

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій

(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та
робототехніки

(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти _____ другий (магістерський) _____

Розроблення програмного модуля комп'ютеризованої системи збору обробки та
збереження поточних даних для візуалізації

(тема)

Виконав:

здобувач 2 року навчання,
групи КТРСм-23-1

Паньков А.С.

(прізвище, ініціали)

Спеціальність 174 Автоматизація,
комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Комп'ютеризовані та
роботехнічні системи

Керівник доц. каф. Іванов Л. С.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри

_____ (підпис)

Невлюдов І.Ш.

(прізвище, ініціали)

2025 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет	<u>Автоматики і комп'ютеризованих технологій</u>
Кафедра	<u>Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки</u>
Рівень вищої освіти	<u>другий (магістерський)</u>
Спеціальність	<u>174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка</u>
Тип програми	<u>освітньо-професійна</u>
Освітня програма	<u>Комп'ютеризовані та роботехнічні системи</u>
	(код і повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри Невлюдов І.Ш.

(підпис)

« _____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві Панькову Антону Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

- Тема роботи Розроблення програмного модуля комп'ютеризованої системи збору, обробки та збереження поточних даних для візуалізації
затверджена наказом по університету від 25.11. 2024 р. № 1239 Ст
- Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 16.01.2025 р.
- Вихідні дані до роботи Апаратні компоненти мікроконтролера Arduino Uno для побудови моделі прототипу; Програмні методи збору та обробки даних Програмні методи побудови графіків на дисплеї; Алгоритми режиму сну мікроконтролера для оптимізації енергоспоживання; Arduino IDE середовище програмування для мікроконтролера Arduino Uno; Tinkercad для моделювання та тестування схем прототипу; Wokwi для тестування дисплея SSD1306 у режимі реального часу.
- Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі Вступ; Сучасні основи автоматизованих модулів; Аналіз проблем та актуалізація рішень; Проектування автоматизованого модуля; Можливості вдосконалення прототипу; Оцінка ефективності модуля; Забезпечення безпеки умов праці; Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) Демонстраційний матеріал представлений у форматі презентації PowerPoint (*.ppt) – 15 с. формату А4

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Керівник (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз теоретичних аспектів	03.12.2024	Виконано
2	Огляд аналогів та їх порівняльний аналіз	11.12.2024	Виконано
3	Розробка технічного завдання та проектування модуля	17.12.2024	Виконано
4	Підбір апаратної бази та створення прототипу	24.12.2024	Виконано
5	Оптимізація прототипу та перевірка працездатності	03.01.2025	Виконано
6	Аналіз отриманих результатів	07.01.2025	Виконано
7	Оформлення пояснювальної записки та підготовка презентації	17.01.2025	Виконано
8	Остаточне узгодження роботи з керівником	19.01.2025	Виконано
9	Подання роботи до екзаменаційної комісії	27.01.2025	

Дата видачі завдання

25.11.2024

Здобувач

(підпис)

Паньков А.С.

(прізвище, ініціали)

Керівник роботи

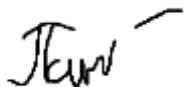
(підпис)

доц. каф. Іванов Л. С.

(посада, прізвище, ініціали)

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

"4" січня 2025 р.



Паньков А. С.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 94 с., 1 табл., 44 рис., 2 дод., 26 джерел.

АВТОМАТИЗОВАНИЙ МОДУЛЬ, ЗБІР ДАНИХ, ОБРОБКА ДАНИХ, ВІЗУАЛІЗАЦІЯ, МІКРОКОНТРОЛЕР ARDUINO.

Об'єкт дослідження – процеси збору, обробки та візуалізації даних у системах моніторингу параметрів навколишнього середовища.

Предмет дослідження – програмно-апаратний комплекс та принцип роботи модуля збору, обробки та візуалізації даних.

Мета кваліфікаційної роботи – підвищення ефективності процесів збору, обробки та візуалізації даних шляхом впровадження сучасних підходів до автоматизації, які забезпечують точність, енергоефективність та універсальність у різних сферах застосування.

Методи дослідження – системний аналіз літературних джерел, моделювання схемотехнічних рішень, програмування мікроконтролера Arduino, експериментальна перевірка працездатності прототипу.

У роботі виконано аналіз існуючих пристроїв та проведено їх порівняння за ключовими характеристиками. На основі отриманих даних було сформовано вимоги до розробки прототипу автоматизованого модуля, який відповідав би сучасним стандартам ефективності та надійності. Результатом дослідження став працездатний прототип модуля для моніторингу концентрації газу.

Також отримані результати роботи можна віднести до Цілі сталого розвитку 9 «Промисловість, інновації та інфраструктура», а саме 9.5 «Зміцнення наукових досліджень та впровадження інновацій».

ABSTRACT

Explanatory note: 94 pages, 1 table, 44 figures, 2 appendixes, 26 sources.

AUTOMATED MODULE, DATA COLLECTION, DATA PROCESSING, VISUALIZATION, ARDUINO MICROCONTROLLER.

The object of research is the processes of data collection, processing and visualization in environmental parameter monitoring systems.

The subject of the study is the hardware and software complex and the principle of operation of the data collection, processing and visualization module.

The goal of the qualification work is to increase the efficiency of data collection, processing, and visualization processes by implementing modern approaches to automation that ensure accuracy, energy efficiency, and versatility in various fields of application.

Research methods are a systematic analysis of literary sources, modeling of circuit solutions, programming of the Arduino microcontroller, experimental verification of the prototype's performance.

The work analyzes existing devices and compares them by key characteristics. Based on the data obtained, requirements were formulated for the development of a prototype of an automated module that would meet modern standards of efficiency and reliability. The result of the study was a working prototype of a module for monitoring gas concentrations.

The results of the work can also be attributed to Sustainable Development Goal 9 "Industry, Innovation and Infrastructure", namely 9.5 "Strengthening scientific research and implementation of innovations".

ЗМІСТ

Перелік скорочень	9
Вступ.....	10
1 Сучасні основи автоматизованих модулів.....	12
1.1 Аналіз предметної галузі	12
1.2 Особливості та класифікація автоматизованих модулів	15
1.3 Сфера застосування.....	21
1.4 Огляд досліджень у галузі.....	23
1.5 Висновок	26
2 Аналіз проблем та актуалізація рішень.....	27
2.1 Опис проблемної галузі	27
2.2 Огляд пристроїв-аналогів	28
2.2.1 Автоматизовані модулі на базі Raspberry Pi.....	30
2.2.2 NodeMCU/ESP8266 та ESP32.....	32
2.2.3 Schneider Electric Modicon	34
2.3 Результати порівняльного аналізу.....	36
2.4 Висновок	39
3 Проектування автоматизованого модуля.....	40
3.1 Формування вимог	40
3.2 Постановка задачі.....	43
3.3 Поетапна розробка модуля.....	44
3.3.1 Розробка схеми прототипу	45
3.3.2 Розробка програмного забезпечення.....	49
3.4 Висновок	55
4 Можливості вдосконалення прототипу	56
4.1 Ключові напрямки вдосконалення	56
4.2 Покращення візуалізації прототипу	56
4.3 Оптимізація енергоспоживання та автономність	60
4.4 Розробка корпусу модуля	64

	8
4.5 Висновок	66
5 Оцінка ефективності модуля.....	67
5.1 Оцінка ключових характеристик розробленого прототипу.....	67
5.2 Стійкість та надійність моделі	72
5.3 Висновок	73
6 Забезпечення безпеки умов праці.....	74
6.1 Особливості забезпечення безпеки роботи з пристроєм.....	74
6.2 Висновок	76
Висновки	77
Перелік джерел посилання	79
Додаток А Апробація результатів кваліфікаційної роботи	82
Додаток Б Презентація.....	88

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

НПАОП – нормативно-правові акти з охорони праці, що діють в Україні.

ADC (Analog-to-Digital Converter) – аналогово-цифровий перетворювач, використовується для перетворення аналогових сигналів у цифрову форму.

EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) – енергонезалежна пам'ять, яка використовується для збереження даних у мікроконтролерах.

I2C (Inter-Integrated Circuit) – двопровідний інтерфейс передачі даних між мікроконтролерами та периферійними пристроями.

IP (Ingress Protection) – ступінь захисту корпусу від пилу та вологи.

Li-Po (Lithium Polymer) – літій-полімерний акумулятор, який використовується для забезпечення живлення пристрою.

mA (milliampere) – міліампер, одиниця вимірювання електричного струму.

MQ-135 – модель сенсора газу, що визначає концентрацію летких органічних сполук, аміаку, діоксиду вуглецю тощо.

OLED (Organic Light-Emitting Diode) – органічний світлодіодний дисплей, що забезпечує високу контрастність і низьке енергоспоживання.

ppm (parts per million) – частини на мільйон, одиниця вимірювання концентрації газів.

RGB (Red, Green, Blue) – модель змішування кольорів, використовується для індикації кольору в світлодіодах.

SSD1306 – модель графічного OLED-дисплея з підтримкою інтерфейсу I2C.

UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) – універсальний асинхронний приймач-передавач для серійної передачі даних.

UL94 V-0 – клас вогнестійкості пластику, що визначає здатність матеріалу припиняти горіння.

ВСТУП

Сучасна економіка та промисловість значною мірою залежать від ефективності роботи інформаційних та автоматизованих систем, які забезпечують збір, обробку та аналіз даних у режимі реального часу. У багатьох галузях, зокрема в енергетиці, транспорті, виробництві та інформаційних технологіях, зростає потреба в інтегрованих рішеннях, які забезпечують оперативний доступ до точних даних і спрощують їх візуалізацію для прийняття управлінських рішень.

Особливо гострою ця потреба є у нафтогазовій сфері, де контроль технологічних процесів, моніторинг обладнання та оптимізація транспортування ресурсів вимагають високоточного збору даних з різних джерел. Використання автоматизованих модулів у цій галузі може значно підвищити ефективність роботи газотранспортних систем, забезпечити безпеку, зменшити витрати на технічне обслуговування та мінімізувати людський фактор.

Актуальність теми роботи обумовлена необхідністю створення таких рішень, які здатні інтегрувати поточні дані у єдину інформаційну систему, виконувати їх швидку обробку та представляти користувачу в зручному форматі. Існуючі рішення мають ряд обмежень: високу вартість адаптації до конкретних умов, складність обслуговування або недостатню функціональність, що вказує на потребу розробки універсального модуля.

Метою дослідження є підвищення ефективності процесів збору, обробки та візуалізації даних шляхом впровадження сучасних підходів до автоматизації, які забезпечують точність, енергоефективність та універсальність у різних сферах застосування:

- аналіз існуючих пристроїв, їх сильних і слабких сторін;
- розробку концептуальної моделі модулю;
- створення прототипу та програмного забезпечення;

– тестування розробленої системи.

Об'єктом дослідження є процеси автоматизації збору, обробки та зберігання даних

Предмет дослідження – програмно-апаратний комплекс та принцип роботи модуля збору, обробки та візуалізації даних.

Методами дослідження виступають системний аналіз, моделювання технічних рішень, експериментальне тестування та аналіз результатів. Наукова новизна роботи полягає у створенні архітектури модуля, що поєднує універсальність із високою швидкістю обробки даних. Практична цінність отриманих результатів проявляється в можливості їх впровадження для моніторингу газотранспортних систем, контролю технологічних процесів і підвищення ефективності управління виробничими операціями.

Кваліфікаційна робота виконана згідно ДСТУ 300815 [1] та методичними вказівками [2].

Дослідження теми роботи опубліковані на восьмій міжнародній конференції M&MS2024 (Додаток А) [3].

1 СУЧАСНІ ОСНОВИ АВТОМАТИЗОВАНИХ МОДУЛІВ

1.1 Аналіз предметної галузі

Сучасний світ швидко наповнюється великими обсягами даних, які надходять з різних джерел – від промислових систем і сенсорів до соціальних мереж і електронної комерції. У багатьох галузях економіки, таких як енергетика, транспорт, сільське господарство та охорона здоров'я, ефективне управління та аналіз даних є критично важливими для досягнення оперативності та високої якості рішень. Однак основною проблемою залишається те, що зібрані дані часто зберігаються у неструктурованому або розрізненому вигляді, що ускладнює їхнє подальше використання для аналізу або прийняття рішень.

