефективними, оскільки багато з них

працюють в умовах обмеженого живлення, система повинна бути легко масштабованою для підтримки росту кількості сенсорів та областей покриття, а мережа повинна бути стійкою до втрати даних та перешкод у зв'язку.

Сам функціонал даної системи можна виділити так, сенсори збирають дані про навколишнє середовище та передають їх через бездротові зв'язки до базової станції або центрального вузла, мережі сенсорів можуть використовувати різні протоколи для передачі даних, такі як протоколи маршрутизації та керування потоками даних. Зазвичай вони мають можливість самоорганізації та адаптації до змін у мережі або середовищі роботи. Загалом, бездротові мережі сенсорів є потужним інструментом для збору та передачі даних у реальному часі з різних точок виробничого приміщення, що дозволяє забезпечити ефективний моніторинг та контроль параметрів виробничих процесів [12].

Ще одним сучасним апаратним рішенням для вимірювання параметрів виробничого приміщення є Інтернет речей (IoT). Інтернет речей – це системи, що об'єднують фізичні пристрої, датчики та інші об'єкти з можливістю зберігання, обробки та обміну даними через мережу Інтернет. Основні характеристики IoT вирішень включають в себе різноманітність підключених пристроїв, високу ступінь автоматизації, масштабованість та здатність до взаємодії з користувачем.

Існують різні категорії IoT вирішень, включаючи домашню автоматизацію, промислові системи моніторингу, медичні пристрої та транспортні системи. Кожна категорія має свої особливості та вимоги, але спільним для них є здатність до збору та аналізу даних з великої кількості пристроїв.

Основні вимоги до IoT рішень включають безпеку даних та приватність, енергоефективність, сумісність з існуючими системами та

надійність. Ці вимоги дозволяють забезпечити ефективне та безпечне функціонування IoT систем у різних областях застосування.

Функціонал IoT рішень включає збір та передачу даних, їх обробку та аналіз, виконання дій на основі зібраних даних, а також можливість віддаленого керування пристроями через Інтернет. Робота IoT систем полягає в постійному зборі та обробці даних з підключених пристроїв, забезпеченні їх взаємодії та виконанні потрібних завдань згідно з програмованими алгоритмами та управлінням користувачем [13].

Наступним, можна привести машинне навчання та аналітика даних – це два взаємопов'язаних напрямки в обробці даних, що використовуються для виявлення закономірностей, отримання нових знань та передбачення подій на основі аналізу великих обсягів інформації.

Машинне навчання – це підгалузь штучного інтелекту, яка вивчається алгоритмами та моделями для аналізу даних та автоматичного вчення з попередньої інформації. Воно використовується для створення моделей, які можуть робити прогнози або приймати рішення на основі великої кількості даних. Машинне навчання дозволяє системам самостійно набувати знання та вдосконалювати свою продуктивність з часом.

Аналітика даних включає в себе процес виявлення, інтерпретації та використання шаблонів у великих обсягах даних з метою прийняття кращих управлінських рішень. Це може включати дослідження даних, створення звітів та візуалізацію даних для отримання нових інсайтів та розуміння бізнес-процесів. Аналітика даних може використовувати як методи класичної статистики, так і сучасні алгоритми машинного навчання для розуміння даних та виявлення закономірностей.

Обидва напрямки в обробці даних часто використовуються разом для створення потужних інструментів для аналізу та використання даних у різних сферах, таких як бізнес, наука, медицина та інші. Застосування машинного навчання та аналітики даних може допомогти компаніям отримувати нові

знання, приймати кращі рішення та вдосконалювати свої продукти та послуги на основі аналізу великих обсягів даних [14].

Ще одним з рішень є використання розумних камер та візуальних систем, що є технологічними рішеннями, які використовуються для захоплення, обробки та аналізу відеоданих з метою контролю, моніторингу, безпеки або автоматизації процесів. Основна мета розумних камер і візуальних систем – це перетворення відеоданих в корисну інформацію та використання її для прийняття рішень або автоматизації операцій.

Розумні камери часто мають вбудовані алгоритми обробки зображень, що дозволяють їм виявляти об'єкти, розпізнавати обличчя, відстежувати рух та виконувати інші завдання аналізу в реальному часі. Вони можуть бути використані для відстеження безпеки на робочому місці, контролю якості виробництва, відсіювання аномальної поведінки або автоматизації операцій, таких як розпізнавання номерних знаків на автомобілях.

Візуальні системи зазвичай включають в себе не лише розумні камери, але і додаткове програмне забезпечення для аналізу та обробки відеоданих. Вони можуть мати інтерфейси для відображення результатів аналізу, створення звітів, налаштування параметрів та взаємодії з користувачами. Візуальні системи часто використовуються в промисловості, транспорті, медицині та інших сферах діяльності для поліпшення безпеки, ефективності та автоматизації процесів на основі аналізу відеоданих [15].

2 РОЗРОБКА СТРУКТУРИ, СХЕМИ ТА МАКЕТА СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ ВИРОБНИЧОГО ПРИМІЩЕННЯ

2.1 Розробка структурної схеми

Перед початком розробки структурної схеми макета системи моніторингу параметрів виробничого приміщення, необхідно провести аналіз технічних умов, які повинні виконуватися для досягнення мети роботи. Виходячи з цього, технічні умови для розробки структурної схеми макета системи моніторингу параметрів виробничого приміщення, було обрано наступні. Функціональні вимоги:

- зчитування значень температури з датчика;
- передача даних з вимірювань на сервер за допомогою Wi-Fi модуля;
- відображення поточного значення температури на LCD дисплеї.

Апаратні засоби:

- мікроконтролерний модуль з підтримкою Wi-Fi (наприклад, ESP8266 або ESP32);
- датчик температури (наприклад, DS18B20);
- LCD дисплей для відображення даних;
- джерело живлення для мікроконтролера та датчика.

Спосіб роботи можна описати так:

- мікроконтролерний модуль зчитує значення температури з датчика;
- дані відправляються на сервер через Wi-Fi для подальшого аналізу та збереження;
- поточні значення температури відображаються на LCD дисплеї для миттєвого моніторингу.

Управління системою здійснюється через веб-інтерфейс або мобільний додаток, а також відбувається відображення графіків зміни температури за період часу для аналізу динаміки.

Вимоги до надійності системи:

- система повинна бути надійною та стабільною в роботі;
- система має передбачати можливість автоматичного відновлення після відключення живлення або збою зв'язку.

Також, необхідно забезпечити захист від несанкціонованого доступу до даних та контроль за доступом до системи. Потрібно забезпечити можливість інтеграції з іншими системами моніторингу та управління виробничими процесами.

Виходячи з вище перерахованих умов, які пред'являються до розроблюваного макета системи моніторингу параметрів виробничого приміщення, було розроблено наступну структурну схему, яка представлена на рисунку 2.1.

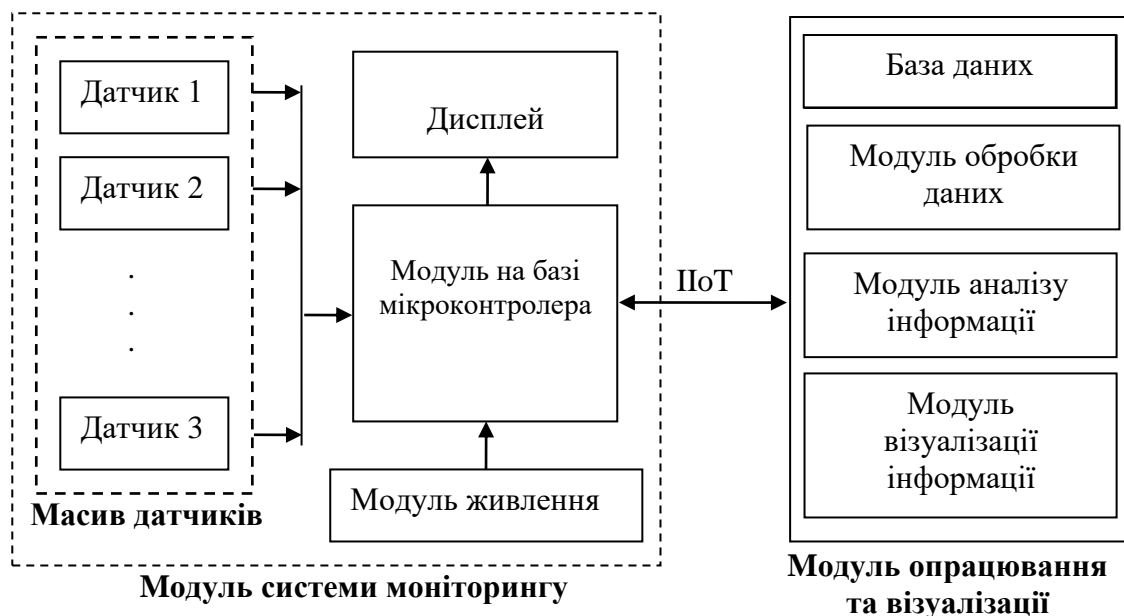


Рисунок 2.1 – Структурна схема макета системи моніторингу параметрів виробничого приміщення

Опишемо призначення кожного блока на розробленій структурній схемі макета системи моніторингу параметрів виробничого приміщення:

– датчик 1, ... , датчик 3 – датчики температури, вологості, тиску, освітленості, тощо, дозволяють вимірювати та контролювати параметри оточуючого середовища, що важливо для забезпечення оптимальних умов виробництва;

– модуль на базі мікроконтролера – забезпечує збір даних з датчиків, що вимірюють параметри, такі як температура, вологість, тиск, рівень освітленості, тощо, також обробляє отримані дані, наприклад, проводить фільтрацію, усереднення або обчислення інших параметрів на основі отриманих значень. Зібрані та оброблені дані передаються на сервер для подальшої обробки та аналізу;

– модуль живлення – постачає електроенергію до всіх компонентів системи, таких як мікроконтролер, датчики, модулі комунікації та інші електронні пристрої. Модуль живлення може використовувати акумулятори або альтернативні джерела енергії, що дозволяє системі працювати автономно в разі відключення від мережі живлення. Модуль живлення може мати вбудовані захисні функції, які захищають систему від перенапруги та перевантаження;

– дисплей – дозволяє відображати важливі параметри виробничого процесу, такі як температура, вологість, тиск, стан обладнання тощо, що дозволяє операторам та іншим працівникам моніторити ситуацію в реальному часі;

– ІоТ (Industrial Internet of Things) – дозволяє збирати дані про стан обладнання, середовища та інших параметрів виробництва в реальному часі, що дозволяє операторам та менеджерам оперативно реагувати на зміни та виявляти проблеми. В даному випадку за допомогою ІоТ дані з модуля системи моніторингу передаються на модуль опрацювання та візуалізації інформації;

- база даних – дозволяє зберігати дані про параметри виробничого процесу, які зібрані з датчиків, включаючи температуру, вологість, тиск, витрату енергії, тощо;

- модуль обробки даних – дозволяє фільтрувати дані, що дозволяє відсіювати непотрібну або некоректну інформацію перед подальшим аналізом, також проводити розрахунки та обчислення на основі зібраних даних для отримання нової інформації або показників, які допомагають управлінню виробництвом;

- модуль аналізу інформації – дає можливість аналізувати дані та виявляти взаємозв'язки між різними параметрами виробництва, що дозволяє зрозуміти причинно-наслідкові зв'язки та виявляти потенційні проблеми. Модуль може виявляти аномальні або незвичайні зміни в параметрах виробництва, що дозволяє оперативно реагувати на потенційні проблеми;

- модуль візуалізації інформації – дозволяє відображати дані у вигляді графіків, діаграм та інших візуальних елементів, що полегшує сприйняття та аналіз інформації. Модуль дозволяє відображати дані в реальному часі, що дозволяє операторам спостерігати за станом виробничого процесу та вчасно реагувати на зміни.