Інтеграція інтелектуальних сенсорів у промислові та побутові системи дає змогу здійснювати моніторинг численних параметрів у режимі реального часу, що сприяє підвищенню безпеки та оптимізації витрат. Згідно зі звітами дослідницьких організацій, лише за останні п'ять років кількість підключених пристроїв у промисловому секторі зросла на 35%, а обсяги зібраних даних збільшилися на понад 40%. Однак для використання таких масивів інформації необхідно впроваджувати більш гнучкі підходи до збору, обробки та зберігання даних, щоб уникнути перенавантаження систем та втрати цінної інформації [4].

Нині традиційні підходи до обробки даних часто є недостатньо ефективними для роботи в умовах реального часу. Застарілі системи збору даних обмежують можливості для швидкої обробки та своєчасного отримання інформації, що впливає на ефективність процесів управління та прогнозування. Крім того, інтеграція з різними типами джерел даних потребує використання різноманітних форматів, що створює додаткові труднощі при спробі стандартизації та узагальнення інформації.

Один із ключових викликів сучасних систем збору та обробки даних полягає у великому обсязі неструктурованої інформації, яка надходить із різноманітних джерел. Неструктуровані дані – це інформація, яка не має фіксованого формату чи організації. Крім того, неструктуровані дані часто мають високу частку "шуму" – інформації, яка є нерелевантною або хибною. Наприклад, сенсори в умовах підвищеної вологості чи температурних коливань можуть створювати хибні показники, які потребують додаткового фільтрування [5]. Відсутність якісного очищення даних призводить до того, що аналітичні моделі дають некоректні результати, а прийняття рішень на основі таких даних стає ризикованим.

Для ефективного управління неструктурованими даними дедалі частіше застосовуються методи машинного навчання та алгоритми попередньої обробки, які дозволяють відокремлювати "шум" від корисної інформації. Наприклад, методи фільтрації на основі ковзного середнього або медіанних фільтрів можуть зменшити кількість хибних спрацьовувань сенсорів на понад 25%, що суттєво підвищує точність роботи системи. Використання таких алгоритмів у поєднанні з автоматизованими модулями дозволяє обробляти дані без втрати часу на ручну перевірку.

Іншою проблемою є обмежені можливості традиційних баз даних для роботи з неструктурованими даними. Більшість реляційних баз даних добре працюють з табличними даними, але не можуть ефективно зберігати й обробляти великі обсяги текстів, зображень чи інших нереляційних форматів. Це вимагає використання сучасних технологій, таких як бази даних NoSQL або хмарні обчислення, що забезпечують більшу гнучкість, але водночас створюють виклики у впровадженні й обслуговуванні.

Загалом, проблеми роботи з неструктурованими даними значно впливають на ефективність систем збору й аналізу інформації. Для їх вирішення потрібні інноваційні підходи, які передбачають автоматизацію процесів очищення, інтеграції та стандартизації даних. Це, у свою чергу, сприяє підвищенню якості аналізу та прийняття рішень у різних сферах діяльності.

Сучасні підходи до зберігання даних передбачають використання гібридних сховищ, що поєднують елементи реляційних і нереляційних баз даних. Це дає змогу ефективно зберігати різні типи інформації, включаючи числові показники, текстові звіти та зображення. Хмарні обчислення та розподілені бази даних, такі як MongoDB і InfluxDB, забезпечують високу масштабованість і дозволяють обробляти великі масиви даних без обмежень на обсяг і структуру. Проте впровадження таких рішень потребує додаткових ресурсів для забезпечення захисту даних і контролю доступу [6].

Візуалізація даних є важливою складовою сучасних систем моніторингу, оскільки дозволяє швидко оцінити стан системи та прийняти відповідні рішення на основі наочно поданих показників. Дослідження показують, що представлення даних у вигляді графіків, діаграм чи індикаторів знижує час на аналіз інформації на 40% порівняно з табличними звітами або текстовими значеннями. Крім того, використання кольорових маркерів дозволяє акцентувати увагу на критичних значеннях і полегшує сприйняття інформації.

Візуалізація також відіграє важливу роль у забезпеченні зворотного зв'язку від системи до оператора та дозволяє оперативно реагувати на зміну показників у реальному часі. Це особливо актуально для систем, що використовуються у виробничих процесах, де важлива кожна секунда для запобігання аваріям і своєчасного інформування відповідальних осіб.

Отже, для ефективного управління та аналізу даних у сучасних системах моніторингу необхідні рішення, що поєднують автоматизований збір, обробку та візуалізацію інформації у режимі реального часу. Вирішення проблем, пов'язаних із неструктурованими даними та оптимізацією енергоспоживання, потребує застосування інноваційних підходів та гнучких системних архітектур [7]. Для кращого розуміння принципів побудови таких систем доцільно розглянути особливості та класифікацію автоматизованих модулів, які є основою сучасних рішень для збору та аналізу даних у різних сферах діяльності.

1.2 Особливості та класифікація автоматизованих модулів

Автоматизований модуль – це програмно-апаратний комплекс, що складається з мікроконтролера або мікропроцесора, сенсорів для збору даних, модулів обробки інформації та пристроїв індикації або передачі результатів. Основна функція такого модуля – автоматичне виконання заданих операцій, включаючи збір, аналіз і передачу даних у режимі реального часу. Головна перевага таких модулів полягає у здатності функціонувати без безпосереднього втручання оператора, виконуючи завдання збору інформації, її попередньої обробки та відправки на центральний вузол або пристрій відображення у реальному часі [8].

Такі модулі забезпечують безперервний доступ до даних у реальному часі, виконуючи такі функції:

- збір інформації з різних джерел (сенсори, лічильники, бази даних);
- валідація та фільтрація даних для підвищення точності;
- збереження інформації у внутрішніх або зовнішніх сховищах;
- представлення даних у зрозумілому для користувачів форматі через інтерфейси, графіки чи звіти.

Автоматизовані модулі включають різноманітні компоненти, які працюють у комплексі для виконання визначених задач. Однією з важливих особливостей автоматизованих модулів є їх гнучкість та масштабованість. Завдяки модульній архітектурі користувач може додавати або замінювати окремі компоненти, адаптуючи систему під специфічні потреби. Також важливим фактором є підтримка різних протоколів передачі даних, таких як Wi-Fi, Bluetooth або LoRa, що дозволяє інтегрувати модулі у різні типи інфраструктур – від локальних мереж до хмарних сервісів [9].

До основних компонентів автоматизованих модулів відносяться:

- сенсорні елементи – фізичні або цифрові датчики для отримання даних про навколишнє середовище, процеси чи параметри. Наприклад датчики

тиску в трубопроводах або температурні сенсори. Приклад підключення датчика тиску резервуара до плати зображено на рисунку 1.1;

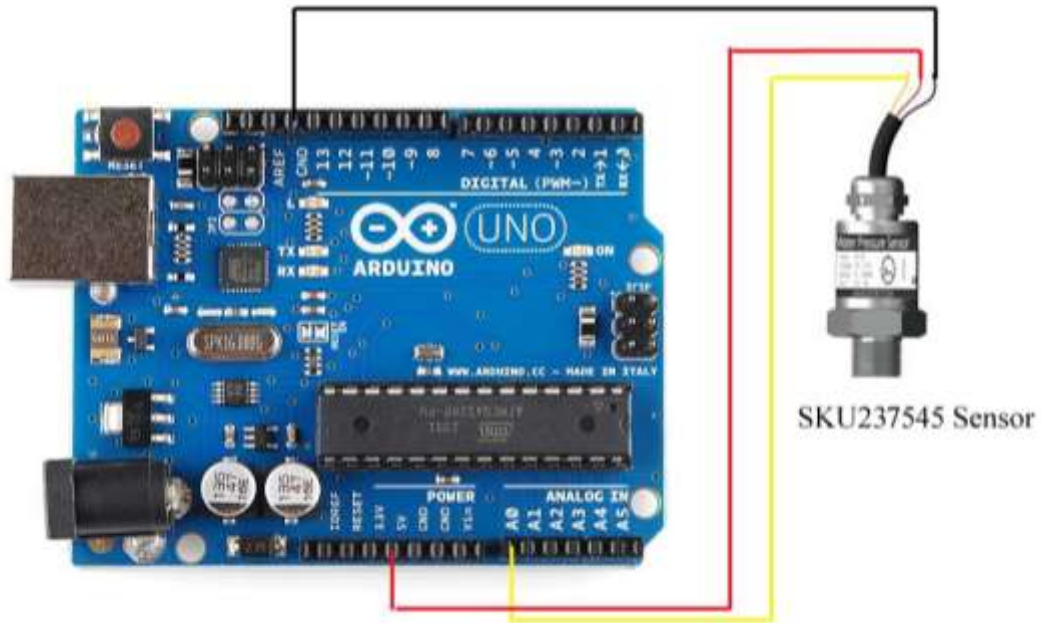


Рисунок 1.1 – Датчик тиску, підключений до плати Arduino UNO

– модулі передачі даних – забезпечують комунікацію між елементами модуля або із зовнішньою системою через кабельні або бездротові інтерфейси, наприклад Wi-Fi, Zigbee, або LoRa. Наприклад модулі на основі ESP8266 мають на борту Wi-Fi модуль. Приклади таких модулів зображено на рисунку 1.2;



Рисунок 1.2 – Wi-Fi модулі мікропроцесора ESP8266

– обчислювальні модулі – центральна частина системи, що виконує обробку отриманих даних, фільтрацію, обчислення середніх значень тощо. Це можуть бути як мікроконтролери (наприклад, Arduino Mega або ESP32) для

базових операцій, так і потужні одноплатні комп'ютери (такі як Raspberry Pi) для виконання складних алгоритмів і роботи з великими масивами даних. У промислових системах для обробки використовуються програмовані логічні контролери (PLC), наприклад Siemens SIMATIC або Schneider Modicon, що забезпечують стабільну роботу навіть у суворих умовах. Зовнішній вигляд промислового контролера SIMATIC зображено на рисунку 1.3;



Рисунок 1.3 – Siemens Simatic S7 1500

– інтерфейси користувача – відповідає за взаємодію між системою та оператором, дозволяючи переглядати результати вимірювань, налаштовувати параметри та керувати системою. Це можуть веб-додатки для віддаленого моніторингу даних через браузер чи мобільний додаток. Наприклад, застосунок Blynk дозволяє створити інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для смартфона, а програмні рішення на базі Flask чи Dash забезпечують веб-доступ до інформаційних панелей у реальному часі. Або ж це можуть бути локальні LCD дисплеї, а також HMI-панелі з сенсорним дисплеєм для промислових систем. Приклад LCD-дисплея для мікроконтролера зображено на рисунку 1.4;

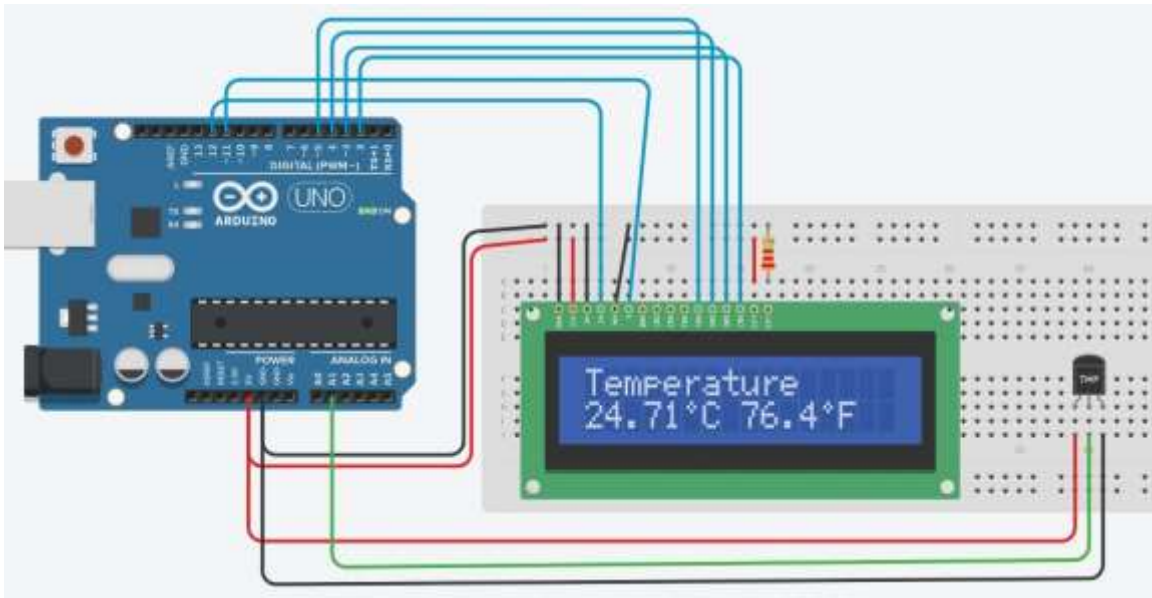


Рисунок 1.4 – Схема модуля Arduino з LCD дисплеєм

– системи енергозабезпечення – джерела живлення, що забезпечують стабільну роботу модулів навіть. Для стаціонарних систем використовуються блоки живлення від мережі 220 В, тоді як для мобільних або польових рішень застосовуються акумулятори або літєві батареї. Часто впроваджуються альтернативні джерела енергії, такі як сонячні панелі, для автономних систем. Наприклад, системи на базі ESP32 можуть житися від акумулятора ємністю 2000 мАг і працювати до кількох днів завдяки режиму сну. Таку систему з акумулятором та модулем заряджання зображено на рисунку 1.5.

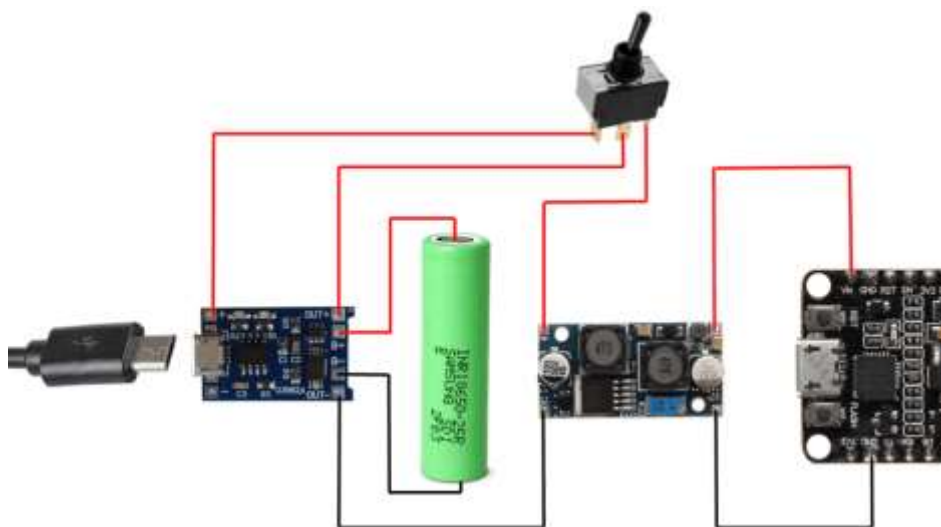


Рисунок 1.5 – Модуль ESP32 з акумулятором

Приклад схеми автоматизованого модуля, що включає в себе всі необхідні компоненти зображено на рисунку 1.6.

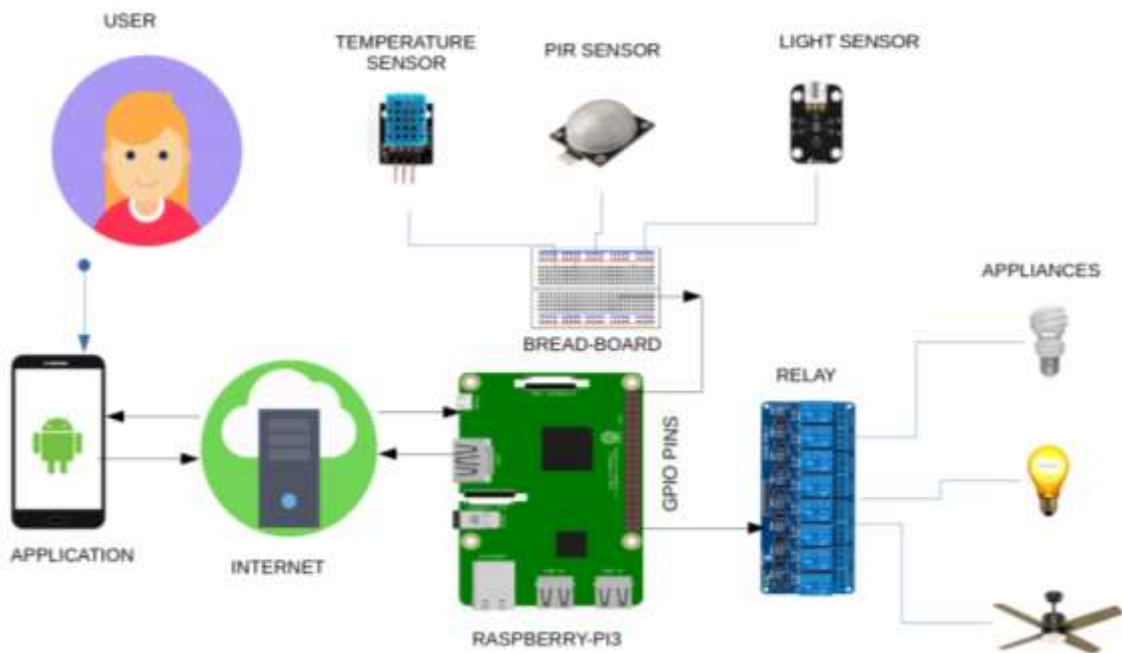


Рисунок 1.6 – Схема автоматизованого модуля з сенсорами на основі Raspberry-Pi3

Умовно класифікувати автоматизовані модулі можна за рівнем автоматизації, за функціональністю, архітектурою та галуззю застосування.

За рівнем автоматизації автоматизовані модулі можна поділити на:

- базові – виконують тільки збір і зберігання даних без аналізу;
- середнього рівня – обробляють отриману інформацію й можуть передавати результати на віддалені сервери;
- інтелектуальні – застосовують алгоритми машинного навчання для прогнозів чи оптимізації процесів.

За функціональністю:

- вимірювальні модулі – забезпечують реєстрацію фізичних параметрів (наприклад, витрата газу);
- контролюючі модулі – автоматично регулюють роботу обладнання відповідно до заданих параметрів;

– інформаційно-аналітичні модулі – використовуються для збирання та візуалізації великих масивів даних.

За архітектурою:

– монолітні – інтегровані рішення з фіксованою функціональністю;
– модульні – гнучка архітектура, яка дозволяє додавати нові компоненти.

За галуззю застосування:

– індустриальні – широко застосовуються у виробничих процесах, наприклад, автоматизація складання;
– нафтогазові – забезпечують моніторинг стану газопроводів, витрат газу тощо;
– екологічні – використовуються для моніторингу параметрів навколишнього середовища;
– медичні – автоматизація процесів діагностики й лікування.

Особливості роботи автоматизованих модулів включають кілька ключових етапів. Перш за все, здійснюється збір даних, який забезпечується за допомогою високоточних сенсорів, здатних фіксувати вимірювання у реальному часі. Отримані дані проходять етап фільтрації, під час якого видаляються шуми та недостовірні сигнали для підвищення точності результатів. Наступним важливим процесом є передача даних, що відбувається через захищені протоколи, які гарантують конфіденційність та захист інформації від зовнішніх впливів. Завершальним етапом є візуалізація отриманих результатів, яка досягається завдяки сучасним інструментам графічного представлення, що полегшують сприйняття даних та підтримують прийняття рішень.

Сучасні тенденції у розробці автоматизованих модулів спрямовані на інтеграцію інноваційних технологій та підвищення ефективності їх роботи. Зокрема, значну роль відіграє використання IoT-рішень, що дозволяють модулю підключатися до Інтернету речей, забезпечуючи його взаємодію з іншими пристроями та системами у єдиній мережі. Ще однією важливою

тенденцією є зростання популярності хмарних систем, які дозволяють перенести значну частину обчислень на віддалені сервери, забезпечуючи більшу обчислювальну потужність та доступ до даних у будь-який час. Особливо варто виділити зусилля зниження енергоспоживання таких модулів, що досягається завдяки впровадженню енергоефективних технологій та використанню альтернативних джерел енергії.

1.3 Сфера застосування

Автоматизовані модулі знайшли своє застосування у багатьох галузях, де є потреба у зборі, обробці, зберіганні та аналізі даних у реальному часі. Вони забезпечують ефективну роботу технологічних процесів, підвищують продуктивність, скорочують витрати і мінімізують вплив людського фактору.

Автоматизовані модулі значно покращують ефективність і безпеку в різних видах промислової діяльності. У технологічно складних процесах вони допомагають мінімізувати ризики аварій і забезпечують точне виконання операцій:

- нафтогазова сфера: в цій галузі автоматизовані модулі дозволяють здійснювати точний контроль параметрів транспортування, видобутку й обробки сировини, забезпечуючи стійку роботу систем і підвищення енергоефективності;

- важка промисловість: у таких галузях, як металургія і машинобудування, ці модулі допомагають контролювати ключові технологічні етапи, автоматизують процеси обліку матеріалів і енергоресурсів, а також підвищують безпеку праці;

- харчова промисловість: використання автоматизованих модулів у виробництві продуктів дозволяє забезпечити дотримання санітарних норм, стабільну якість продукції та автоматизувати процеси пакування й обробки.

Застосування автоматизованих модулів в транспортній та логістичній індустрії стає все більш необхідним у зв'язку з потребою підвищення ефективності перевезень і зменшення логістичних витрат:

- системи управління рухом: модулі дозволяють автоматизувати процеси керування дорожнім рухом, оптимізують роботу громадського транспорту і допомагають знижувати рівень заторів у містах;

- моніторинг вантажоперевезень: автоматизовані системи забезпечують повний контроль стану вантажів під час транспортування, зокрема температури в холодильних установках, і оптимізують використання складських площ.

Сучасні виклики збереження навколишнього середовища зумовлюють необхідність використання автоматизованих модулів для екологічного моніторингу і мінімізації негативного впливу людської діяльності:

- контроль якості повітря, води та ґрунту проводиться із залученням сенсорів і модулів збору даних у реальному часі;

- ефективність виявлення джерел забруднень та оперативність прийняття рішень значно зростають завдяки автоматизації процесів спостереження.

Будівництво активно використовує автоматизовані модулі для створення розумних будівель. Ці модулі забезпечують енергозбереження, безпеку і комфорт проживання та роботи:

- управління мікрокліматом приміщень і системами життєзабезпечення інтегруються в єдині мережі управління;

- системи контролю енергоспоживання та відеоспостереження підвищують ефективність функціонування сучасних об'єктів.

У медичній галузі автоматизація дозволяє підвищити рівень діагностики, лікування і догляду за пацієнтами завдяки інтеграції інноваційних модулів у медичні установи:

- діагностичні системи автоматизують аналіз даних, отриманих під час обстежень;

- моніторингові системи спрощують нагляд за пацієнтами, надаючи вчасну інформацію про їх стан.

Автоматизовані модулі активно сприяють розвитку агротехнологій, що дозволяє ефективніше використовувати ресурси і підвищувати врожайність:

- модулі забезпечують моніторинг стану полів, оптимізацію процесів зрошення і використання добрив;
- використання технологій на основі дронів дозволяє зменшувати вплив людського фактора.

Автоматизовані модулі стали невід'ємною частиною сучасних "розумних" домівок, допомагаючи створювати зручний та безпечний простір:

- системи управління освітленням, опаленням і безпекою значно спрощують побут і зменшують витрати на енергоресурси;
- побутові пристрої з автоматизованими модулями створюють новий рівень зручності для користувачів.

1.4 Огляд досліджень у галузі

Розвиток автоматизованих модулів є актуальною темою, що перебуває у фокусі уваги багатьох дослідників. Сучасні дослідження орієнтовані на створення універсальних рішень, що інтегрують передові технології, такі як штучний інтелект, Інтернет речей (IoT), хмарні обчислення та великі дані (Big Data). Завдяки таким інноваціям автоматизовані модулі здатні виконувати складні завдання у різноманітних галузях, від медицини до енергетики.

Автоматизовані модулі відіграють ключову роль у впровадженні концепції Індустрії 4.0, яка передбачає інтеграцію виробничих процесів із цифровими технологіями. За даними звітів Міжнародної організації промислових досліджень, понад 60% великих підприємств Європи вже використовують автоматизовані системи для контролю та оптимізації технологічних процесів. Особливий акцент у цих дослідженнях робиться на

підвищенні ефективності роботи систем у реальному часі та мінімізації людського втручання для зменшення помилок.

У наукових працях значну увагу приділено розробці спеціалізованих сенсорів і систем обробки даних. Наприклад, автори досліджень з промислової автоматизації відзначають важливість створення високоточного обладнання для збору інформації, здатного функціонувати в екстремальних умовах. У своїх роботах вони часто пропонують алгоритми адаптивної фільтрації даних, що забезпечують підвищену точність вимірювань навіть у складних середовищах.