Розроблена структурна схема макета системи моніторингу параметрів виробничого приміщення має такі переваги:

- комплексність, система включає в себе різноманітні компоненти, такі як мікроконтролерний модуль, датчики, модуль живлення, дисплей, модуль обробки даних, модуль аналізу інформації та модуль візуалізації, що дозволяє забезпечити повний цикл моніторингу та управління параметрами виробничого процесу;

- ефективність, система дозволяє збирати, обробляти та аналізувати дані в реальному часі, що дозволяє оперативно реагувати на зміни та оптимізувати виробничі процеси;

– надійність, використання мікроконтролерного модуля з підтримкою Wi-Fi та датчиків забезпечує надійність та точність збору даних про параметри виробничого приміщення;

– гнучкість, система може бути легко адаптована до різних умов та вимог виробництва шляхом зміни параметрів датчиків та налаштування модулів обробки та візуалізації інформації;

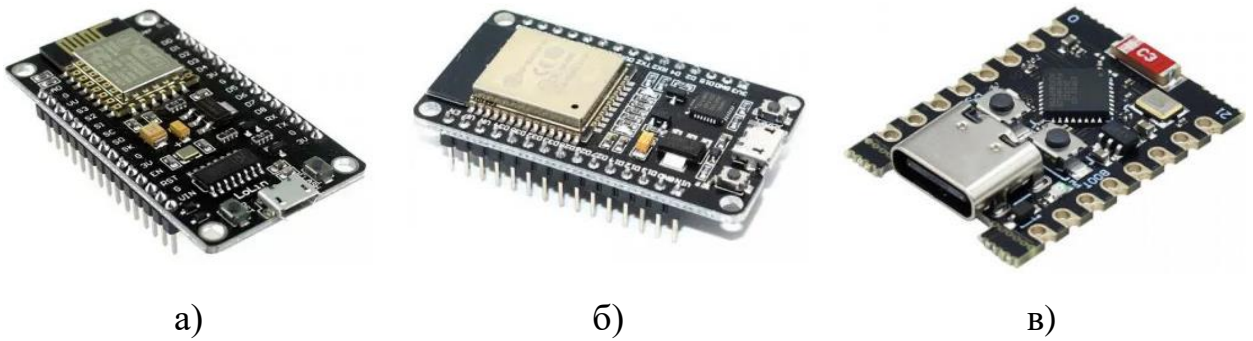
– простота використання, розроблена система має зручний інтерфейс взаємодії з користувачем, що дозволяє легко керувати та моніторити параметри виробничого процесу;

– ефективне управління, як можна бачити, аналіз та візуалізація даних дозволяє зробити обґрунтовані управлінські рішення щодо оптимізації виробничих процесів та підвищення їх ефективності.

Таким чином, розроблена структурна схема макета системи моніторингу параметрів виробничого приміщення дозволяє забезпечити ефективний та надійний моніторинг виробничого процесу з можливістю оперативного управління та аналізу даних.

2.2 Аналіз та вибір апаратних модулів

Вибір апаратних модулів для системи моніторингу параметрів виробничого приміщення базувався на ряді ключових критеріїв, включаючи сумісність із зовнішніми пристроями, ефективність та продуктивність, надійність та точність даних, вартість та доступність, можливість масштабування, та зручність управління та моніторингу. Відповідно до розробленої структурної схеми та обраним технічним умовам, проведемо аналіз та вибір апаратних модулів. Почнемо з аналізу та вибору апаратного модуля на базі мікроконтролера, загальний вид модулів представлено на рисунку 2.2.



- а) LoLin v3 NodeMcu Lua Wi-Fi ESP8266 CH340 [16];
 б) ESP32 DevKit v1 Wi-Fi Bluetooth ESP32-WROOM-32 [17];
 в) ESP32 DevKit Wi-Fi Bluetooth ESP32-C3 SuperMini [18]

Рисунок 2.2 – Загальний вид модулів на базі мікроконтролера

Для розуміння технічних характеристик обраних апаратних модулів на базі мікроконтролера, проведемо порівняння їх базових характеристик, які представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Порівняння технічних характеристик модулів на базі мікроконтролера LoLin v3 NodeMcu Lua, ESP32 DevKit v1 та ESP32 DevKit Wi-Fi

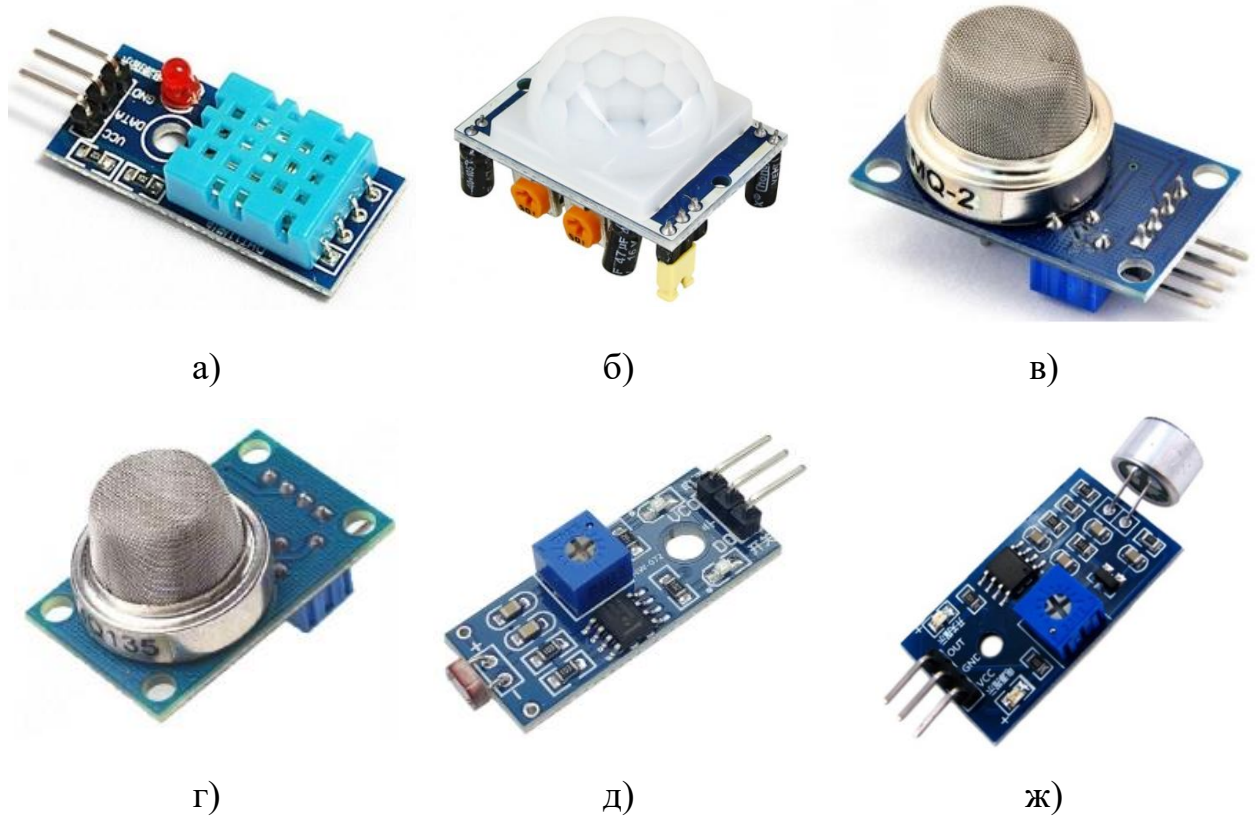
Характеристика	Апаратні модулі на базі мікроконтролера		
	LoLin v3 NodeMcu ESP8266	ESP32 DevKit v1	ESP32-C3 SuperMini
Мікроконтролер	ESP8266 CH340	ESP32-WROOM-32	ESP32-C3
Wi-Fi	Так	Так	Так
Bluetooth	Немає	Так	Так
USB	CH340 USB-UART	Micro USB	Micro USB
Швидкість процесора (МГц)	80	240	160
GPIO піни	10	36	18
ADC піни	1 (10-bit)	18 (12-bit)	13 (12-bit)
DAC піни	-	2 (8-bit)	-
Flash пам'ять (кБ)	4	4	4
SRAM пам'ять (кБ)	80	520	400
Підтримка OTA	Так	Так	Так
Розмір (мм)	49 x 26	60 x 30	41 x 13
Ціна	\$ 3-5	\$ 5-7	\$ 3-5

LoLin v3 NodeMcu ESP8266 було обрано для розробки системи моніторингу параметрів виробничого приміщення через ряд переваг, які він пропонує. По-перше, ESP8266 є досить потужним і ефективним мікроконтролером з можливістю підключення до Wi-Fi, що дозволяє передавати дані безпосередньо на сервер для подальшого аналізу. Враховуючи те, що моніторинг параметрів виробничого приміщення вимагає надійного збору та передачі даних, Wi-Fi можливість ESP8266 є важливою перевагою. Крім того, ESP8266 має достатній ресурсний потенціал для обробки даних у реальному часі та забезпечення стабільної роботи системи. Цей модуль також є досить доступним з точки зору вартості, що важливо при великосерійному виготовленні. Нарешті, ESP8266 є досить популярним серед розробників, що забезпечує широку підтримку та наявність різноманітних ресурсів для розробки. Враховуючи всі ці фактори, LoLin v3 NodeMcu ESP8266 виявляється оптимальним вибором для цього проекту порівняно з ESP32 DevKit v1 та ESP32-C3 SuperMini.

Наступним кроком, після вибору апаратного модуля керування, можна приступити до аналізу та вибору модулів датчиків для моніторингу параметрів виробничого приміщення, які сумісні з модулем LoLin v3 NodeMcu ESP8266. Модуль LoLin v3 NodeMcu ESP8266 сумісний з багатьма типами датчиків, які можна використовувати для моніторингу параметрів виробничого приміщення. Перерахуємо фізичні параметри, які потрібно контролювати в виробничому приміщенні:

- температуру та вологість;
- рух в приміщенні;
- виявляти шкідливі речовини в атмосфері;
- рівень освітленості в приміщенні;
- рівень шуму в приміщенні.

Відповідно до перерахованих фізичних параметрів, проведемо аналіз та вибір апаратних модулів датчиків, загальний вид яких представлено на рисунку 2.3.



а) датчик температури й вологості DHT11 [19];

б) HC-SR501 інфрачервоний датчик руху [20];

в) датчик газу MQ-2 пропан [21];

г) MQ-135 датчик газу, модуль датчика якості повітря [22];

д) датчик освітленості [23];

ж) датчик звуку LM393 [24]

Рисунок 2.3 – Загальний вид апаратних модулів датчиків, які можна використовувати для системи моніторингу параметрів виробничого приміщення

Проведемо аналіз технічних характеристик кожного модуля (рис. 2.3) та представимо їх у вигляді таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики датчиків температури та вологості DHT11 (рис. 2.3, а)

Характеристика	Значення
Робоча напруга	3,3 В – 5,5 В
Робочий діапазон температур	0 °С – 50 °С
Точність вимірювання температури	± 2 °С
Діапазон вимірювання вологості	20 % – 80 % RH
Точність вимірювання вологості	± 5 % RH
Інтерфейс зв'язку	Цифровий (однопровідний)
Розміри	15,5 мм x 12 мм x 5,5 мм
Ціна	~ 0,50 \$

Датчик температури і вологості DHT11 було обрано для розробки макета системи моніторингу параметрів виробничого приміщення через кілька ключових переваг. По-перше, DHT11 є високо точним датчиком з вимірюванням температури з точністю ± 2 °С і вологості з точністю ± 5 % RH. Це забезпечує надійні виміри, які необхідні для ефективного моніторингу умов виробничого приміщення. Крім того, DHT11 працює у широкому діапазоні температур від 0 °С до 50 °С і вологості від 20 % до 80 % RH, що дозволяє використовувати його в різних умовах. Важливою перевагою є його простота використання і доступність для інтеграції з ESP8266, що використовується в системі моніторингу. Крім того, він має компактні розміри, що дозволяє легко розмістити його у виробничому приміщенні. Таким чином, DHT11 є оптимальним вибором для надійного та ефективного моніторингу температури та вологості виробничого приміщення.

Технічні характеристики датчика HC-SR501 інфрачервоний датчик руху (рис. 2.3, б), представлено у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики датчика HC-SR501 інфрачервоний датчик руху

Характеристика	Значення
Робоча напруга	5 В
Споживана потужність	< 50 мА
Датчик руху	Піроелектричний
Діапазон виявлення руху	7 м
Кут виявлення руху	< 100°
Затримка вимірювання	0,3 – 5 хв
Робоча температура	-15 °С – +70 °С
Розміри	32 мм x 24 мм x 25 мм
Ціна	~ 3 \$

Інфрачервоний датчик руху HC-SR501 було обрано для розробки макета системи моніторингу параметрів виробничого приміщення з кількох ключових причин. По-перше, він працює на низькій напрузі 5 В і має низьке споживання потужності (< 50 мА), що робить його енергоефективним варіантом для постійного використання. Датчик HC-SR501 має діапазон виявлення руху до 7 метрів і кут виявлення до 100 градусів, що забезпечує широке охоплення зони моніторингу. Крім того, він має широкий діапазон робочої температури від -15 °С до +70 °С, що робить його придатним для застосування в різних умовах виробничого середовища. Затримка вимірювання від 0,3 хвилин до 5 хвилин дозволяє налаштовувати час виявлення руху відповідно до потреб моніторингу. Компактні розміри датчика дозволяють легко інтегрувати його в будь-яку систему моніторингу без значних зусиль. Таким чином, датчик руху HC-SR501 є надійним та ефективним рішенням для моніторингу руху виробничого приміщення.