Одним із піонерів у цій галузі є Массачусетський технологічний інститут (MIT), де створюються передові рішення для автоматизації процесів у промисловості, медичній сфері та "розумних" містах. Наприклад, MIT Media Lab активно займається розробкою модулів на основі Інтернету речей (IoT) для інтеграції різнорідних джерел даних [10].

Інше важливе дослідницьке спрямування стосується оптимізації протоколів передачі даних. Європейські дослідницькі центри, наприклад Fraunhofer Institute в Німеччині у сфері захищених мережевих систем демонструють, як можна значно зменшити затримки передачі й підвищити безпеку даних. У галузі IoT дедалі більше досліджень спрямовано на зниження енергоспоживання модулів і збільшення їх автономності, що робить ці пристрої привабливими для використання у важкодоступних місцях [11].

Частина науковців досліджує проблеми візуалізації отриманих даних. Пропонуються нові рішення для інтеграції графічних інтерфейсів, що адаптуються до потреб кінцевого користувача. Такі інтерфейси полегшують сприйняття інформації, дозволяючи оперативно реагувати на зміни параметрів системи.

Університет Берклі (США) є ще одним провідним центром у галузі автоматизації. Дослідження його лабораторій спрямовані на створення модулів, які використовують штучний інтелект для передбачення змін у технологічних процесах. Зокрема, розробки цього університету знаходять застосування у

сільському господарстві, де модулі забезпечують точний моніторинг стану ґрунтів і рослин [12].

Практична реалізація досліджень з цієї тематики охоплює також розробку модулів, що спеціалізуються на певних галузях. Наприклад, у медицині це модулі для дистанційного моніторингу стану пацієнтів; у сільському господарстві – системи точного землеробства; у нафтогазовій сфері – модулі для моніторингу трубопроводів і резервуарів.

Наукова література засвідчує тенденцію до синергії між прикладними і фундаментальними дослідженнями. Завдяки таким підходам можливе як вдосконалення технічних аспектів автоматизованих модулів, так і розробка нових методологій, що забезпечують вищу ефективність і надійність у різноманітних умовах експлуатації.

Значну увагу приділено також питанням кібербезпеки у роботі автоматизованих модулів. Дослідницькі центри у сфері захищених мереж працюють над інтеграцією алгоритмів шифрування та автентифікації для захисту передачі даних між компонентами модулів. Використання хмарних обчислень і розподілених баз даних створює нові можливості, але водночас вимагає впровадження додаткових механізмів для запобігання несанкціонованому доступу до даних [13].

Загалом, співпраця між академічними та промисловими партнерами значно сприяє прискоренню інновацій у розробці автоматизованих модулів. Такі інституції, як Європейська організація з дослідження ядерних реакторів (CERN), активно впроваджують автоматизацію у своїх великих наукових проєктах, що вимагають обробки великих обсягів даних у реальному часі. Завдяки таким дослідженням автоматизовані модулі стають усе більш універсальними й інтегрованими у різні сфери людської діяльності.

1.5 Висновок

У результаті дослідження теоретичних основ автоматизованих модулів визначено ключові проблеми, пов'язані з роботою з великими обсягами даних, включаючи високу частку інформаційного "шуму", складності інтеграції різнорідних джерел та візуалізацію даних. Проведено класифікацію автоматизованих модулів за функціональними та конструктивними ознаками, що дозволило виділити їх основні особливості та області застосування.

Огляд сучасних досліджень продемонстрував високу актуальність теми автоматизації, зокрема впровадження технологій IoT, штучного інтелекту та хмарних обчислень. Це підкреслило необхідність створення енергоефективних, компактних і гнучких у налаштуванні систем. Також обґрунтовано роль інтеграції сенсорів, алгоритмів фільтрації даних та ефективних методів візуалізації в автоматизованих модулях.

Здобуті теоретичні знання стали основою для визначення вимог до розроблюваного модуля та створення прототипу, що відповідає сучасним стандартам автоматизації.

2 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ТА АКТУАЛІЗАЦІЯ РІШЕНЬ

2.1 Опис проблемної галузі

Сучасний світ швидко наповнюється великими обсягами даних, які надходять з різних джерел – від промислових систем і сенсорів до соціальних мереж і електронної комерції. У багатьох галузях економіки, таких як енергетика, транспорт, сільське господарство та охорона здоров'я, ефективне управління та аналіз даних є критично важливими для досягнення оперативності та високої якості рішень. Однак основною проблемою залишається те, що зібрані дані часто зберігаються у неструктурованому або розрізненому вигляді, що ускладнює їхнє подальше використання для аналізу або прийняття рішень.

Нині традиційні підходи до обробки даних часто є недостатньо ефективними для роботи в умовах реального часу. Застарілі системи збору даних обмежують можливості для швидкої обробки та своєчасного отримання інформації, що впливає на ефективність процесів управління та прогнозування. Крім того, інтеграція з різними типами джерел даних потребує використання різноманітних форматів, що створює додаткові труднощі при спробі стандартизації та узагальнення інформації.

В умовах зростаючої залежності від оперативного аналізу даних особливо важливим є створення автоматизованих систем, здатних швидко і точно обробляти інформацію з різних джерел. Це дозволяє мінімізувати людський фактор і помилки, підвищуючи надійність результатів. Розробка автоматизованого модуля для збору, обробки та збереження поточних даних є необхідною для того, щоб забезпечити безперервність процесів моніторингу і надавати доступ до актуальних показників у режимі реального часу.

2.2 Огляд пристроїв-аналогів

Для ефективного проектування автоматизованого модуля збору, обробки та збереження даних необхідно враховувати існуючі рішення, що вже застосовуються у цій сфері. Аналіз пристроїв-аналогів дозволяє виявити сильні та слабкі сторони сучасних технологій, виділити їх основні функціональні особливості та визначити критерії, які потрібно врахувати при розробці власного рішення.

Серед великої кількості доступних на ринку пристроїв для збору та обробки даних було обрано три найбільш популярні й перспективні категорії:

- автоматизовані модулі на основі Raspberry Pi: одноплатного комп'ютера, який широко використовується для створення IoT-систем та обробки даних у реальному часі;
- NodeMCU/ESP8266 або ESP32: компактні мікроконтролери з вбудованим Wi-Fi та Bluetooth, призначені для бездротової передачі даних;
- Schneider Electric Modicon: промисловий програмований логічний контролер (PLC), розроблений для використання у виробничих процесах, що потребують високої надійності та інтеграції з існуючими системами.

Кожен із цих пристроїв має свої унікальні переваги та обмеження, які впливають на вибір обладнання залежно від сфери застосування. Raspberry Pi виділяється своєю обчислювальною потужністю та універсальністю, NodeMCU/ESP8266 та ESP32 – компактністю та доступністю для IoT-проектів, а Schneider Electric Modicon – надійністю та відповідністю промисловим стандартам.

Аналіз цих пристроїв допоможе сформулювати вимоги до майбутнього модуля, що дозволить поєднати сильні сторони існуючих рішень і врахувати їхні недоліки.

Для проведення огляду пристроїв-аналогів було використано метод порівняльного аналізу, який дозволяє оцінити ключові характеристики автоматизованих модулів відповідно до їх функціонального призначення.

Аналіз проводився за низкою параметрів, серед яких продуктивність, енергоспоживання, функціональні можливості, спосіб візуалізації даних, типи сенсорів, можливості комунікації, а також надійність і простота інтеграції в системи моніторингу. Такий підхід дозволив виявити сильні та слабкі сторони кожного з представлених пристроїв та визначити їх придатність для вирішення завдань проєкту.

Дослідження проводиться у три етапи. На першому етапі буде здійснено збір інформації про технічні характеристики модулів Raspberry Pi 4, NodeMCU/ESP32 та Schneider Electric Modicon M241 із використанням відкритих джерел, наукових публікацій та технічних звітів. Особлива увага приділяється можливостям роботи у реальному часі, обсягу підтримуваних форматів даних і наявності додаткових функцій для забезпечення надійності та захисту інформації.

Другий етап передбачає порівняння аналогів за допомогою спеціально розробленої таблиці, де було систематизовано інформацію про характеристики кожного пристрою. Це дозволить візуально оцінити відмінності та спільні риси модулів, а також визначити найбільш оптимальні рішення для певних завдань, таких як автономна робота чи інтеграція бездротових протоколів передачі даних.

На третьому етапі буде проведено узагальнення результатів порівняльного аналізу для формулювання висновків про сильні та слабкі сторони пристроїв. Цей етап включатиме оцінку відповідності пристроїв поставленим вимогам, таких як можливість підключення різних типів сенсорів, масштабованість та сумісність із різними програмними платформами. Результати аналізу стануть основою для визначення напрямків розробки власного автоматизованого модуля, зокрема вибору компонентів для його реалізації та інтеграції модулів передачі даних.

Таким чином, методика дослідження дозволить провести систематичний аналіз пристроїв-аналогів і визначити найбільш відповідний підхід для

створення модуля, що відповідає поставленим вимогам до продуктивності, автономності та функціональності.

2.2.1 Автоматизовані модулі на базі Raspberry Pi

Raspberry Pi – це одноплатний комп'ютер, розроблений для освітніх і дослідницьких цілей, але завдяки своїй універсальності знайшов широке застосування в IoT-проектах, системах збору даних, автоматизації та навіть серверних рішеннях. Модулі Raspberry Pi підтримують повноцінні операційні системи, наприклад, Raspberry Pi OS, що базується на Linux.

У якості прикладу для порівняння обрано плату Raspberry Pi 4 Model B. Це одна з найпопулярніших і найпотужніших моделей на сьогоднішній день. Вона широко використовується для проектів, що потребують обчислювальної потужності та підтримки графічних інтерфейсів. Плату зображено на рисунку 2.1.

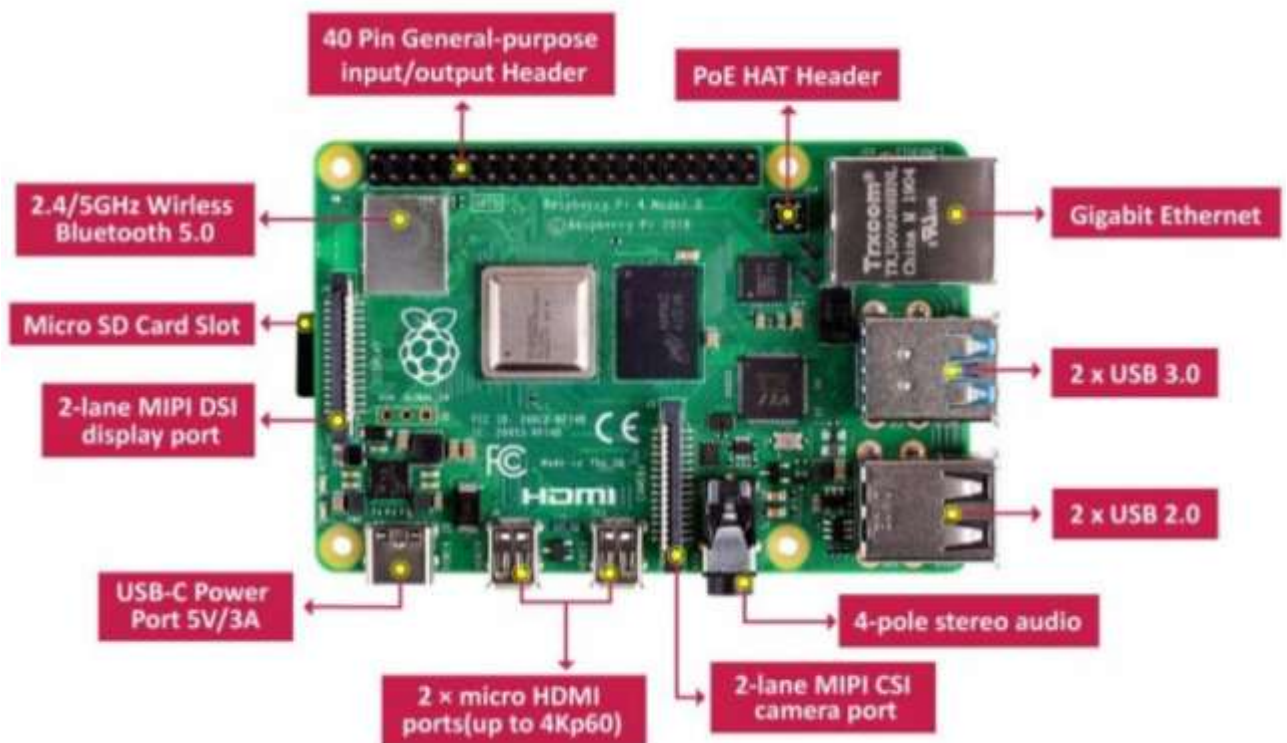


Рисунок 2.1 – Плата Raspberry Pi 4 Model B

До переваг модулів на основі Raspberry Pi можна віднести:

- висока обчислювальна потужність: Raspberry Pi 4 Model B оснащений чотириъядерним процесором ARM Cortex-A72 із тактовою частотою 1,5 ГГц і оперативною пам'яттю до 8 ГБ, у бенчмарку Sysbench Raspberry Pi 4 показує продуктивність ~2500 балів у тестах CPU, що достатньо для багатьох задач з обробки даних. Час обробки одного циклу зчитування та запису даних становить 0,01 секунди, що відповідає пропускну здатності 100 операцій на секунду. Таким чином, Raspberry Pi 4 здатний обробляти потоки даних від до 50 сенсорів одночасно без зниження продуктивності;
- універсальність і підтримка периферії: пристрій має порти USB, GPIO, Ethernet, Wi-Fi і Bluetooth, що дозволяє підключати різноманітні сенсори та модулі;
- широка спільнота розробників: за офіційними даними Raspberry Pi Foundation, станом на 2024 рік продано понад 45 мільйонів пристроїв Raspberry Pi, що створює величезну базу знань і готових рішень.

Серед слабких сторін можна виділити:

- високе енергоспоживання: Raspberry Pi 4 Model B споживає в середньому 3-4 Вт у режимі простою і до 7-8 Вт при активному навантаженні, що може бути проблемою для автономних систем на батарейному живленні;
- чутливість до умов експлуатації: робочий температурний діапазон становить від 0 °C до 50 °C, що обмежує використання в екстремальних умовах;
- обмеження на інтерфейси вводу-виводу: хоч Raspberry Pi має багато GPIO-портів, для спеціалізованих інтерфейсів (наприклад, CAN-шина) потрібні додаткові плати розширення.

Raspberry Pi використовується в різних проєктах:

- IoT-рішення: збір даних із сенсорів у розумних будинках;
- автоматизація: управління системами освітлення чи вентиляції;
- медичні дослідження: моніторинг фізіологічних показників пацієнтів;

– навчальні проєкти: симуляція мережевих систем або роботи мікропроцесорів.

Raspberry Pi – це потужний і універсальний інструмент для реалізації проєктів, що потребують обробки великих обсягів даних, підключення різноманітної периферії та створення зручних інтерфейсів взаємодії. Проте для автономних або екстремальних умов застосування потрібно врахувати його обмеження щодо енергоспоживання та робочого середовища.

2.2.2 NodeMCU/ESP8266 та ESP32

NodeMCU/ESP8266 та ESP32 – це серії мікроконтролерів із вбудованою підтримкою Wi-Fi (а ESP32 також має Bluetooth), що є популярними у сфері IoT завдяки їх компактності, низькій вартості та широким можливостям для передачі даних бездротовим способом. Їхня програмована середа базується на Arduino IDE, що робить розробку зручнішою для початківців. Плати ESP8266 та ESP32 зображено на рисунку 2.2.

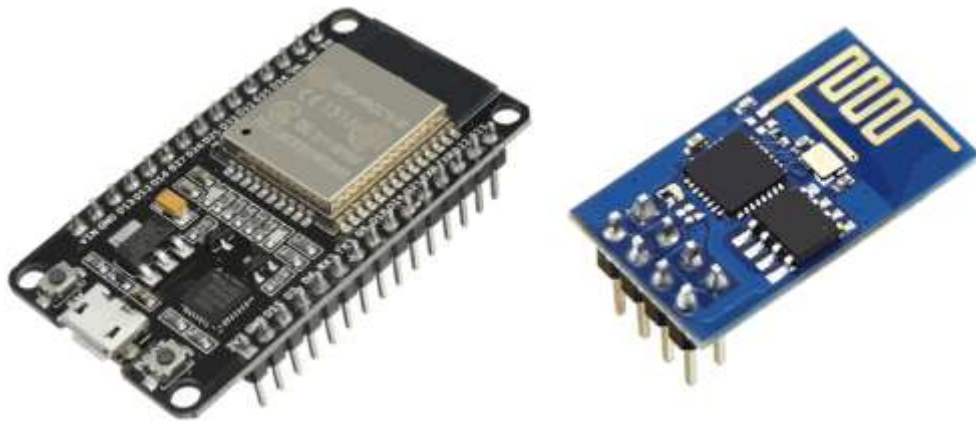


Рисунок 2.2 – Плати ESP8266 та ESP32

Сильні сторони:

– вбудований Wi-Fi/Bluetooth: ці модулі забезпечують бездротовий обмін даними без необхідності підключення зовнішніх комунікаційних

модулів. Швидкість передачі даних через Wi-Fi досягає 72 Мбіт/с (ESP32), що достатньо для більшості задач збору й передачі даних у реальному часі;

- компактність і низька вартість: наприклад, ESP8266 коштує від \$4 до \$6, а ESP32 – від \$6 до \$10, що робить їх ідеальними для бюджетних IoT-проектів;

- енергоефективність: у режимі глибокого сну споживання ESP32 становить усього 10 мкА, що дозволяє використовувати пристрій у автономних системах, які працюють на батарейках. Проте у режимі активної роботи ESP8266 споживає 80–170 мА, а ESP32 – близько 240 мА при Wi-Fi-з'єднанні;

- гнучкість у програмуванні: наявність підтримки кількох середовищ, включно з Arduino IDE, Micropython і PlatformIO.

Слабкі сторони:

- обмежена обчислювальна потужність: ESP8266 оснащений однією 32-бітною ядром Tensilica L106 із тактовою частотою до 160 МГц, а ESP32 має двоядерний процесор Tensilica LX6 із частотою до 240 МГц, що все ж поступається потужністю іншим модулям;

- складність інтеграції: при підключенні великої кількості сенсорів або периферії можуть виникати проблеми з браком пінів вводу/виводу;

- відсутність повноцінної ОС: ці мікроконтролери працюють на рівні прошивок, що обмежує можливості багатозадачності.

NodeMCU/ESP8266 та ESP32 широко використовуються в таких проєктах:

- IoT-системи: віддалений моніторинг температури, вологості, CO₂ та інших параметрів у "розумних" будинках;

- екологічний моніторинг: контроль якості повітря або води в реальному часі;

- мобільні пристрої: відстеження місцеположення або зв'язок між пристроями через Bluetooth;

- автономні системи: сенсорні вузли з батарейним живленням для польових умов.

NodeMCU/ESP8266 та ESP32 є ідеальними модулями для задач, де потрібна низька вартість, компактність та бездротова передача даних. Вони чудово підходять для IoT-проектів, які вимагають автономності та енергоефективності. Однак їхні обмеження в обчислювальній потужності та кількості вводу/виводу можуть стати проблемою для складніших систем.

2.2.3 Schneider Electric Modicon

Програмовані логічні контролери (PLC) серії Modicon від компанії Schneider Electric є промисловими рішеннями для автоматизації виробничих процесів. Ці пристрої забезпечують високу надійність, мають модульну архітектуру та підтримують інтеграцію з SCADA-системами для моніторингу та візуалізації даних у реальному часі. Контролери Modicon використовуються на підприємствах, де потрібен контроль технологічних процесів та візуалізація ключових параметрів для прийняття управлінських рішень.

Для аналізу було використано Schneider Electric Modicon M241 – це одна з найпопулярніших моделей програмованих логічних контролерів (PLC) середнього рівня. Вона підходить для систем автоматизації з високою потребою у продуктивності та надійності. Контролер Schneider Electric Modicon M241 зображено на рисунку 2.3.



Рисунок 2.3 – Контролер Schneider Electric Modicon M24

Сильні сторони:

- висока надійність і відмовостійкість: контролери Modicon сертифіковані для роботи в жорстких промислових умовах і здатні функціонувати при високих навантаженнях;
- інтеграція зі SCADA-системами: Modicon легко підключається до програмних рішень, таких як EcoStructure Machine Advisor або сторонні SCADA-програми, що забезпечує комплексний моніторинг та відображення даних на інформаційних панелях;
- гнучкість у конфігурації: завдяки модульній конструкції можна додавати або замінювати окремі модулі (введення/виведення, мережеві модулі тощо), що спрощує масштабування;
- широкий температурний діапазон роботи: PLC Modicon працюють у діапазоні від $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$, що дозволяє використовувати їх у екстремальних умовах.

Слабкі сторони:

- висока вартість: типова конфігурація контролера Modicon із додатковими модулями може коштувати від \$1000 і більше, що робить його недоступним для малих проєктів;
- складність у налаштуванні: програмування PLC потребує знань специфічних мов програмування, таких як Ladder Logic або Structured Text, що вимагає додаткової підготовки спеціалістів;
- підвищені вимоги до середовища впровадження: часто необхідно забезпечити захист від електромагнітних перешкод і коректно налаштувати комунікаційні протоколи.

PLC Modicon використовуються для:

- промислової автоматизації: контроль конвеєрів, виробничих ліній та складних технологічних процесів;
- енергетики: моніторинг електромереж та оптимізація роботи підстанцій;

- водопостачання та очищення: контроль насосних станцій і фільтраційних установок;
- будівельних систем: управління вентиляцією, освітленням і системами пожежної безпеки.

Schneider Electric Modicon – це надійні промислові рішення для збору, обробки та візуалізації даних у реальному часі. Вони забезпечують безперервний моніторинг процесів і високу точність даних, що дозволяє ефективно керувати виробничими системами. Проте висока вартість і складність налаштування обмежують використання цих контролерів у невеликих проектах, що не потребують промислових стандартів надійності.

2.3 Результати порівняльного аналізу

Аналіз трьох обраних пристроїв-аналогів – Raspberry Pi, NodeMCU/ESP8266/ESP32 та Schneider Electric Modicon – дозволив оцінити їхні сильні та слабкі сторони для вирішення завдання збору, обробки та візуалізації даних у режимі реального часу.

Цей аналіз дозволяє сформулювати основні вимоги до власного автоматизованого модуля, зокрема необхідність підтримки багатоканального збору даних, інтерактивної візуалізації та оптимізації вартості для забезпечення доступності проекту.

Серед основних характеристик для порівняння було обрано: обчислювальну потужність, обсяг пам'яті, підключення до мережі, енергоспоживання, температурний діапазон, підтримка візуалізації, вартість, гнучкість підключення сенсорів та призначення.

Ключові переваги та обмеження кожного з пристроїв продемонстровано в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Порівняльна характеристика аналогів:

Характеристика	Raspberry Pi	NodeMCU/ESP8266/ESP32	Schneider Electric Modicon
Обчислювальна потужність	Чотириядерний ARM Cortex-A72, 1,5 ГГц	Одноядерний (ESP8266) або двоядерний (ESP32), до 240 МГц	PLC з високою швидкістю обробки
Обсяг пам'яті	ОЗП: до 8 ГБ, флеш: SD-карта	Флеш: до 4 МБ (ESP8266), до 16 МБ (ESP32), ОЗП: 520 КБ	До кількох сотень каналів для обробки сигналів
Підключення до мережі	Wi-Fi, Ethernet, Bluetooth	Wi-Fi (обидва), Bluetooth (ESP32)	Ethernet, серійні протоколи, промислові шини
Енергоспоживання	5-8 Вт (активне споживання) 3 Вт (режим сну)	3,3 Вт (активне споживання) ~0,01 Вт (режим сну)	3-10 Вт (активне споживання) 2 Вт (режим сну)
Температурний діапазон	0 °C до 50 °C	-40 °C до 85 °C	-25 °C до 70 °C
Підтримка візуалізації	Бібліотеки та веб-інтерфейси	Веб-інтерфейси та хмарні сервіси	SCADA-системи, НМІ-панелі
Вартість	Від \$35 до \$75	Від \$4 до \$10	Від \$1000 і вище
Гнучкість підключення сенсорів	Велика кількість портів і периферії	Обмежена кількість GPIO	Гнучка модульна структура
Призначення	Універсальне використання, IoT, сервери	IoT, автономні системи, моніторинг	Промислові процеси, SCADA-моніторинг

Одним із ключових критеріїв порівняння є вартість пристроїв. NodeMCU/ESP8266 та ESP32 демонструють найнижчу ціну (\$4–10), що робить їх привабливими для бюджетних проєктів. Raspberry Pi із ціною \$35–75 також є доступним варіантом, особливо враховуючи його потужність та можливості для створення візуалізації, але вже помітно дорожчим. У той же час, контролери Schneider Electric Modicon мають високу вартість (від \$1000 і вище), що обґрунтовано їхньою промисловою надійністю, але робить їх недоступними для невеликих чи дослідницьких проєктів, а їхню потужність надлишковою.