Технічні характеристики датчик газу MQ-2 пропан (рис. 2.3, в) представлені у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики датчика газу MQ-2 пропан

Характеристика	Значення
Робоча напруга	5 В
Споживана потужність	< 150 мА
Спосіб виявлення	Чутливий елемент, нагрівальний елемент і датчик газу
Діапазон вимірювання пропану	300 ppm – 10000 ppm
Чутливість	$R_o/R_s > 5$
Робоча температура	-10 °С – +50 °С
Робоча вологість	< 95 % RH
Розміри	32 мм x 20 мм x 22 мм
Ціна	~ 3 \$

Датчик газу MQ-2 пропан було обрано для розробки макета системи моніторингу параметрів виробничого приміщення з кількох важливих причин. По-перше, його висока чутливість до пропану дозволяє ефективно виявляти навіть невеликі витoki газу, що є критично важливим для безпеки у виробничому середовищі. Крім того, широкий діапазон вимірювання від 300 ppm до 10000 ppm робить його універсальним і придатним для виявлення різних концентрацій пропану. Датчик MQ-2 працює на стандартній напрузі 5 В і має низьке споживання потужності, що дозволяє економно використовувати енергію в системі моніторингу. Він також має компактні розміри, що полегшує його інтеграцію в будь-яку систему моніторингу. Датчик MQ-2 також має широкий діапазон робочих температур від -10 °С до +50 °С, що робить його придатним для застосування в різних умовах. Крім того, його висока чутливість і швидка реакція дозволяють оперативно реагувати на зміни концентрації пропану у виробничому приміщенні. Таким чином, датчик газу MQ-2 пропан є оптимальним вибором для ефективного та надійного моніторингу рівня пропану у виробничому приміщенні.

Технічні характеристики MQ-135 модуль датчика якості повітря (рис. 2.3, г) представлено у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики датчика MQ-135 модуль датчика якості повітря

Характеристика	Значення
Робоча напруга	5 В
Споживана потужність	< 150 мА
Діапазон вимірювання газів	CO, NH ₃ , NO _x , Alcohol, Benzene, Smoke, CO ₂ etc.
Чутливість	R _o /R _s > 5
Робоча температура	-10 °C – +50 °C
Робоча вологість	< 95 % RH
Розміри	32 мм x 20 мм x 22 мм
Ціна	~ 5 \$

Датчик MQ-135 було обрано для розробки макета системи моніторингу параметрів виробничого приміщення з кількох ключових причин. По-перше, його широкий діапазон вимірювання газів, таких як CO, NH₃, NO_x, алкоголь, бензол, дим, CO₂ і інші, робить його універсальним для виявлення різних забруднювачів у повітрі виробничого середовища. Крім того, висока чутливість датчика дозволяє виявляти навіть невеликі концентрації шкідливих газів, що є важливим для забезпечення безпеки та здоров'я працівників. Робоча напруга 5 В і низьке споживання потужності роблять його економічним у використанні в системі моніторингу. Компактні розміри датчика дозволяють легко інтегрувати його в будь-яку систему без значних зусиль. Датчик MQ-135 також має широкий діапазон робочих температур і вологості, що робить його придатним для застосування в різних умовах виробничого середовища. Таким чином, вибір датчика MQ-135 для моніторингу якості повітря у виробничому приміщенні є обґрунтованим через його універсальність, чутливість і надійність у вимірюваннях.

Технічні характеристики датчика освітленості (рис. 2.3, д) представлено у таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Технічні характеристики датчика освітленості (рис. 2.3д)

Характеристика	Значення
Робоча напруга	3,3 В – 5 В
Вихідний сигнал	Аналоговий або цифровий
Діапазон вимірювання	0 лк – 100 000 лк
Точність	$\pm 10 \%$
Робоча температура	$-30 \text{ }^\circ\text{C} - +70 \text{ }^\circ\text{C}$
Час відгуку	$< 15 \text{ мс}$
Інтерфейс	цифровий
Ціна	$\sim 2 \text{ \$}$

Датчик освітленості було обрано для включення до макета системи моніторингу параметрів виробничого приміщення з кількох ключових причин. По-перше, він дозволяє вимірювати рівень освітленості в приміщенні, що є важливим для створення комфортних та безпечних умов для працівників. Дані, отримані від цього датчика, можуть бути використані для автоматизації систем освітлення з метою забезпечення оптимального рівня світла в приміщенні. Крім того, він дозволяє виявляти аномалії у функціонуванні систем освітлення, такі як відмови ламп або блоків живлення, що дозволяє оперативно реагувати на такі ситуації та уникати аварійних ситуацій. Датчик освітленості також може бути використаний для збору статистичних даних про використання приміщення, що може бути корисним для оптимізації розміщення обладнання та планування робочих процесів. Його невеликі розміри і низька вартість роблять його ефективним рішенням для включення до системи моніторингу параметрів виробничого приміщення.

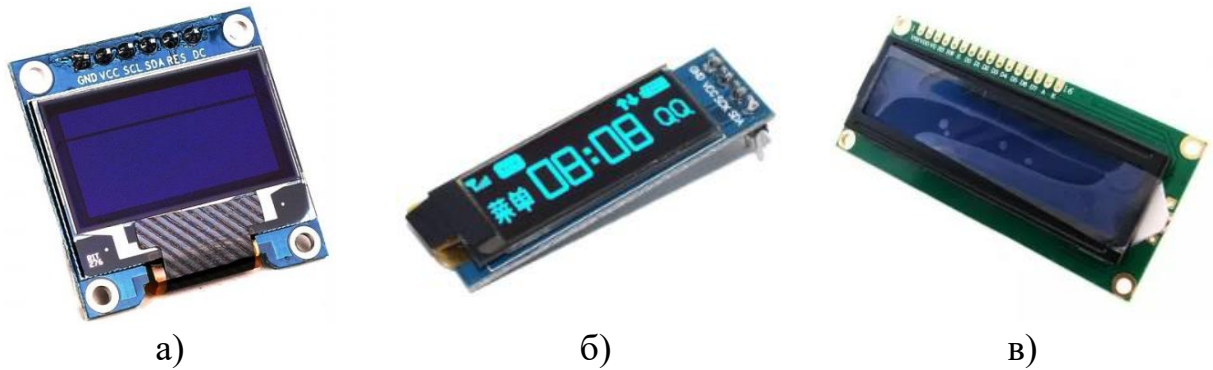
Технічні характеристики датчика звуку LM393 (рис. 2.3, ж) представлено у таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Технічні характеристики датчика звуку LM393
(рис. 2.3ж)

Характеристика	Значення
Робоча напруга	3,3 В – 5 В
Вихідний сигнал	Цифровий (LOW або HIGH)
Чутливість	Настроюється потенціометром
Робоча температура	-40 °С – +85 °С
Робоча вологість	10 % – 90 % RH
Максимальний струм споживання	15 мА (при VCC = 5 В)
Габаритні розміри	Залежить від моделі
Ціна	~ 3 \$

Датчик звуку LM393 було обрано для включення до макета системи моніторингу параметрів виробничого приміщення з кількох ключових причин. По-перше, він дозволяє вимірювати рівень шуму в приміщенні, що є важливим для забезпечення комфортних умов для працівників та відповідності нормам безпеки. Дані, отримані від цього датчика, можуть бути використані для виявлення надзвичайних ситуацій, таких як аварійно високий рівень шуму, що може вказувати на проблеми з обладнанням або несправність у виробничому процесі. Крім того, він може бути використаний для моніторингу роботи обладнання, такого як конвеєри, преси або інші механізми, які мають характеристичний звуковий сигнал при роботі. Його низька вартість і простота використання роблять його ефективним рішенням для включення до системи моніторингу параметрів виробничого приміщення.

Наступним етапом, відповідно до розробленої структурної схеми (рис. 2.1) необхідно вибрати апаратний модуль дисплея, загальний вид яких представлено на рисунку 2.4.



а) OLED дисплей модуль 0,96 дюйма 128X64 [25]; б) OLED дисплей 0,91 I2C (синій) 128x32 [26]; в) LCD 1602, РК дисплей, 16x2 blue [27]

Рисунок 2.4 – Загальний вид апаратних модулів дисплеїв для системи моніторингу параметрів виробничого приміщення

Для розуміння технічних характеристик апаратних модулів дисплеїв для системи моніторингу параметрів виробничого приміщення, проведемо порівняння їх базових характеристик, які представлено в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Порівняння технічних характеристик модулів дисплеїв: OLED Дисплей модуль 0,96 дюйма 128X64, OLED дисплей 0,91 I2C (синій) 128x32 та LCD 1602, РК дисплей, 16x2 blue

Характеристика	OLED Дисплей 0,96" 128x64	OLED Дисплей 0,91" 128x32	LCD 1602, РК дисплей 16x2
Розмір	0,96 дюйма	0,91 дюйма	16 символів x 2 рядки
Роздільна здатність	128 x 64 пікселів	128 x 32 пікселів	16 x 2 символів
Тип дисплею	OLED	OLED	LCD (РК)
Інтерфейс	I2C, SPI	I2C, SPI	Не вказано
Колір	Монохромний	Монохромний	Синій (зазвичай)
Напруга живлення	3,3 В – 5 В	3,3 В – 5 В	5 В
Контрастність	Висока	Висока	Висока
Вбудована підсвітка	Немає	Немає	Є (синій)
Швидкість оновлення	Висока	Висока	Середня
Ціна	~ 3 – 4 \$	~ 3 – 4 \$	~ 5 – 6 \$

Дисплей модуль 0,96 дюйма 128X64 OLED було обрано для включення до макета системи моніторингу параметрів виробничого приміщення з кількох ключових причин. По-перше, його велика роздільна здатність 128 x 64 пікселів дозволяє відображати інформацію у високій якості, що важливо для зручного спостереження за параметрами приміщення. Крім того, OLED технологія забезпечує яскраве та контрастне зображення, що дозволяє легко спостерігати за даними на екрані, навіть в умовах обмеженого освітлення. Даний дисплей має підтримку інтерфейсів I2C та SPI, що робить його сумісним з більшістю мікроконтролерів, включаючи ESP8266. Його компактні розміри (0,96 дюйма) і легкість у використанні роблять його ідеальним варіантом для вбудовання у макет системи моніторингу параметрів виробничого приміщення. Крім того, OLED технологія споживає менше енергії порівняно з LCD дисплеями, що важливо для заощадження енергії у системі моніторингу.

На останньому кроці необхідно обрати модуль живлення, рекомендується обрати модуль живлення з вихідною напругою 5 В для живлення мікроконтролера ESP8266 та інших електронних компонентів. Важливо врахувати потужність всіх підключених пристроїв для вибору модуля з достатньою потужністю. Для забезпечення стабільності живлення важливо вибрати модуль з низьким рівнем шумів та ефективним захистом від перевантажень та коротких замикань.

2.3 Розробка схеми підключення апаратних модулів

Середовище розробки AutoDesk TinkerCad є відмінним вибором для розробки схеми підключення, особливо для початківців і тих, хто шукає простий і зручний спосіб прототипування електронних пристроїв. Однією з головних переваг є безкоштовність та доступність в онлайн-середовищі, що дозволяє працювати з проектами з будь-якого комп'ютера з доступом до

Інтернету без необхідності встановлення додаткового програмного забезпечення. Також варто відзначити простий та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс TinkerCad, який дозволяє легко створювати схеми підключення без додаткових зусиль. Вбудована бібліотека компонентів містить широкий вибір різноманітних електронних компонентів, що полегшує створення складних схем. Крім того, у TinkerCad є можливість моделювання та симуляції роботи схеми, що дозволяє перевіряти функціональність перед фізичною реалізацією проекту. Це допомагає уникнути помилок та витрат на дороге обладнання. Виходячи з обраних апаратних модулів, було розроблено схему підключення елементів системи моніторингу параметрів виробничого приміщення, яка представлена на рисунку 2.5.

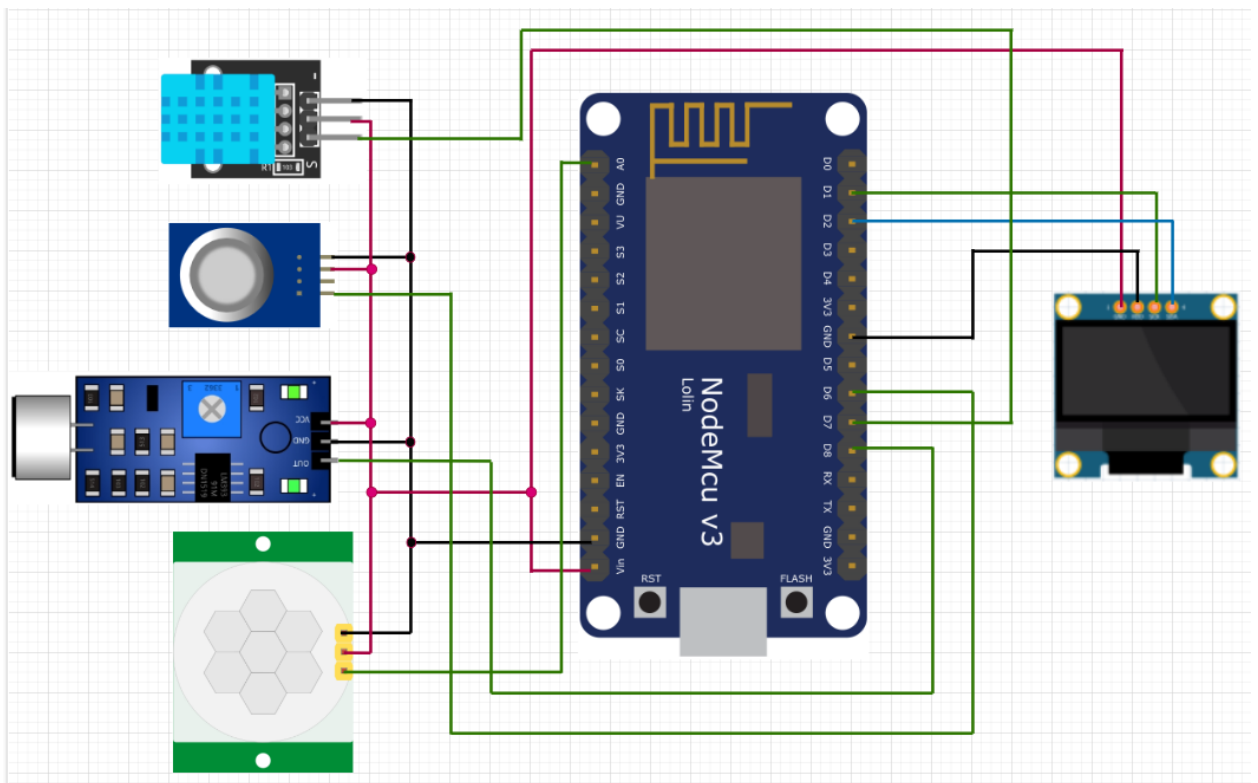


Рисунок 2.5 – Розроблена схема підключення апаратних модулів системи моніторингу параметрів виробничого приміщення

Система моніторингу параметрів виробничого приміщення з LoLin v3 NodeMcu Lua Wi-Fi ESP8266 CH340 та датчиками DHT11, HC-SR501, MQ-2

та LM393 складається з підключення кожного датчика до плати ESP8266 та зчитування даних з них. Датчик DHT11 підключається до піну D7 для зчитування температури та вологості повітря. Датчик HC-SR501 для виявлення руху підключений до аналогового піна, наприклад, A1, це рішення дає можливість відстежувати сигнал в часі. Для виявлення концентрації газів датчик MQ-2 підключається до одного цифрового піна для керування нагрівальним елементом (D6). Датчик звуку LM393 також підключається до цифрового піна (D8) для зчитування аналогового сигналу. OLED Дисплей 0,96" 128 x 64 підключається по інтерфейсу I2C до модуля ESP8266. ESP8266 використовується для збору даних з усіх датчиків та передачі їх на сервер для подальшого аналізу та візуалізації. Для цього використовується Wi-Fi з'єднання, що дозволяє передавати дані в реальному часі. Крім того, можливо використання бази даних для зберігання та обробки отриманих даних для подальшого аналізу. Живлення модулю буде проводитись через розйом Micro-USB через блок живлення з параметрами 5 В, 1 А.

2.4 Збірка макету системи моніторингу параметрів виробничого приміщення

Для збирання макета системи моніторингу параметрів виробничого приміщення потрібно виконати наступну послідовність дій:

- підготовка обладнання, перевірити, що всі необхідні компоненти присутні та працюють належним чином, включаючи LoLin v3 NodeMcu Lua Wi-Fi ESP8266 CH340, OLED дисплей, датчики температури та вологості і модуль звуку LM393;

- підключення до живлення через USB або інше джерело, забезпечивши належну напругу;

– підключення датчиків температури та вологості (DHT11), руху (HC-SR501), газу (MQ-2), та за необхідністю звуку (LM393) до ESP8266 за допомогою відповідних пінів;

– підключення OLED дисплею до ESP8266 через інтерфейс I2C та налаштувати його відповідно;

– завантаження скетч програми у середовище Arduino IDE та внесення необхідних змін, такі як конфігурація мережі Wi-Fi та параметрів MQTT.

Загальний вид зібраного макета системи моніторингу параметрів виробничого приміщення представлено на рисунку 2.6.

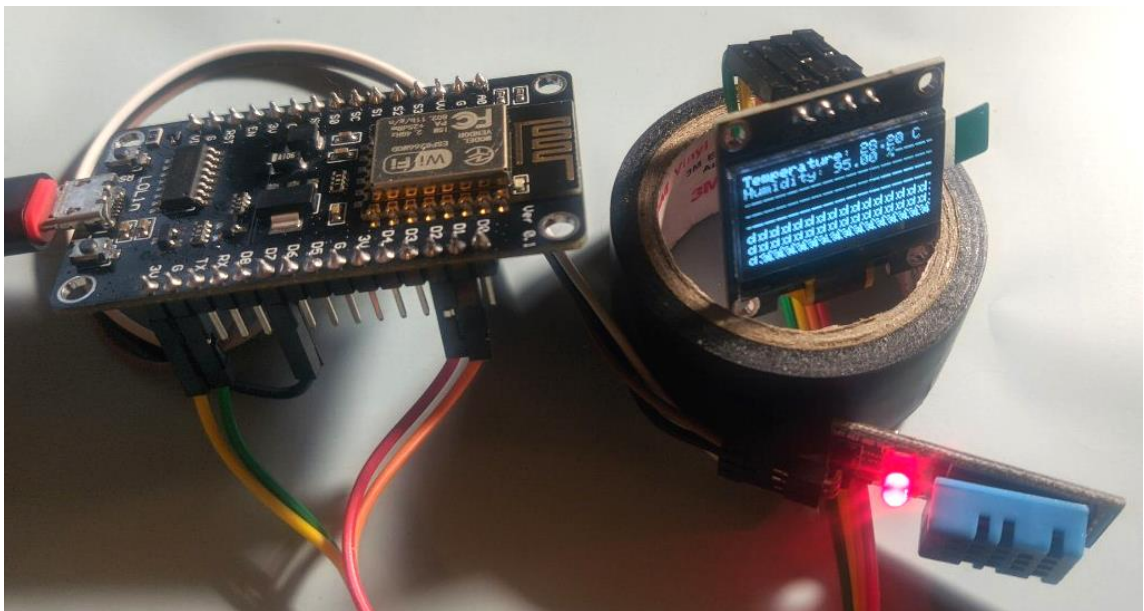


Рисунок 2.6 – Зібраний макет системи моніторингу параметрів виробничого приміщення

2.5 Розрахунок передаточних функцій

Для математичного опису системи моніторингу параметрів виробничого приміщення на базі теорії автоматичного керування розглянемо модель кожного компоненту системи у вигляді передаточних функцій. Виходячі з розробленої структурної схеми, представленої на рисунку 2.1, опишемо у вигляді передаточних функцій на базі теорій автоматичного

керування. Датчик 1 (рис. 2.1) температури й вологості DHT11, можна представити у вигляді блока першого порядку:

$$W_1(s) = \frac{K_1}{T_1s + 1}, \quad (2.1)$$

де K_1 – коефіцієнт підсилення датчика;

T_1 – стала часу датчика.

Датчик 2 (рис. 2.1), газовий сенсор MQ-135 представимо в наступному вигляді:

$$W_2(s) = \frac{K_2}{T_2s + 1}, \quad (2.2)$$

де K_2 – коефіцієнт підсилення датчика;

T_2 – стала часу датчика.

Датчик 3 (рис. 2.1), HC-SR501 інфрачервоний датчик руху опишемо наступним чином:

$$W_3(s) = \frac{K_3}{T_3s + 1}, \quad (2.3)$$

де K_3 – коефіцієнт підсилення датчика;

T_3 – стала часу датчика.

Мікроконтролер, що обробляє сигнали від датчиків, можна змодельовати як блок другого порядку:

$$W_4(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2}, \quad (2.4)$$

де ω_n – натуральна частота;

ξ – коефіцієнт демпфування.

Дисплей можна розглядати як систему з малими затримками, що можна представити як блок першого порядку:

$$W_5(s) = \frac{K_5}{T_5s + 1}, \quad (2.5)$$

де K_5 – коефіцієнт підсилення дисплея;

T_5 – стала часу дисплея.

Математичний опис всієї системи можна отримати шляхом об'єднання передаточних функцій окремих компонентів. Загальна передаточна функція системи буде виглядати наступним чином:

$$W_{system}(s) = W_1(s) \cdot W_2(s) \cdot W_3(s) \cdot W_4(s) \cdot W_5(s). \quad (2.6)$$

Підставимо передаточні функції (2.1)-(2.5) у вираз (2.6), та отримаємо загальну передаточну функцію розробленої системи:

$$W_{system}(s) = \left(\frac{K_1}{T_1s + 1}\right) \cdot \left(\frac{K_2}{T_2s + 1}\right) \cdot \left(\frac{K_3}{T_3s + 1}\right) \cdot \left(\frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2}\right) \cdot \left(\frac{K_5}{T_5s + 1}\right). \quad (2.7)$$

На базі виразу 2.7 та теорій автоматичного керування, побудуємо структурну схему для моделювання роботи макетом, яка представлена на рисунку 2.7.

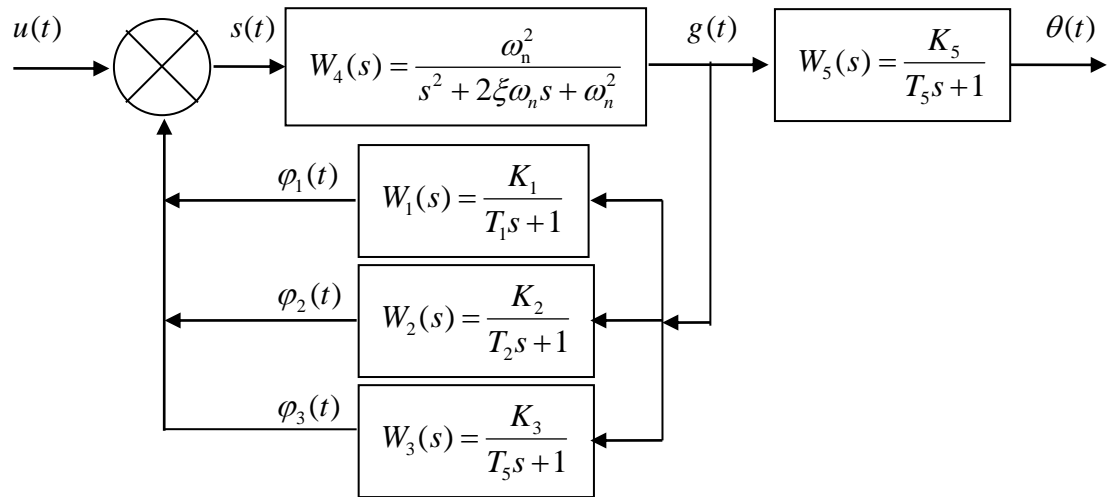


Рисунок 2.7 – Структурна схема для моделювання роботи макетом

3 РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ МАКЕТОМ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ ВИРОБНИЧОГО ПРИМІЩЕННЯ

3.1 Вибір середовища розробки

Для розробки програмного забезпечення для керування макетом системи моніторингу параметрів виробничого приміщення на базі LoLin v3 NodeMcu Lua Wi-Fi ESP8266 CH340 було обрано середовище розробки Arduino IDE. Arduino IDE (Integrated Development Environment) – це програмне забезпечення, призначене для розробки, компіляції та завантаження програм (скетчів) на мікроконтролери Arduino. Середовище розробки Arduino IDE відзначається простим інтерфейсом, що дозволяє навіть новачкам швидко освоїти його функції. Користувачі можуть писати програми на мові програмування, яка є сумішшю C та C++. IDE забезпечує можливість компіляції коду, перетворюючи його на формат, зрозумілий для мікроконтролера. Після компіляції користувачі можуть завантажити свій скетч на плату Arduino через USB-інтерфейс. Arduino IDE підтримує різноманітні бібліотеки, що розширюють функціональність і дозволяють працювати з різними датчиками, модулями та іншими пристроями. Приведемо аналіз та обґрунтування цього вибору:

- простота використання, Arduino IDE є досить простим та зрозумілим середовищем розробки, що дозволяє швидко оволодіти ним, навіть початківцям;

- підтримка ESP8266, Arduino IDE має вбудовану підтримку мікроконтролерів ESP8266, що входить до складу LoLin v3 NodeMcu. Це полегшує налаштування та програмування пристрою;

– багатофункціональність, Arduino IDE має велику кількість бібліотек та прикладів, що спрощує розробку складних програм та взаємодію з різноманітними пристроями;

– спільнота користувачів, Arduino IDE має велику та активну спільноту користувачів, яка завжди готова допомогти з вирішенням проблем та надати поради з програмування.