Щодо можливостей візуалізації, Raspberry Pi пропонує найкращий функціонал, оскільки підтримує різноманітні бібліотеки для візуалізації (Matplotlib, Plotly, Dash) та дозволяє запускати локальні чи веб-інтерфейси безпосередньо на пристрої. Schneider Electric Modicon покладається на SCADA-системи та HMI-панелі для відображення даних, що є ефективним, але вимагає складного налаштування та додаткового обладнання. NodeMCU/ESP8266 та ESP32 можуть відображати базові графіки через веб-інтерфейси, але для складних інтерактивних дашбордів потребують підключення до хмарних сервісів або окремих серверів.

Енергоспоживання є критичним параметром для забезпечення автономності пристрою та його ефективного використання в польових умовах. NodeMCU/ESP8266 та ESP32 демонструють найкращі показники з енергоспоживання, витрачаючи лише 0,3–0,7 Вт у режимі активної роботи та менш ніж 0,01 Вт у режимі сну, що дозволяє їм працювати на батареї протягом кількох днів або навіть тижнів. Raspberry Pi 4, хоча й має більшу обчислювальну потужність, споживає близько 5–7 Вт під навантаженням, що значно скорочує час автономної роботи без зовнішнього живлення. Schneider Electric Modicon, як промисловий контролер, споживає 3–10 Вт залежно від конфігурації, що відповідає його високій функціональності та надійності, але обмежує використання у мобільних чи енергонезалежних системах.

Порівняння трьох обраних пристроїв показало, що кожен із них має свої переваги та обмеження. Raspberry Pi 4 вирізняється високою обчислювальною потужністю та можливістю обробки великих обсягів даних із вбудованою підтримкою графічного інтерфейсу, що робить його оптимальним вибором для складних проєктів з акцентом на візуалізацію. NodeMCU/ESP32 забезпечує низьке енергоспоживання, компактність і гнучкість для роботи з бездротовими мережами, що ідеально підходить для автономних пристроїв із можливістю передачі даних у реальному часі. Schneider Electric Modicon M241 демонструє високу надійність і підтримку промислових стандартів, але має значно вищу вартість та енергоспоживання. Таким чином, залежно від вимог проєкту, вибір

компонентів залежить від балансу між вимогами до продуктивності, автономності та доступності пристрою.

2.4 Висновок

Проведено детальний аналіз проблем, пов'язаних із використанням сучасних автоматизованих модулів у різних сферах. Зокрема, розглянуто питання енергоефективності, точності вимірювань, обробки неструктурованих даних та інтеграції систем. Було виявлено, що однією з ключових проблем є недостатня адаптивність існуючих рішень до умов реального часу, що значно обмежує їх функціональність.

На основі огляду пристроїв-аналогів, таких як Raspberry Pi, NodeMCU (ESP8266), та Schneider Electric Modicon, визначено їх сильні та слабкі сторони. Це дозволить сформулювати вимоги до розроблюваного модуля, зокрема забезпечення автономності, ефективного збереження та візуалізації даних, а також можливості інтеграції додаткових функцій.

Результати аналізу актуалізували необхідність створення універсального та енергоефективного рішення, яке поєднує передові алгоритми обробки даних та простоту використання. Ці висновки стали основою для розробки технічного завдання та подальшої роботи над модулем.

3 ПРОЄКТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО МОДУЛЯ

3.1 Формування вимог

Розробка автоматизованого модуля збору, обробки та візуалізації даних потребує чіткого визначення функціональних і технічних вимог до пристрою для забезпечення його ефективної роботи в реальних умовах експлуатації. На основі аналізу наявних пристроїв-аналогів, їхніх сильних і слабких сторін, а також з урахуванням потреб користувача можна сформулювати вимоги до пристрою. Основною метою є створення модуля, який поєднує гнучкість у підключенні сенсорів, низьке енергоспоживання та можливість оперативного відображення даних у зручному форматі.

Під час формування вимог особлива увага приділяється забезпеченню автономності роботи, оптимізації використання ресурсів та інтеграції із системами віддаленого моніторингу. Також важливою є підтримка локальної візуалізації даних для забезпечення швидкого доступу до інформації без додаткового серверного обладнання. Вимоги мають визначити ключові параметри модуля, такі як обсяг пам'яті, швидкість обробки та передачі даних, інтерфейси підключення і формат відображення результатів. На основі цих вимог буде розроблено концептуальну модель модуля та сформульовано план його реалізації.

Таким чином можна одразу визначити функціональні вимоги автоматизованого модуля:

- збір даних: пристрій повинен підтримувати підключення сенсорів для вимірювання фізичних параметрів (температура, вологість, тиск тощо);
- обробка даних: модуль повинен мати можливість фільтрації шумів і обчислення базових статистичних показників "на борту";
- передача даних: підтримка передачі даних у реальному часі;

– візуалізація: відображення зібраних даних на локальному екрані у вигляді графіків, таблиць або цифрових показників.

Енергоспоживання є критичним параметром для роботи автоматизованого модуля, особливо якщо пристрій планується використовувати в автономному режимі або у віддалених місцях із обмеженим доступом до джерел живлення. Енергоефективність дозволяє продовжити час роботи модуля на одному заряді батареї та мінімізує витрати на обслуговування. Оптимальне енергоспоживання повинно бути збалансованим із продуктивністю, щоб забезпечити безперебійну передачу даних і обробку без перевантаження елементів живлення.

Вимоги до енергоспоживання:

- пристрій повинен підтримувати режим енергозбереження із можливістю переходу в режим "сну";
- максимальне споживання в активному режимі не повинно перевищувати 1,5–2 Вт;
- живлення пристрою повинно бути можливим як від акумуляторів, так і від мережевого адаптера.

Продуктивність визначає здатність модуля обробляти та передавати дані у встановлені часові рамки без затримок і збоїв. Висока продуктивність особливо важлива для систем моніторингу в реальному часі, де будь-яка затримка у відображенні даних може вплинути на прийняття рішень. Основними показниками продуктивності є швидкість реакції на зміну параметрів сенсорів, швидкість обчислень і передача даних із мінімальною затримкою. Забезпечення стабільної роботи навіть за умови значних обсягів даних є ключовою вимогою до модулів, які працюють із потоковою інформацією.

Вимоги до продуктивності пристрою:

- час реакції на зміну параметрів сенсорів не повинен перевищувати 100 мс;

- модуль повинен підтримувати оновлення даних та передачу їх на сервер із затримкою не більше 1 секунди.

Ергономіка та дизайн автоматизованого модуля відіграють важливу роль у зручності його використання та технічного обслуговування. Компактні розміри пристрою та оптимальне розташування компонентів сприяють простоті монтажу й інтеграції в існуючі системи. Інтерфейс користувача повинен бути зрозумілим і містити інформативне відображення основних показників роботи. Наявність зручного дисплея та фізичних елементів керування підвищує зручність експлуатації пристрою як у лабораторних, так і в польових умовах.

Вимоги до ергономіки:

- пристрій повинен бути компактним і мати зручний інтерфейс користувача;
- розміщення компонентів повинно забезпечувати простий доступ для технічного обслуговування;
- дисплей (TFT, LCD або OLED) повинен мати чіткий інтерфейс із графічним представленням основних параметрів.

Надійність і захист автоматизованого модуля визначають його здатність стабільно працювати в умовах впливу зовнішніх факторів, таких як перепади напруги, вібрації, температура та вологість. Пристрій повинен бути захищеним від перевантажень і короткого замикання, а також мати механічний захист для запобігання пошкодженню під час транспортування або роботи в екстремальних умовах. Важливо забезпечити стійкість роботи пристрою навіть у випадку короткочасних збоїв живлення або відсутності сигналу. Для пристроїв, що працюють у польових умовах, рекомендованим є використання герметичного корпусу, який захищає електроніку від пилу та вологи.

Вимоги до надійності модуля:

- забезпечення захисту від перевантаження та короткого замикання;
- стійкість до роботи в діапазоні температур від 0 °C до 50 °C;
- вологозахисний корпус для роботи в умовах підвищеної вологості (опціонально).

3.2 Постановка задачі

На основі сформованих вимог до автоматизованого модуля та проведеного аналізу пристроїв-аналогів основним завданням є розробка багатофункціонального пристрою для збору, обробки та візуалізації даних. Майбутній модуль повинен забезпечувати роботу в реальному часі з можливістю підключення сенсорів, передавати дані для дистанційного моніторингу та мати локальний інтерфейс для швидкого перегляду інформації без необхідності додаткового обладнання.

Для досягнення цієї мети необхідно виконати такі завдання:

- розробка апаратної архітектури модуля: вибір оптимальної плати та модулів розширення (Wi-Fi, Ethernet або дисплей), а також розробка схеми підключення сенсорів і периферійних пристроїв;
- розробка програмного забезпечення: написання прошивки для збору даних із сенсорів, обробки та фільтрації даних, а також розробка функції передачі даних на локальний дисплей або хмарні сервіси;
- реалізація візуалізації: створення зручного графічного інтерфейсу для відображення зібраних даних як у вигляді числових значень, так і у вигляді графіків або діаграм;
- забезпечення енергоефективності: оптимізація споживання енергії шляхом використання режимів низького енергоспоживання та зменшення навантаження на систему;
- розробка захисту пристрою: реалізація заходів для захисту системи від зовнішніх впливів, таких як перевантаження та перепади напруги, а також вибір корпусу для захисту електронних компонентів від механічних пошкоджень і впливу навколишнього середовища;
- тестування та налагодження: проведення випробувань прототипу для перевірки його роботи у різних режимах і під різним навантаженням, аналіз отриманих результатів та внесення необхідних коригувань.

Основна мета проєкту – створити ефективний, надійний та доступний автоматизований модуль, який відповідатиме сучасним вимогам збору та візуалізації даних у реальному часі. Виконання поставлених завдань дозволить отримати пристрій із широкими можливостями застосування в дослідницькій діяльності, навчальних проєктах та практичних системах моніторингу.

3.3 Поетапна розробка модуля

Процес створення автоматизованого модуля для моніторингу концентрації газу складається з кількох ключових етапів: проєктування апаратної частини, написання програмного забезпечення та тестування працездатності системи. Кожен із цих етапів дозволяє поступово вдосконалити модуль, додаючи функціональні можливості та оптимізуючи роботу пристрою відповідно до вимог проєкту.

Перший етап передбачає розробку структурної схеми, що відображає взаємозв'язок між усіма компонентами: контролером, сенсорами, модулями індикації та живлення. На цьому етапі було визначено необхідні компоненти та продумано їхнє розташування для зручності інтеграції та подальшого вдосконалення.

Другий етап полягає у створенні програмного забезпечення для контролера. Ця частина роботи включає написання алгоритму роботи модуля та його реалізацію у вигляді програмного коду. Програма відповідає за зчитування даних із сенсора, перевірку критичних значень, виведення інформації на дисплей і подачу сигналів тривоги.

Третій етап передбачає перевірку працездатності прототипу та його тестування. На цьому етапі проводиться налагодження коду, виправлення можливих помилок і перевірка відповідності системи до поставлених вимог. Після тестування можливе вдосконалення прототипу для підвищення його функціональності, надійності та автономності.

Таким чином, поетапна розробка дозволяє послідовно впроваджувати зміни та досягати оптимальних характеристик модуля на кожному етапі, що забезпечує ефективну реалізацію проєкту.

3.3.1 Розробка схеми прототипу

Створення прототипу автоматизованого модуля для збору, обробки та збереження поточних даних для візуалізації передбачає ретельний вибір компонентів, які забезпечать стабільну роботу системи, мінімізацію енергоспоживання та зручність відображення інформації. Під час формування структури пристрою було враховано результати порівняльного аналізу аналогів, а також специфіку вимог проєкту.