Таким чином, Arduino IDE було обрано як середовище розробки для керування макетом системи моніторингу параметрів виробничого приміщення на базі LoLin v3 NodeMcu Lua Wi-Fi ESP8266 CH340 через його простоту використання, підтримку ESP8266, багатофункціональність, наявність спільноти користувачів, можливість інтеграції з мережею Wi-Fi та наявність додаткових інтерфейсів.

3.2 Розробка алгоритму роботи

Розробка алгоритму роботи програми системи моніторингу параметрів виробничих приміщень є ключовою для забезпечення її ефективності та надійності. Алгоритм дозволяє оптимізувати використання ресурсів, таких як електроенергія та мережевий трафік, забезпечуючи ефективну роботу системи. Він також визначає, як система реагує на події, такі як виявлення надмірної температури чи вологості, що дозволяє вжити відповідних заходів для їх вирішення. Добре розроблений алгоритм забезпечує стабільну роботу системи навіть у складних умовах довкілля. Він також може містити функції моніторингу та звітності про параметри, що дозволяє операторам та адміністраторам вчасно реагувати на будь-які проблеми чи аномалії. Крім того, алгоритм може включати заходи безпеки, які допомагають запобігти несанкціонованому доступу та захистити дані. Добре розроблений алгоритм також є масштабованим і може бути легко розширений для включення нових функцій чи розширення функціональності системи у майбутньому. Загальний

алгоритм роботи програми системи моніторингу параметрів виробничих приміщень представлено на рисунку 3.1.

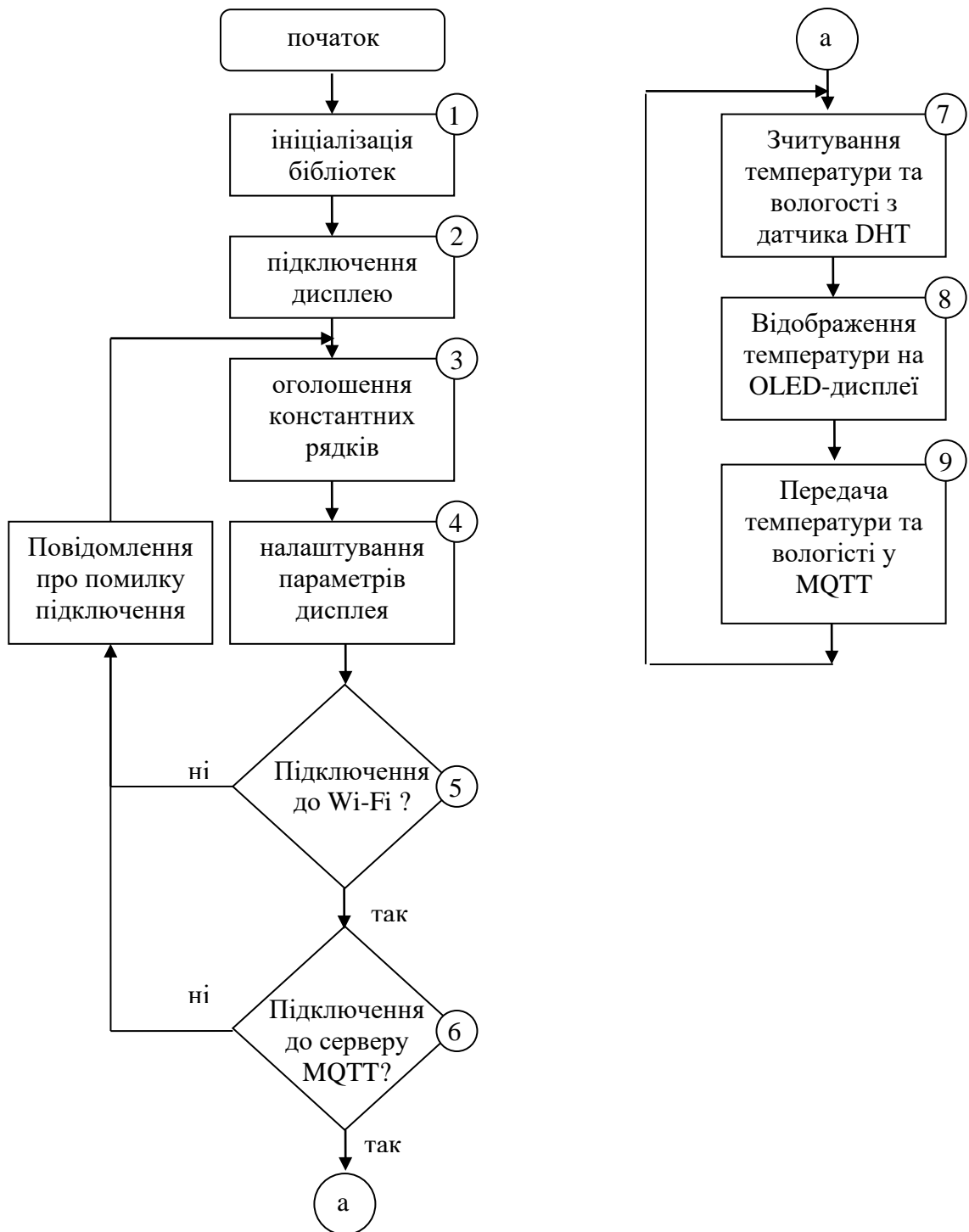


Рисунок 3.1 – Загальний алгоритм роботи програми системи моніторингу параметрів виробничих приміщень

Представимо короткий опис кожного блоку загального алгоритму роботи програми системи моніторингу параметрів виробничих приміщень:

1 – цей блок коду використовується для підключення та ініціалізації різних бібліотек, необхідних для роботи програми. Наприклад, ініціалізація бібліотеки ESP8266WiFi.h дозволяє здійснити з'єднання з Wi-Fi мережею, а ініціалізація PubSubClient.h – взаємодіяти з сервером MQTT для передачі даних;

2 – блок підключення дисплею в алгоритмі служить для ініціалізації та налаштування зв'язку мікроконтролера з дисплеєм. Це включає встановлення параметрів зв'язку (наприклад, тип інтерфейсу та адреса дисплею), підготовку дисплею до роботи (очищення, встановлення кольорів тексту тощо) та підтримку зв'язку між мікроконтролером і дисплеєм під час відображення даних;

3 – блок оголошення константних рядків в алгоритмі використовується для зберігання значень, які залишаються постійними протягом виконання програми. Це може включати ідентифікаційні дані, такі як імена мереж Wi-Fi або адреси серверів MQTT, що дозволяє зручно управляти параметрами зв'язку та налаштуваннями програми без необхідності змінювати сам код програми;

4 – цей блок коду призначений для налаштування параметрів відображення на OLED дисплеї. В ньому встановлюються режим живлення дисплея, адреса дисплея на шині I2C, виконується перша ініціалізація дисплея, встановлюються розмір тексту, колір тексту та інші параметри, що впливають на його відображення;

5 – цикл перевірки підключення до локальної бездротовий мережі на базі технологій Wi-Fi;

6 – цикл перевірки підключення до серверу MQTT;

7 – цей блок коду призначений для зчитування значень температури і вологості з датчика DHT. Він виконує зчитування даних з датчика і зберігає

їх у відповідних змінних. Якщо зчитані дані некоректні, програма виводить повідомлення про помилку;

8 – цей блок коду відповідає за відображення значення температури на OLED-дисплеї. Він очищає дисплей, встановлює текстовий розмір і колір, та виводить значення температури на дисплей;

9 – даний блок в алгоритмі відповідає за публікацію значень температури та вологості до брокера MQTT. Він перетворює значення температури та вологості у рядки та використовує функцію publish для надсилання цих значень у відповідні теми MQTT, щоб їх можна було обробляти та візуалізувати на сервері.

Розроблений алгоритм роботи програми системи моніторингу параметрів виробничих приміщень має кілька переваг. По-перше, він забезпечує надійний збір та передачу даних з датчиків температури, вологості, руху та рівня газів до сервера за допомогою Wi-Fi та протоколу MQTT. Це дозволяє в реальному часі відслідковувати стан параметрів у виробничому приміщенні. По-друге, завдяки використанню OLED-дисплея можлива локальна візуалізація температури на місці без необхідності підключення до сервера. Крім того, реалізована система підключення до Wi-Fi та MQTT дозволяє легко налаштувати та керувати системою з будь-якого пристрою, що підтримує ці технології. Такий підхід робить систему досить гнучкою та зручною у використанні для виробничих потреб.

3.3 Реалізація функцій передачі даних через протокол MQTT

Протокол MQTT є популярним у IoT-системах, включаючи системи моніторингу параметрів виробничих приміщень. Це простий у використанні та реалізації протокол з мінімальним навантаженням на мережу. MQTT підтримує якість обслуговування (QoS), що дозволяє гарантувати доставку повідомлень у системі моніторингу. Він легко масштабується для

використання в розподілених системах, а також гарантує надійну доставку повідомлень. MQTT забезпечує ефективну передачу даних та підтримує шифрування TLS для безпечної передачі даних. Отже, MQTT є відмінним вибором для передачі даних з макета системи моніторингу параметрів виробничого приміщення на сервер для подальшої обробки та візуалізації. Для реалізації роботи з протоколом MQTT в скетчі програми керування макетом потрібно реалізувати підключення до бездротової мережі та передача типиків до сервера MQTT, приклад програмної реалізації та опис представлено нижче.

```
const char* ssid = "YourSSID";  
const char* password = "YourPassword";  
const char* mqtt_server = "mqtt_server_address";  
const char* mqtt_user = "mqtt_username";  
const char* mqtt_password = "mqtt_password";  
const char* mqtt_temp_topic = "temperature";  
const char* mqtt_humidity_topic = "humidity";
```

Цей фрагмент коду визначає рядок констант, які використовуються для підключення до Wi-Fi мережі, сервера MQTT та тем MQTT, які будуть використовуватися для передачі даних з пристрою ESP8266. Ось пояснення кожної константи:

`const char* ssid = "YourSSID";` – SSID (ім'я) вашої Wi-Fi мережі, до якої ESP8266 буде підключатися;

`const char* password = "YourPassword";` – пароль для доступу до вашої Wi-Fi мережі;

`const char* mqtt_server = "mqtt_server_address";` – адреса сервера MQTT, до якого ESP8266 буде підключатися для відправлення та отримання повідомлень;

`const char* mqtt_user = "mqtt_username";` – ім'я користувача для авторизації на сервері MQTT (якщо потрібно);

`const char* mqtt_password = "mqtt_password";` – пароль користувача для авторизації на сервері MQTT (якщо потрібно);

`const char* mqtt_temp_topic = "temperature";` – тема MQTT для публікації температурних даних;

`const char* mqtt_humidity_topic = "humidity";` – тема MQTT для публікації вологості.

Ці константи використовуються в решті програми для підключення до Wi-Fi мережі, підключення до сервера MQTT та публікації даних від датчиків температури та вологості на вказані теми MQTT.

Після цього реалізуємо код підключення до сервера MQTT

```
client.setServer(mqtt_server, 1883);
while (!client.connected()) {
  if (client.connect("ESP8266Client", mqtt_user, mqtt_password )) {
    Serial.println("MQTT connected");
  } else {
    Serial.print("failed, rc=");
    Serial.print(client.state());
    Serial.println(" try again in 5 seconds");
    delay(5000);
  }
}
```

Цей фрагмент коду відповідає за підключення до сервера MQTT. Ось як він працює:

`client.setServer(mqtt_server, 1883);` – встановлює з'єднання з сервером MQTT за допомогою вказаної адреси `mqtt_server` та порту 1883;

`while (!client.connected()) { ... }` – цикл, який перевіряє, чи вдалося підключитися до сервера MQTT. Якщо підключення не вдалося, виконується спроба підключення знову через 5 секунд;

`if (client.connect("ESP8266Client", mqtt_user, mqtt_password)) { ... }` – підключення до сервера MQTT як клієнт з іменем "ESP8266Client" та використанням імені користувача (`mqtt_user`) та пароля (`mqtt_password`),

якщо вони були визначені раніше. Якщо підключення успішне, виводиться повідомлення "MQTT connected";

Якщо підключення не вдалося, виводиться повідомлення про невдачу спробу підключення разом з кодом помилки (станом клієнта MQTT).