Для розробки прототипу автоматизованого модуля будуть використані наступні компоненти:

- контролер Arduino Uno [15]: для створення прототипу обрано Arduino Uno, який є одним із найпопулярніших мікроконтролерів у дослідницьких проєктах. Більшість проєктів для освітніх цілей базуються на платах Arduino завдяки їхній доступності та великій кількості готових бібліотек для роботи з периферійними пристроями [16]. Завдяки 14 цифровим та 6 аналоговим пін-портам, Arduino Uno дозволяє підключити всі необхідні компоненти системи, залишаючи можливість для подальшого розширення. Плата споживає до 50 мА при роботі без підключення додаткових периферійних пристроїв, що дозволяє використовувати її навіть у системах із обмеженим енергоресурсом. Схему Arduino Uno r3 зображено на рисунку 3.1;

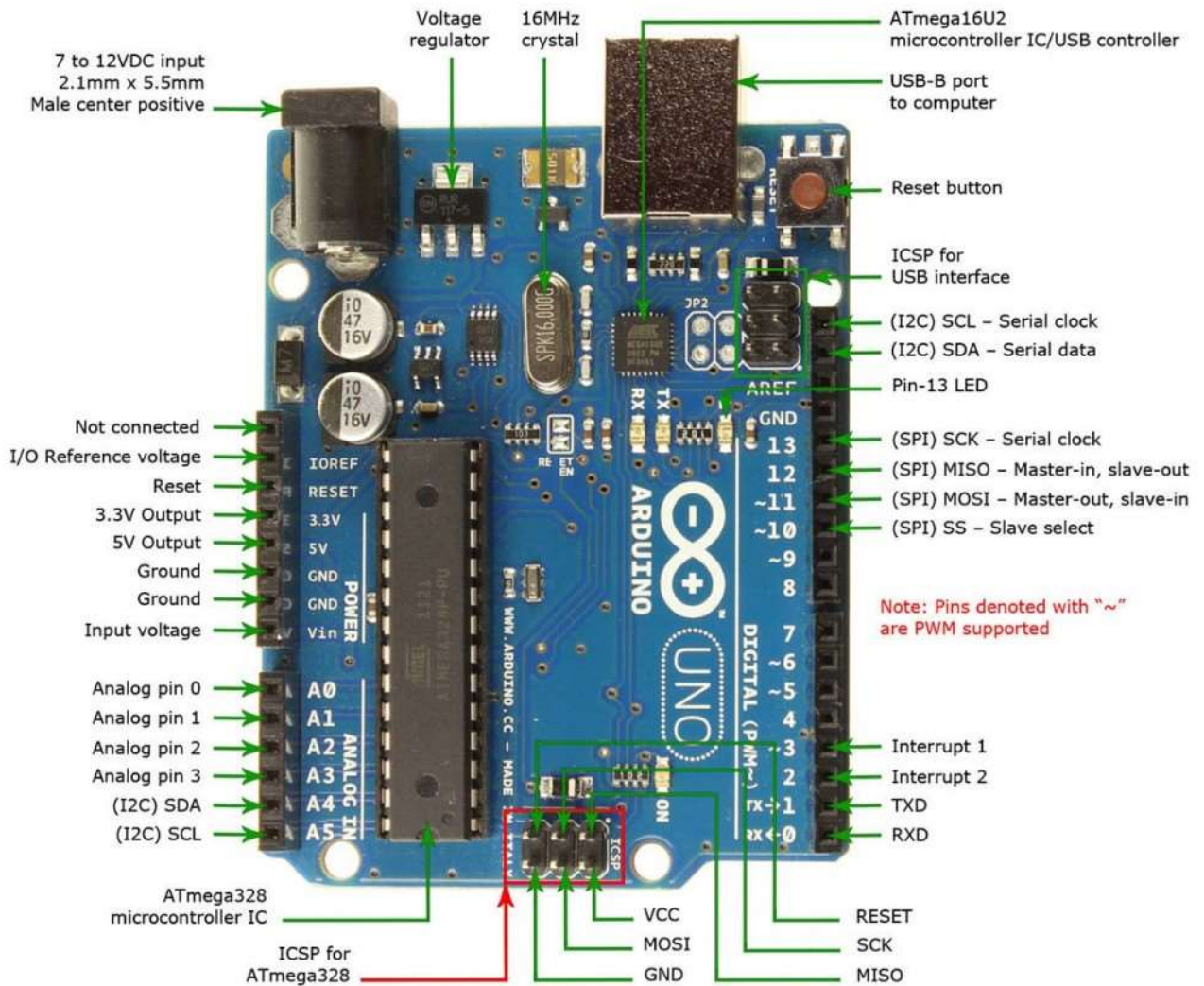


Рисунок 3.1 – Arduino Uno r3

– газовий сенсор MQ-135 [17]: MQ-135 – це сенсор, що підтримує визначення концентрацій кількох газів, таких як чадний газ (CO), вуглекислий газ (CO₂), аміак (NH₃), що робить його універсальним для моніторингу повітря для запобігання витоку газу. Сенсор має чутливість у діапазоні 10–1000 ppm, що охоплює допустимі норми та критичні значення концентрації CO₂ (400–1000 ppm для приміщень). MQ-135 потребує калібрування, але завдяки простоті підключення та вихідному сигналу 0–5 В він легко інтегрується з Arduino. Схему сенсора MQ-135 зображено на рисунку 3.2;

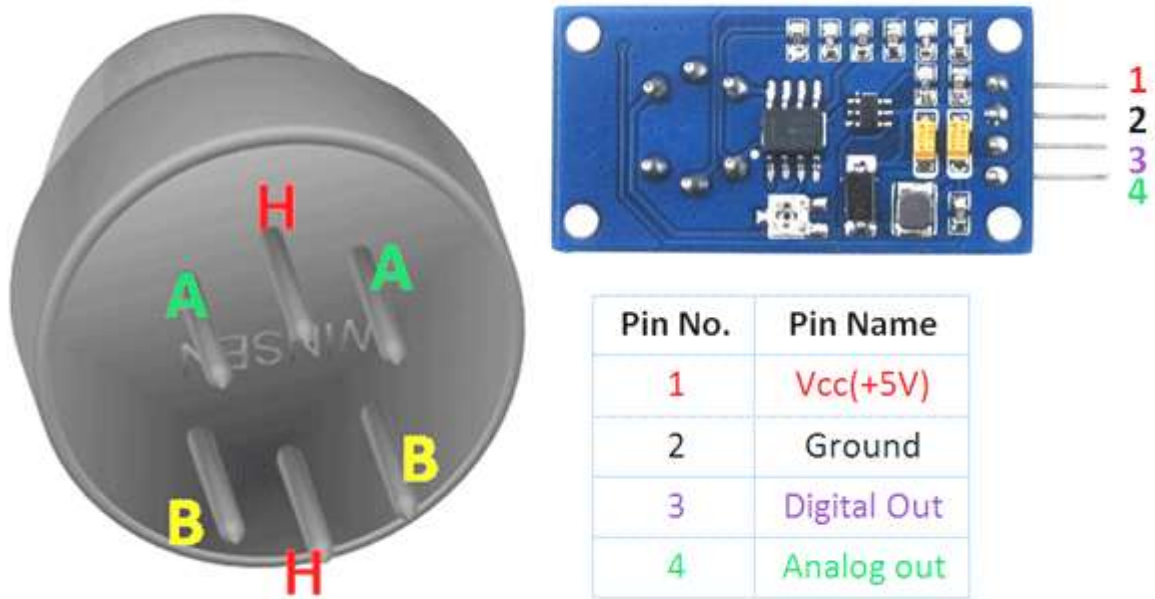


Рисунок 3.2 – Газовий сенсор MQ-135

– світлодіоди (червоний та зелений): світлодіоди забезпечують візуальну сигналізацію про стан системи: зелений світлодіод сигналізує про нормальні показники газу, а червоний – про перевищення критичних значень. Обрані світлодіоди мають струм споживання 10–20 мА, що не перевищує допустимі норми для виходів Arduino Uno. Дослідження показують, що візуальна індикація підвищує сприйняття користувачем критичної інформації на 30% порівняно лише зі звуковими чи текстовими сповіщеннями;

– п'єзоелемент: звукова сигналізація реалізована за допомогою п'єзоелемента, що видає сигнал у разі перевищення критичного рівня концентрації газу. Такий підхід дозволяє створити чітке попередження, яке спрацьовує незалежно від уваги користувача до дисплея. Стандартний п'єзоелемент видає сигнал на рівні 70–90 дБ, що робить його достатньо гучним для середніх приміщень і лабораторій;

– дисплей 16x2 (I2C): LCD-дисплей із підтримкою I2C забезпечує зручне відображення даних про поточний рівень газу та статус системи. Завдяки використанню I2C-підключення замість стандартного підключення на 6 пінів вдалося звільнити пін-порти для інших компонентів, використовуючи

лише SDA та SCL. Споживання дисплея в режимі підсвітки складає 20–30 мА, що не створює значного навантаження на систему. Згідно з опитуваннями, виведення показників на дисплей є одним із ключових факторів зручності для користувачів. Зображення дисплея продемонстровано на рисунку 3.3.

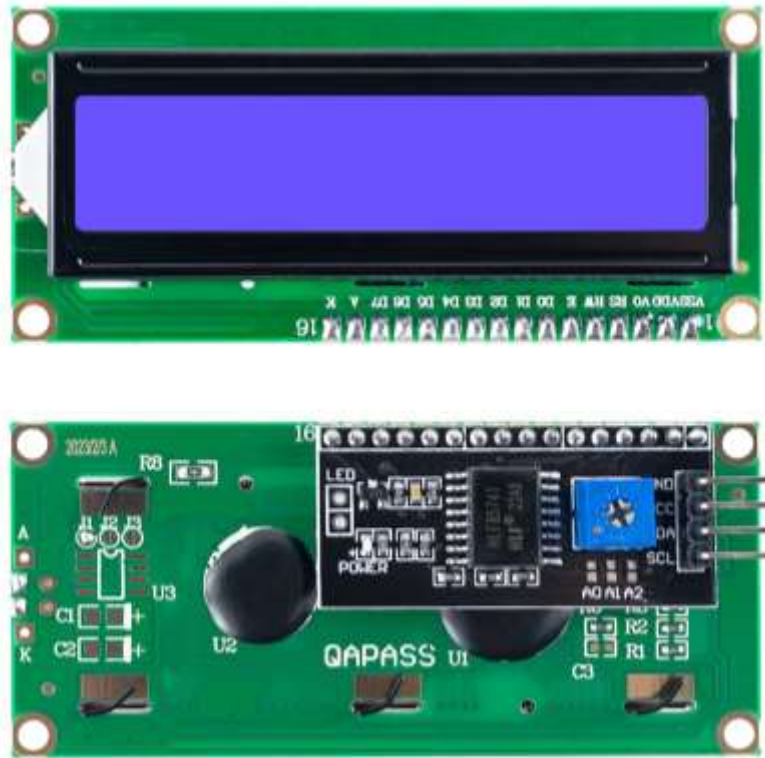


Рисунок 3.3 – Дисплей 16x2 (I2C)

Для реалізації зазначених функцій автоматизованого модуля було створено схему пристрою з використанням інструменту Tinkercad. Ця схема демонструє зв'язок між усіма основними компонентами, зокрема контролерами, сенсорами, джерелами живлення та комунікаційними елементами. На схемі відображено взаємодію між компонентами, включаючи підключення сенсорів для збору даних, використання мікроконтролера для їх обробки та передачу отриманої інформації до візуалізаційного модуля. Схема дає можливість чітко зрозуміти структурну організацію пристрою та його функціональні можливості. Схема прототипу автоматизованого модуля зображена на рисунку 3.4.