Цей фрагмент коду дозволяє ESP8266 підключатися до сервера MQTT та виконувати обмін даними з ним.

```
// Publish temperature and humidity to MQTT
char tempString[6];
char humString[6];
dtostrf(temperature, 4, 2, tempString);
dtostrf(humidity, 4, 2, humString);
client.publish(mqtt_temp_topic, tempString);
client.publish(mqtt_humidity_topic, humString);
delay(2000);
}
```

Цей фрагмент коду відповідає за відправлення температури та вологості на сервер MQTT. Ось як він працює:

`char tempString[6];` та `char humString[6];` – оголошення рядків для зберігання значень температури та вологості;

`dtostrf(temperature, 4, 2, tempString);` та `dtostrf(humidity, 4, 2, humString);` – конвертація числових значень температури та вологості у рядковий формат з плаваючою точкою;

`client.publish(mqtt_temp_topic, tempString);` та `client.publish(mqtt_humidity_topic, humString);` – відправлення значень температури та вологості на сервер MQTT за допомогою функції `publish`. Параметр `mqtt_temp_topic` та `mqtt_humidity_topic` вказують на теми для публікації цих значень;

`delay(2000);` – затримка на 2 секунди перед наступною ітерацією циклу `loop()`, щоб не відправляти дані занадто часто.

Цей фрагмент коду дозволяє ESP8266 відправляти дані про температуру та вологість на сервер MQTT для подальшої обробки чи відображення.

3.4 Розробка програми прошивки мікроконтролера

Для прошивки мікроконтролера з LoLin v3 NodeMcu Lua Wi-Fi ESP8266 CH340 в середовище Arduino IDE 2.3.2 необхідно в меню «Preference» в налаштуванні Additional board manager URLs вказати посилання на наступний json:

https://arduino.esp8266.com/stable/package_esp8266com_index.json

Приклад заповнення меню «Preference» представлено на рисунку 3.2.

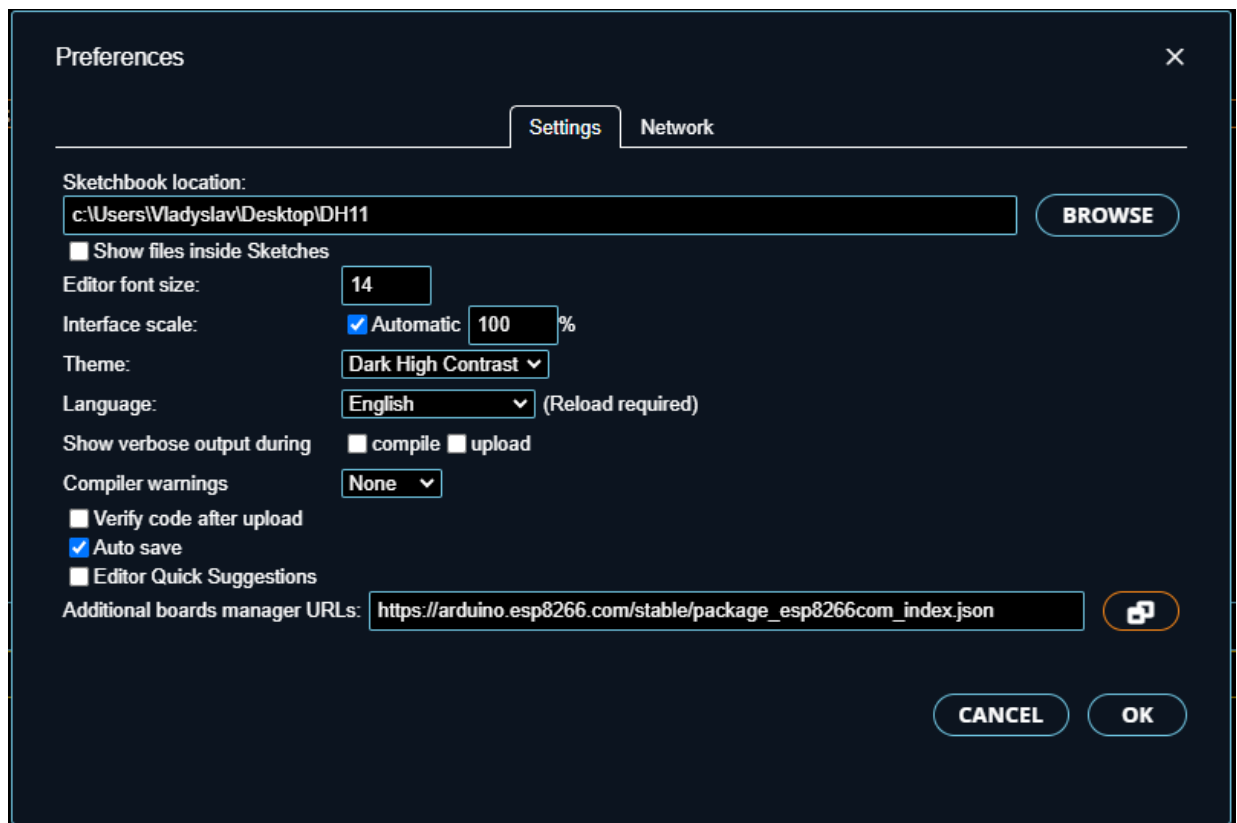


Рисунок 3.2 – Приклад заповнення меню «Preference» в середовище Arduino IDE 2.3.2

Наступним кроком необхідно підключити налаштування до бібліотек модуля LoLin v3 NodeMcu Lua Wi-Fi ESP8266 CH340. Для цього необхідно обрати в меню «Tools» -> Board Manager у строці пошуку набрати: esp8266 та встановити наступну бібліотеку, яка показана на рисунку 3.3.

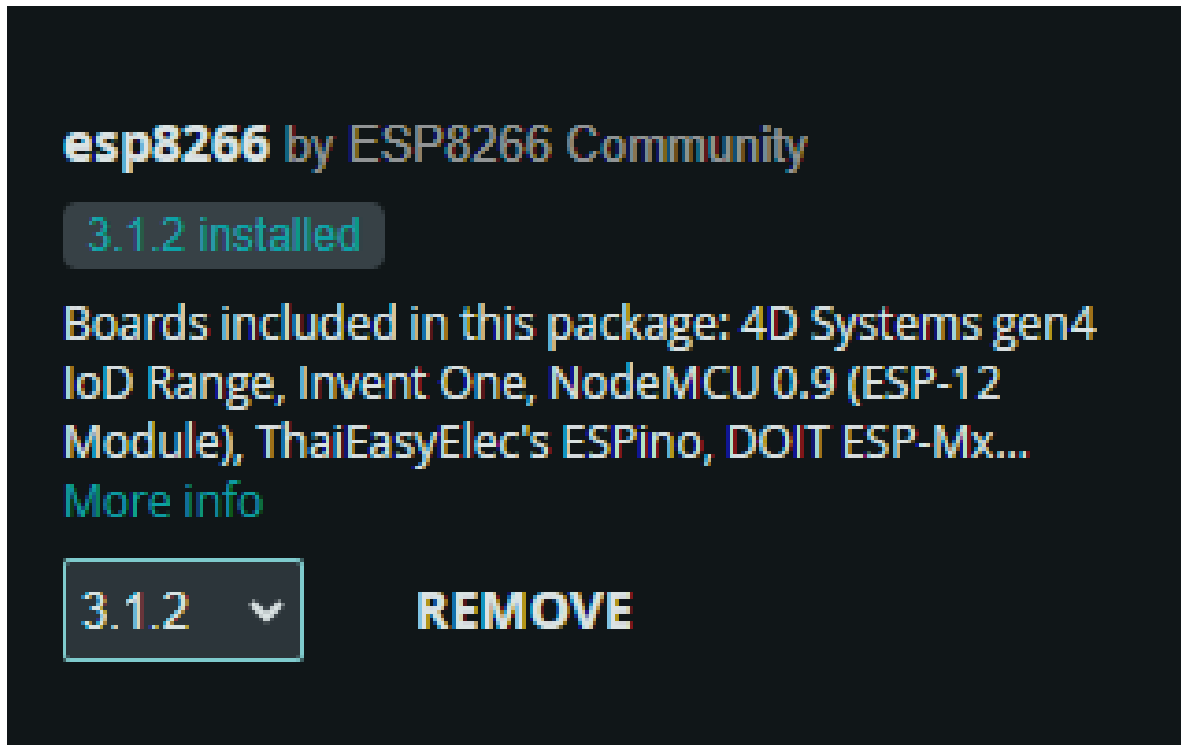
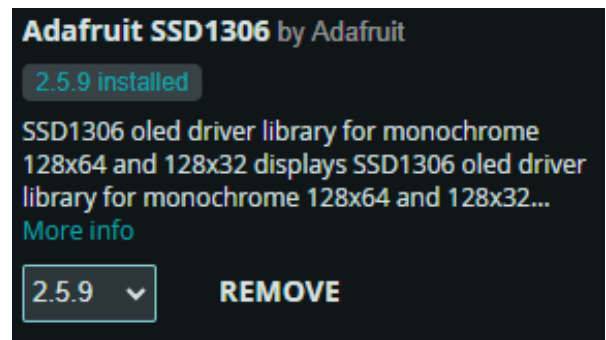


Рисунок 3.3 – Встановлення бібліотеки роботи з модулями ESP8266

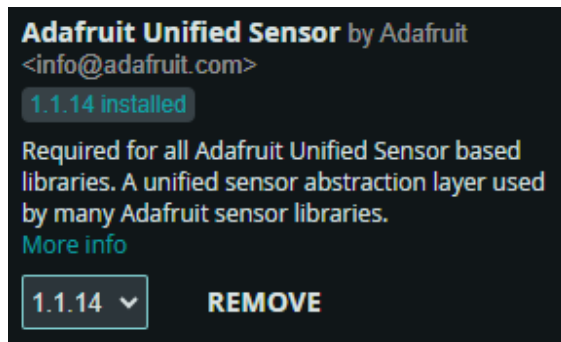
Після цього необхідно встановити бібліотеки роботи з дисплеєм та модулями датчиків, для цього необхідно в меню «Sketch» обрати Include Library та обрати «Manager Library». Необхідні бібліотеки для роботи скетчу в меню «Manager Library» у середовищі розробки Arduino IDE 2.3.2 представлено на рисунку 3.4.



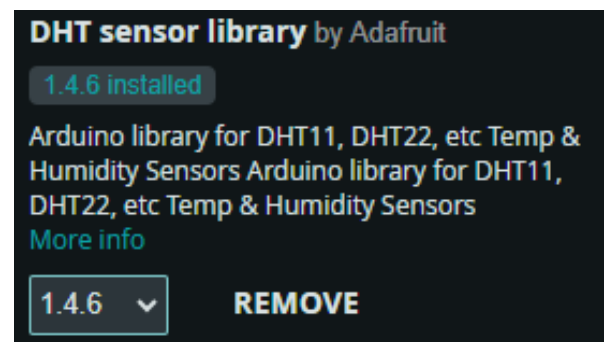
а)



б)



в)



г)

- а) установка бібліотеки Adafruit_GFX версій 1.11.9;
- б) установка бібліотеки Adafruit_SSD1306 версій 2.5.9;
- в) установка бібліотеки Adafruit Unified Sensor версій 1.1.14;
- г) установка бібліотеки DHT Sensor Library версій 1.4.6

Рисунок 3.4 – Необхідні бібліотеки для роботи скетчу в меню «Manager Library» у середовищі розробки Arduino IDE 2.3.2

Після цього потрібно їх вказати всередині скетчу програми управління:

```
#include <Wire.h>
```

```
#include <Adafruit_GFX.h>
```

```
#include <Adafruit_SSD1306.h>
```

```
#include <DHT.h>
```

```
#include <ESP8266WiFi.h>
```

```
#include <PubSubClient.h>
```

SPI.h – ця бібліотека дозволяє спілкуватися з пристроями через протокол SPI (Serial Peripheral Interface). Використовується для підключення

різних пристроїв, які підтримують SPI, наприклад, датчики, дисплеї, SD-картки тощо.

Wire.h – бібліотека для роботи з протоколом I2C (Inter-Integrated Circuit). Використовується для забезпечення комунікації між мікроконтролером та іншими пристроями, наприклад, датчиками температури, або дисплеями.

Adafruit_GFX.h – бібліотека для роботи з графічними елементами. Вона дозволяє створювати та відображати текст, графіку та інші графічні елементи на дисплеї.

Adafruit_SSD1306.h – ця бібліотека використовується для роботи з OLED дисплеями, які використовують контролер SSD1306. Вона дозволяє легко керувати відображенням тексту та графіки на дисплеї.

DHT.h – бібліотека для роботи з датчиками температури та вологості DHT. Вона дозволяє отримувати дані з цих датчиків та використовувати їх у вашому проекті.

ESP8266WiFi.h – ця бібліотека дозволяє вашому ESP8266 підключатися до мережі Wi-Fi. Вона надає функції для підключення до мережі, відправки та отримання даних через Wi-Fi.

PubSubClient.h – бібліотека для створення клієнта MQTT на ESP8266. Вона дозволяє підключитися до брокера MQTT та взаємодіяти з ним для обміну даними

Підключення дисплею проводимо наступними рядками кода:

```
// Initialize the OLED display
display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C);
display.display();
delay(2000);
display.clearDisplay();
display.setTextSize(1);
display.setTextColor(WHITE);
```

Цей фрагмент коду відповідає за ініціалізацію та налаштування OLED дисплея для виводу інформації. Ось що робить кожна команда:

`display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C);` – ця команда ініціалізує OLED дисплей з використанням певних параметрів, які визначаються конкретним модулем. У даному випадку `SSD1306_SWITCHCAPVCC` вказує на тип живлення дисплея, а `0x3C` – адресу дисплея на шині I2C.

`display.display();` – ця команда виводить будь-яку наявну графіку на дисплей. У даному випадку це викликається одразу після ініціалізації дисплея, щоб показати стартовий екран або очікування.

`delay(2000);` – команда `delay(2000)` призначена для затримки на 2 секунди перед очищенням дисплея. Це може бути корисно для користувача, щоб встигнути побачити стартове повідомлення перед очищенням.

`display.clearDisplay();` – ця команда очищає вміст дисплея, готуючи його до відображення нової інформації.

`display.setTextSize(1);` – ця команда встановлює розмір тексту на дисплеї. У даному випадку встановлюється розмір 1, що означає маленький розмір шрифту.

`display.setTextColor(WHITE);` – ця команда встановлює колір тексту на дисплеї. У даному випадку встановлюється білий колір тексту.

Для контролю підключення до локальної мережі Wi-Fi буде виконуватися наступний код:

```
// Connect to Wi-Fi
WiFi.begin(ssid, password);
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
  delay(500);
  Serial.print(".");
}
Serial.println("WiFi connected");
```

Цей фрагмент коду відповідає за підключення ESP8266 до мережі Wi-Fi з використанням вказаного SSID (ідентифікатор мережі) та пароля. Ось як він працює:

`WiFi.begin(ssid, password);` – ця команда ініціалізує підключення до мережі Wi-Fi з використанням вказаного SSID та пароля. ESP8266 спробує підключитися до мережі за допомогою цих даних.

`while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {` – цикл `while` перевіряє статус підключення ESP8266 до мережі. Він продовжується, доки статус підключення не буде `WL_CONNECTED` (тобто, поки ESP8266 не підключиться до мережі).

`delay(500);` – команда `delay(500)` призначена для затримки у 500 мілісекунд між ітераціями циклу `while`. Це дозволяє ESP8266 відділити час для спроби підключення до мережі.

`Serial.print(".");` – під час спроби підключення до мережі кожної ітерації циклу виводиться крапка на моніторісеріалу. Це може бути корисно для візуального відстеження процесу підключення.

`Serial.println("WiFi connected");` – після успішного підключення до мережі виводиться повідомлення "WiFi connected" на моніторісеріалу. Це свідчить про успішне підключення ESP8266 до мережі Wi-Fi.

Розрахунок температури та вологості буде виконуватися в функції `void loop()`, як показано:

```
// Read temperature and humidity from DHT sensor
float temperature = dht.readTemperature();
float humidity = dht.readHumidity();
if (isnan(temperature) || isnan(humidity)) {
  Serial.println("Failed to read from DHT sensor!");
  return;
}
```

Цей фрагмент коду відповідає за зчитування температури і вологості з датчика DHT. Ось що робить кожна команда:

`float temperature = dht.readTemperature();` – ця команда зчитує значення температури з датчика DHT і зберігає його у змінній `temperature`.

`float humidity = dht.readHumidity();` – ця команда зчитує значення вологості з датчика DHT і зберігає його у змінній `humidity`.

`if (isnan(temperature) || isnan(humidity)) {` – ця умова перевіряє, чи значення температури і вологості є дійсними числами. Якщо хоча б одне зі значень не є дійсним числом (наприклад, якщо зчитування з датчика не вдалося), виводиться повідомлення про помилку та виконання програми припиняється за допомогою `return`;

Загальний лістинг скетчу програми управління розробленим модулем системи моніторингу параметрів виробничих приміщень приведено в додатку А.

Останнім кроком перед прошивкою модуля LoLin v3 NodeMcu Lua Wi-Fi ESP8266 CH340 це необхідність вірно налаштувати в меню «Tools» технічні параметри прошивки, приклад якого представлено на рисунку 3.5.

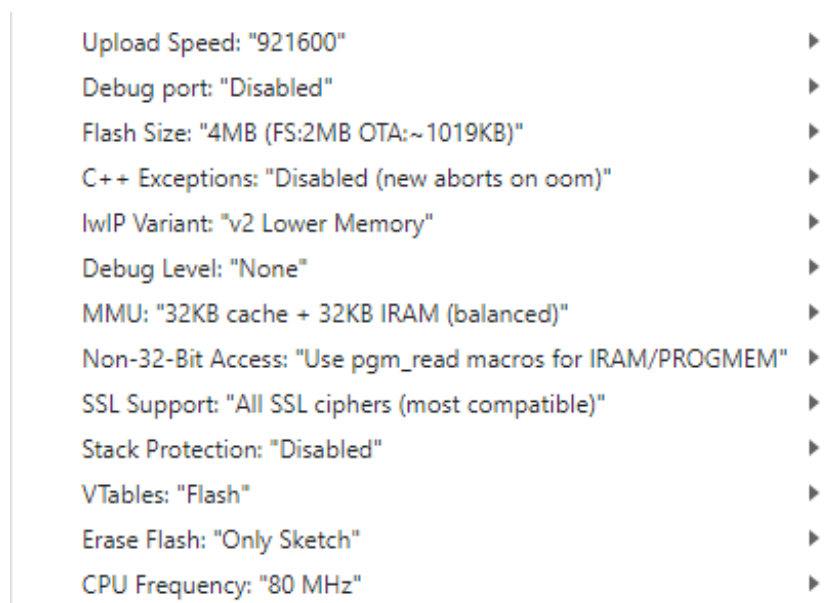
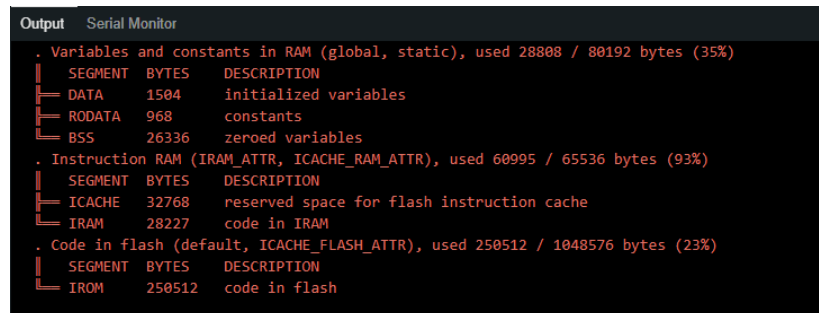


Рисунок 3.5 – Налаштувати в меню «Tools» технічні параметри прошивки модуля LoLin v3 NodeMcu Lua Wi-Fi ESP8266 CH340

Після цього необхідно провести компіляцію скетчу, результат вдалої компіляції скетчу для модуля LoLin v3 NodeMcu Lua Wi-Fi ESP8266 CH340 представлено на рисунку 3.6.



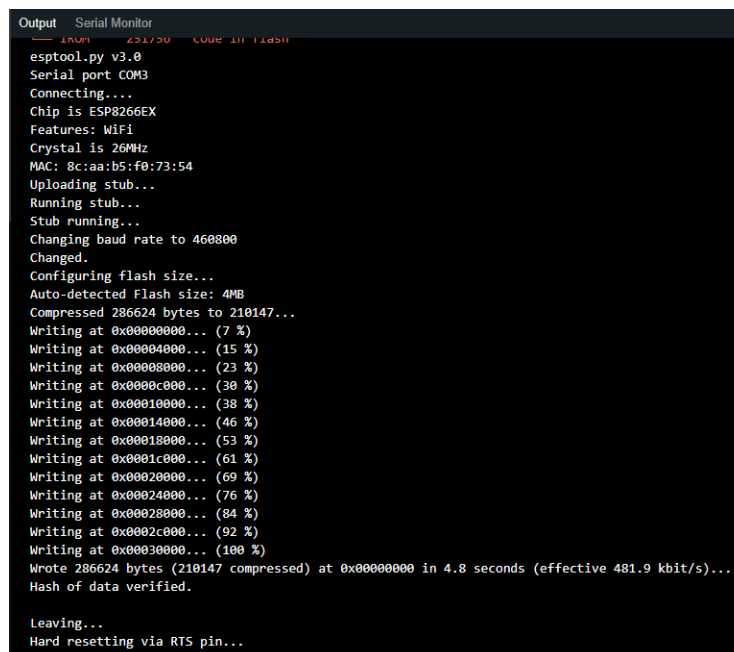
```

Output Serial Monitor
. Variables and constants in RAM (global, static), used 28808 / 80192 bytes (35%)
├── SEGMENT BYTES DESCRIPTION
├── DATA 1504 initialized variables
├── RODATA 968 constants
├── BSS 26336 zeroed variables
. Instruction RAM (IRAM_ATTR, ICACHE_RAM_ATTR), used 60995 / 65536 bytes (93%)
├── SEGMENT BYTES DESCRIPTION
├── ICACHE 32768 reserved space for flash instruction cache
├── IROM 28227 code in IROM
. Code in flash (default, ICACHE_FLASH_ATTR), used 250512 / 1048576 bytes (23%)
├── SEGMENT BYTES DESCRIPTION
├── IROM 250512 code in flash

```

Рисунок 3.6 – Результат вдалої компіляції скетчу для модуля LoLin v3 NodeMcu Lua Wi-Fi ESP8266 CH340

Після цього, потрібно підключити модуль LoLin v3 NodeMcu Lua Wi-Fi ESP8266 CH340 до USB порту ПК та залити скетч до пам'яті мікроконтролера. Результат успішної заливки скетчу до пам'яті модуль LoLin v3 NodeMcu Lua Wi-Fi ESP8266 CH340 представлено на рисунку 3.7.



```

Output Serial Monitor
esptool.py v3.0
Serial port COM3
Connecting...
Chip is ESP8266EX
Features: Wifi
Crystal is 26MHz
MAC: 8c:aa:b5:f0:73:54
Uploading stub...
Running stub...
Stub running...
Changing baud rate to 460800
Changed.
Configuring flash size...
Auto-detected Flash size: 4MB
Compressed 286624 bytes to 210147...
Writing at 0x00000000... (7 %)
Writing at 0x00004000... (15 %)
Writing at 0x00008000... (23 %)
Writing at 0x0000c000... (30 %)
Writing at 0x00010000... (38 %)
Writing at 0x00014000... (46 %)
Writing at 0x00018000... (53 %)
Writing at 0x0001c000... (61 %)
Writing at 0x00020000... (69 %)
Writing at 0x00024000... (76 %)
Writing at 0x00028000... (84 %)
Writing at 0x0002c000... (92 %)
Writing at 0x00030000... (100 %)
Wrote 286624 bytes (210147 compressed) at 0x00000000 in 4.8 seconds (effective 481.9 kbit/s)...
Hash of data verified.

Leaving...
Hard resetting via RTS pin...

```

Рисунок 3.7 – Результат успішної заливки скетчу до пам'яті модуль LoLin v3 NodeMcu Lua Wi-Fi ESP8266 CH340

3.5 Тестування макета модуля системи моніторингу параметрів виробничого приміщення

Для тестування розробленої системи моніторингу параметрів виробничого приміщення можна використовувати безкоштовні сервери MQTT, які надають можливість відправляти та отримувати дані через цей протокол. Ось кілька популярних безкоштовних серверів MQTT для тестування:

- HiveMQ Public MQTT: HiveMQ надає безкоштовний сервер MQTT для тестування. Він дозволяє відправляти та отримувати повідомлення через протокол MQTT;

- Mosquitto: Mosquitto – це імплементація сервера MQTT, яка також надає безкоштовний публічний сервер для тестування. Він досить популярний у спільноті IoT;

- Eclipse IoT Mosquitto: Eclipse IoT Mosquitto – це ще один варіант сервера MQTT, який можна використовувати для тестування. Він надає безкоштовний доступ для відправки та отримання повідомлень;

- CloudMQTT: CloudMQTT – це хмарна служба MQTT, яка надає безкоштовний тарифний план для невеликих проектів. Вона має деякі обмеження, але може бути використана для тестування;

- RabbitMQ: RabbitMQ підтримує протокол MQTT та може бути використаний для тестування. Це може бути варіант, якщо ви вже працюєте з RabbitMQ.

Eclipse IoT Mosquitto є популярним вибором для тестування систем, що використовують протокол MQTT, з численними перевагами. Перш за все, цей сервер є частиною ініціативи Eclipse IoT, що гарантує його високу якість та стандарти відкритого програмного забезпечення. Він підтримує стандартний протокол MQTT 3.1 та 3.1.1, що робить його сумісним з багатьма клієнтами MQTT.

Eclipse IoT Mosquitto також має гнучкі можливості конфігурації, що дозволяє налаштувати його під конкретні потреби тестування. Він може бути запущений локально або в хмарному середовищі, забезпечуючи гнучкість у виборі середовища для тестування. Крім того, він підтримує різні рівні якості обслуговування (QoS) для гарантування доставки повідомлень. Ще однією перевагою є можливість використання Eclipse IoT Mosquitto для розгортання виробничих систем.

Якщо ви вже використовуєте інші продукти Eclipse IoT, такі як Eclipse Paho для розробки клієнтської частини MQTT, використання Eclipse IoT Mosquitto може спростити інтеграцію та управління вашими IoT-проектами. Загалом, використання Eclipse IoT Mosquitto для тестування дозволяє отримати надійний та гнучкий сервер MQTT з підтримкою стандартів відкритого програмного забезпечення та можливостями налаштування під конкретні потреби тестування.

Першим тестом було перевірка швидкості передачі даних з модуля LoLin v3 NodeMcu Lua Wi-Fi ESP8266 CH340 через локальну мережу Wi-Fi на сервер MQTT Eclipse IoT Mosquitto, отримані результати тестування представлено на рисунку 3.8.



Рисунок 3.8 – Графік швидкості передачі даних з модуля LoLin v3 NodeMcu Lua Wi-Fi ESP8266 CH340 через локальну мережу Wi-Fi на сервер MQTT Eclipse IoT Mosquitto

На основі отриманих результатів (рис. 3.7) можна сказати, що швидкість передачі даних з модуля LoLin v3 NodeMcu Lua Wi-Fi ESP8266 CH340 через локальну мережу Wi-Fi на сервер MQTT Eclipse IoT Mosquitto коливається в межах від 65 до 75 Мбіт/с. Такі коливання відбуваються через різні умови мережі та завантаження, але в середньому швидкість залишається в цьому діапазоні. Це свідчить про стабільність з'єднання та відповідність вимогам передачі даних для багатьох застосувань. Однак варто враховувати, що для деяких додатків може бути необхідно підтримувати більш високу або стабільну швидкість передачі даних.

3.6 Охорона праці

Розглянемо аспекти охорони праці, які стосуються розробки системи моніторингу параметрів виробничого приміщення. Особлива увага приділяється безпеці працівників під час установки та експлуатації апаратної частини системи. Проведемо розрахунки для оцінки ризиків та необхідних заходів безпеки. При роботі з електричними компонентами системи моніторингу необхідно врахувати ризики ураження електричним струмом, для зниження ризиків необхідне використання компонентів з низькою напругою, а саме до 24 В, обов'язкове заземлення всіх металевих частин обладнання та використання захисних автоматів для захисту від короткого замикання та перевантажень. Далі проведемо розрахунок втрати потужності при напрузі живлення системи $V = 12$ В та споживанні струму $I = 2$ А за формулою:

$$P = V \cdot I = 12 \cdot 2 = 24 \text{ Вт.} \quad (3.1)$$

Електронні компоненти системи можуть виділяти тепло, що може призвести до перегріву. Для уникнення перегріву необхідне забезпечення

адекватного охолодження та розміщення компонентів з урахуванням природної вентиляції. Проведемо розрахунки необхідного охолодження (ΔT) та розсіювання тепла (R_{th}) при максимально допустимій температурі для компонентів $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ та температури навколишнього середовища $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ за формулами:

$$\Delta T = 85 - 25 = 60\text{ }^{\circ}\text{C},$$

$$R_{th} = \Delta T / P, \quad (3.2)$$

де P – втрата потужності.

$$R_{th} = 60 / 24 = 2,5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{Вт}.$$

Розробка та впровадження системи моніторингу параметрів виробничого приміщення вимагає ретельного планування заходів з охорони праці. Виконані розрахунки та аналіз ризиків дозволяють мінімізувати потенційні небезпеки та забезпечити безпечні умови роботи для працівників [28].

ВИСНОВКИ

В ході виконання даної кваліфікаційної роботи було проведено аналіз використання систем моніторингу параметрів виробничого приміщення. Проведено аналіз методів вимірювання параметрів виробничого приміщення. Було проаналізовано сучасні апаратні рішення.

Наступним етапом було розроблено структурну схему. Проведено аналіз та вибрано апаратні модулі. Далі розроблено схему підключення апаратних модулів. Після проведено збірку макету системи моніторингу параметрів виробничого приміщення. Наступним етапом проведено вибір середовища розробки та розроблено алгоритм роботи.

Далі реалізовано функції передачі даних через протокол MQTT. Розроблено програму прошивки мікроконтролера та проведено тестування макета.

В результаті було розроблено апаратний модуль системи моніторингу температурних параметрів для підвищення ефективності децентралізованого моніторингу виробничим приміщенням.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки та техніки. структура та правила оформлення. – Введ. 2015-06-22. – К. Держстандарт України, 2017 – 29 с.
2. Невлюдов, І.Ш. Дипломне проектування для студентів усіх форм навчання спеціальностей 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» [Текст]: навч. посіб. / І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.В. Токарева, Г.В. Пономарьова. – Київ-58, пр. Космонавта Комарова, 1, 2016. – 320с.
3. Методичні вказівки з підготовки кваліфікаційної роботи для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної і заочної форми навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Упоряд.: І.Ш. Невлюдов, О.І. Филипченко, О.В. Токарева, С.П. Новоселов, О.В Сичова. Харків: ХНУРЕ, 2023. 64 с.
4. Крайнюк, О. В., Буц, Ю. В., Богатов, О. І., & Северинов, О. В. (2022, October). Цифрова трансформація систем небезпечних виробничих об'єктів. In The 2nd International scientific and practical conference – Science and innovation of modern world (October 26-28, 2022) Cognum Publishing House, London, United Kingdom (pp. 259-263).
5. Цигика, В. В., Рябошук, М. М., & Негря, В. С. (2022). Особливості проектування автоматизованих приладів контролю параметрів навколишнього середовища.
6. Мастепан, С. М., Макарова, Т. В., & Виноградов, М. С. (2023). Організація системи моніторингу процесу виробництва послуг на підприємстві автосервісу.

7. Rezvin, E., & Lendiel, T. Безпроводна підсистема моніторингу технологічних параметрів для біоенергетичного комплексу. Енергетика і автоматика, (6), 90-97.
8. Бойчук, Я. А., & Егреші, М. М. (2023). Розробка автоматизованої системи визначення граничних рівнів вібрації компресорних станцій для заправки автомобілів стисненим природним газом (Master's thesis, Тернопіль, ТНТУ).
9. Мещерякова, І. В. (2021). Підвищення безпеки праці операторів з урахуванням параметрів світлового середовища виробничих приміщень (Doctoral dissertation, ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»).
10. Семеністий, К. О. Розробка та дослідження електронної системи моніторингу екологічних параметрів у приміщеннях складського типу.
11. Блезнюк, О. В., & Ковальов, О. В. (2024). Архітектура датчиків для інтелектуальних мобільних енергетичних засобів: метод. вказівки.
12. Gulati, K., Voddu, R. S. K., Kapila, D., Bangare, S. L., Chandnani, N., & Saravanan, G. (2022). A review paper on wireless sensor network techniques in Internet of Things (IoT). *Materials Today: Proceedings*, 51, 161-165.
13. Khanna, A., & Kaur, S. (2020). Internet of things (IoT), applications and challenges: a comprehensive review. *Wireless Personal Communications*, 114, 1687-1762.
14. Козак, Є. Б. Аналіз даних і машинне навчання у хмарних і туманних платформах як основа ефективної передачі даних. *Вчені записки ТНУ імені ВІ Вернадського. Серія: Технічні науки*, 32(71), 100-107.
15. Коваленко, А. С., & Северин, В. П. (2022). Використання комп'ютерного зору в інтелектуальних системах (Doctoral dissertation, Національний технічний університет" Харківський політехнічний інститут").

16. Wi-Fi модуль NodeMCU V3 ESP8266 (iFT232-s16) // Arduino.UA, 2024. URL: <https://arduino.ua/ru/prod1492-wi-fi-modyl-nodemcu-esp8266> (дата звернення: 27.04.2024).

17. Wi-Fi модуль DevKit V1 с ESP-32 // Arduino.UA, 2024. URL: <https://arduino.ua/ru/prod3990-wi-fi-modyl-devkit-v1-s-esp-32> (дата звернення: 27.04.2024).

18. ESP32 DevKit Wi-Fi Bluetooth ESP32-C3 SuperMini // Rozetka, 2024. URL: <https://rozetka.com.ua/412510809/p412510809/> (дата звернення: 27.04.2024).

19. Датчик температури вологості DHT11 на платі Arduino // BeeGreen, 2024. URL: <https://beegreen.com.ua/ru-ru/datchik-temperaturi-vologosti-dht11-na-plati-arduino-12362> (дата звернення: 27.04.2024).

20. Інфрачервоний датчик руху HC-SR501 Arduino // Rozetka, 2024. URL: https://rozetka.com.ua/351157329/p351157329/?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwupGyBhBBEiwA0UcqaJFkaRLMVcBtU6K8nPGtbX1a5bwPmEqd_9anRDQQgy81TEU05jiPRoC3iEQAvD_BwE (дата звернення: 27.04.2024).

21. Датчик газу MQ-2 пропан з платою Arduino AVR Pic // BeeGreen, 2024. URL: <https://beegreen.com.ua/ru-ru/datchik-gazu-mq-2-propan-na-plati-arduino-avr-pic-10580> (дата звернення: 27.04.2024).

22. Модуль датчик якості повітря MQ-135 Arduino // BeeGreen, 2024. URL: <https://beegreen.com.ua/ru-ru/modul-datchik-yakosti-povitrya-mq-135-arduino-12326> (дата звернення: 27.04.2024).

23. Модуль світлорезистор фоторезистор Arduino // Rozetka, 2024. URL: https://rozetka.com.ua/346514148/p346514148/?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwupGyBhBBEiwA0UcqaE7Y0QwEq6V6rM1u30Bh0vM02PyfN0SeRgV8xdsgOnF6fz-thOPzrhoCli0QAvD_BwE (дата звернення: 27.04.2024).

24. Датчик звука, сенсор акустичний, модуль Arduino // Rozetka, 2024. URL: https://rozetka.com.ua/429662714/p429662714/?utm_1=r&gad_source=1&gc

lid=CjwKCAjwupGyBhBBEiwA0UcqaF7UnxcQJa7NVvK8S7BCyDcnRf3g9PFI ZJ6qxcuGd0rSyyhwZ12kRoCY10QAvD_BwE (дата звернення: 27.04.2024).

25. 0.96-дюймовий OLED-дисплей // МійПроект, 2024. URL: https://myproject.com.ua/096djujmovijoleddisplejua.html?gclid=CjwKCAjwupGyBhBBEiwA0UcqaDjnDBQVjD8zBTg5y1Tj02Yeftl8W2ki1VHD3YVTKyIfR_KoQWхоC15cQAvD_BwE&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=New_Company (дата звернення: 27.04.2024).

26. OLED LCD РК-дисплей 0.91" 128x32 ПС // МійПроект, 2024. URL: https://myproject.com.ua/oledlcdrkdisplej091quot128x32iicua.html?gclid=CjwKCAjwupGyBhBBEiwA0UcqaApd2jgsgWoFng6tTYzoNjHZwgaRW1YSqQKrGcWIJPCI37FQjAip7BoCtssQAvD_BwE&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=New_Company (дата звернення: 27.04.2024).

27. Дисплей LCD 1602 для Arduino // Rozetka, 2024. URL: https://rozetka.com.ua/249475276/p249475276/?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwupGyBhBBEiwA0UcqaKgXX4U8_jwvjCjr6XinbMНYZB7cvEZkB2ue4b2TnL5TX34LZJIEнВоСВХEQAvD_BwE (дата звернення: 27.04.2024).

28. Охорона праці. Вимоги до робочого місця працівника // Сайт ГСС. URL: <https://gc.ua/uk/oxorona-praci-v-ofisi-vimogi-do-robochogo-miscya-ofisnogo-pracivnika/> (дата звернення: 01.06.2024).