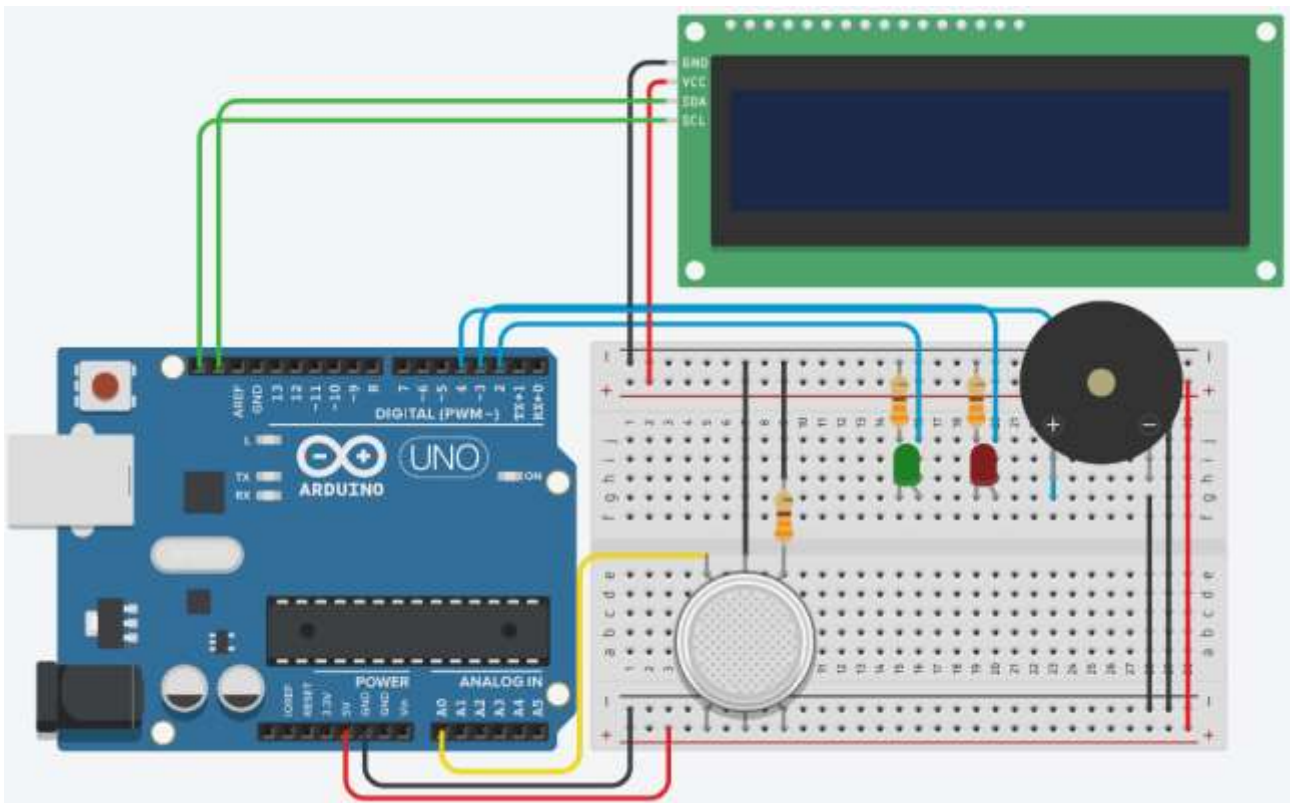


Рисунок 3.4 – Схема прототипу модуля

Представлена схема є прототипом, що слугує базовою основою для проєктування та розробки автоматизованого модуля. Вона відображає ключові елементи пристрою та їх взаємозв'язок, необхідний для виконання базових функцій. Надалі, у процесі вдосконалення, планується розширення її функціональних можливостей, оптимізація компонентів, підвищення надійності системи та додавання нових модулів для забезпечення відповідності реальним умовам експлуатації. Остаточний варіант буде адаптовано для інтеграції у виробниче середовище та відповідатиме сучасним технічним стандартам.

3.3.2 Розробка програмного забезпечення

Для перевірки працездатності базових функцій прототипу було розроблено спеціалізоване програмне забезпечення, яке забезпечує зчитування даних із сенсорів, їх первинну обробку та відправку результатів до модулів виведення інформації.

Для кращого розуміння алгоритму роботи автоматизованого модуля побудовано блок-схему, що відображає послідовність дій системи. Блок-схема логіки роботи прототипу зображена на рисунку 3.5.

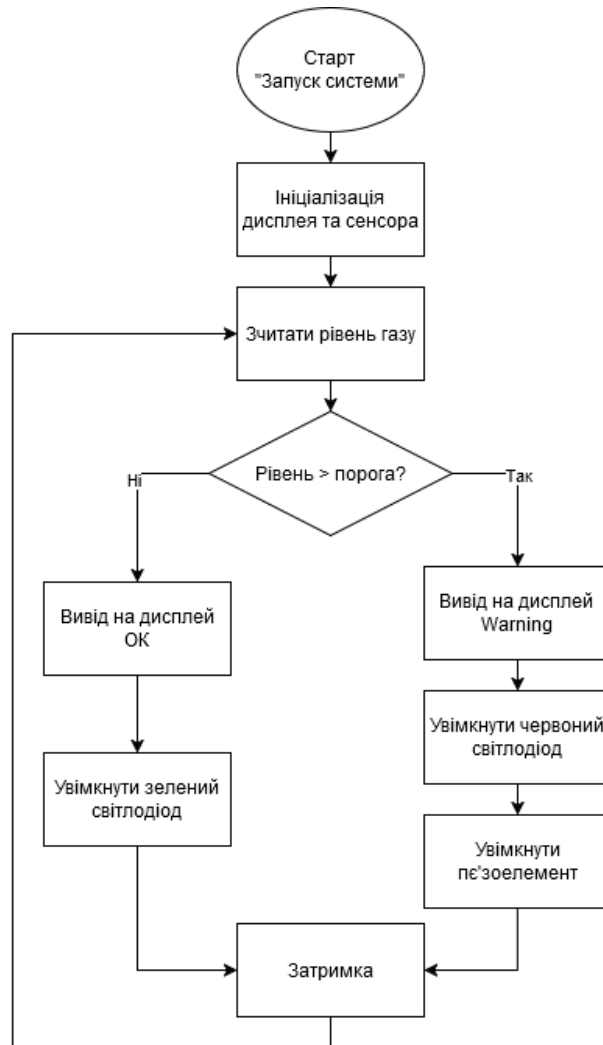


Рисунок 3.5 – Блок-схема логіки роботи прототипу модуля

На схемі представлені основні етапи функціонування: ініціалізація компонентів, зчитування даних із сенсора, аналіз отриманого значення та прийняття рішення щодо сигналізації про критичний рівень концентрації газу. Логіка роботи побудована на циклічному опитуванні сенсора та оновленні інформації на дисплеї в реальному часі, що забезпечує безперервний моніторинг та оперативну реакцію системи у випадку виявлення загрози.

На основі схеми був розроблений код програми, яка виконує базові функції, такі як моніторинг показників у режимі реального часу. Розробка програмного забезпечення передбачає модульний підхід, що дозволяє легко додавати нові функціональні можливості на подальших етапах удосконалення прототипу [18]. Написаний код перевіряється за допомогою симулятора та тестового обладнання для забезпечення його відповідності заданим параметрам системи. Код з коментарями для перевірки працездатності зображено на рисунку 3.6.

```

1  #include <LiquidCrystal_I2C.h>
2
3  // Ініціалізація дисплея I2C (адреса дисплея - 0x27 або 0x3F)
4  LiquidCrystal_I2C lcd(0x26, 16, 2); // Дисплей 16x2 із адресою 0x27
5
6  // Піни для інших компонентів
7  const int redLedPin = 3; // Червоний світлодіод
8  const int greenLedPin = 2; // Зелений світлодіод
9  const int buzzerPin = 4; // П'єзоелемент
10 const int gasSensorPin = A0; // Газовий сенсор
11
12 // Порогове значення концентрації газу
13 const int threshold = 100;
14
15 void setup() {
16     // Ініціалізація компонентів
17     pinMode(redLedPin, OUTPUT);
18     pinMode(greenLedPin, OUTPUT);
19     pinMode(buzzerPin, OUTPUT);
20     Serial.begin(9600);
21     lcd.init();
22     lcd.backlight(); // Увімкнення підсвітки
23     lcd.print("System start..."); // Початковий текст
24     delay(2000); // Затримка для старту системи
25 }
26
27 void loop() {
28     int gasValue = analogRead(gasSensorPin); // Зчитування даних із сенсора газу
29     lcd.clear();
30     lcd.setCursor(0, 0);
31     lcd.print("Gas: ");
32     lcd.print(gasValue); // Виведення значення на дисплей
33
34     // Перевірка рівня газу
35     if (gasValue > threshold) {
36         lcd.setCursor(0, 1);
37         lcd.print("Warning: Leak! "); // Попередження про витік
38         digitalWrite(redLedPin, HIGH); // Увімкнення червоного світлодіода
39         digitalWrite(greenLedPin, LOW); // Вимкнення зеленого світлодіода
40         digitalWrite(buzzerPin, HIGH); // Звуковий сигнал
41     } else {
42         lcd.setCursor(0, 1);
43         lcd.print("Status: OK "); // Виведення статусу "Все в нормі"
44         digitalWrite(redLedPin, LOW); // Вимкнення червоного світлодіода
45         digitalWrite(greenLedPin, HIGH); // Увімкнення зеленого світлодіода
46         digitalWrite(buzzerPin, LOW); // Вимкнення звуку
47     }
48     delay(1000); // Затримка між оновленнями
49 }

```

Рисунок 3.6 – Код для перевірки модуля

Також є можливість додати до алгоритму фільтрацію від інформаційного шуму за методом Калмана. Це метод, який враховує передбачуваність сигналу та історію вимірювань. Використовується для професійної фільтрації даних. Для цього потрібні бібліотеки, наприклад, SimpleKalmanFilter. Приклад реалізації фільтрації за методом Калмана зображено на рисунку 3.7.

```
#include <SimpleKalmanFilter.h>

SimpleKalmanFilter kalmanFilter(2, 2, 0.01); // Налаштування фільтра

void loop() {
    int sensorValue = analogRead(A0); // Зчитування з сенсора
    float filteredValue = kalmanFilter.updateEstimate(sensorValue); // Фільтрація
    Serial.println(filteredValue); // Виведення відфільтрованого значення
    delay(100);
}
```

Рисунок 3.7 – Фільтрація інформаційного шуму методом Калмана

Перевірити код можна за допомогою режиму моделювання в Tinkercad. Це симуляція роботи пристрою. Завдяки вбудованому середовищу для програмування можна створювати та тестувати прошивку для мікроконтролера, спостерігаючи за результатами роботи в реальному часі через віртуальні датчики чи графічні інтерфейси. Такі можливості значно спрощують процес тестування, знижуючи витрати на реальні компоненти та скорочуючи час розробки. На початковому етапі роботи прототипу проводиться перевірка успішної ініціалізації всіх компонентів: дисплея, сенсора газу, світлодіодів та п'єзоелемента. Після запуску системи на екрані відображається повідомлення про старт модуля, що сигналізує про готовність до роботи. Схема пристрою в режимі моделювання зображено на рисунку 3.8.

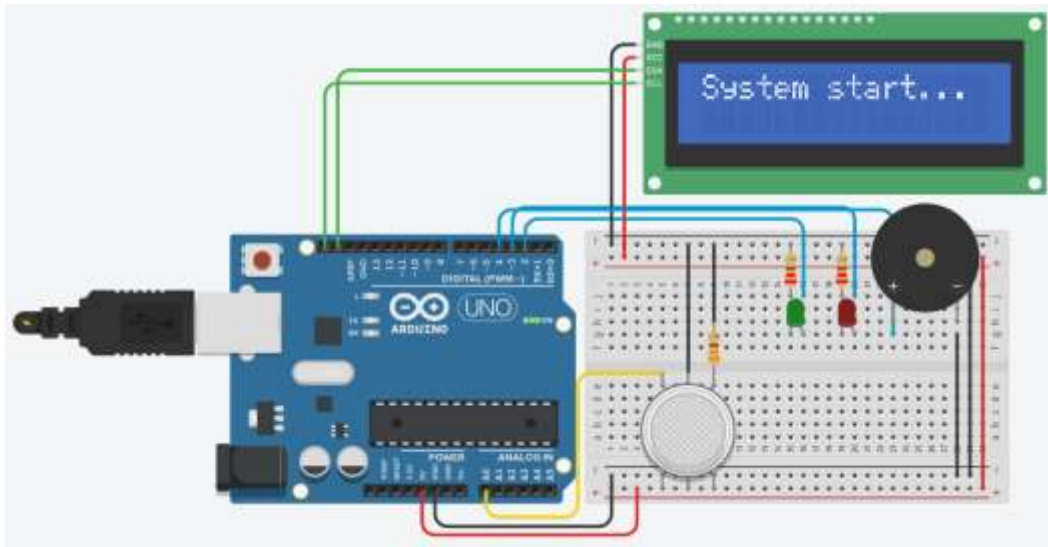


Рисунок 3.8 – Симуляція роботи прототипу

Після ініціалізації компонентів відбувається зчитування даних із сенсора. Цей етап перевіряє можливість зчитування поточних значень концентрації газу з аналогового виходу сенсора. Значення має коректно відобразитися на дисплеї в реальному часі та оновлюватися через задані інтервали. Також на цьому етапі проводиться перевірка логіки обробки значень: чи система правильно розпізнає рівень концентрації газу та чи активується відповідний режим роботи – нормальний стан чи тривожний сигнал. Пристрій у нормальному стані має відображати значення з сенсора, а також повідомлення «Status: OK». Нормальний стан пристрою зображено на рисунку 3.9.

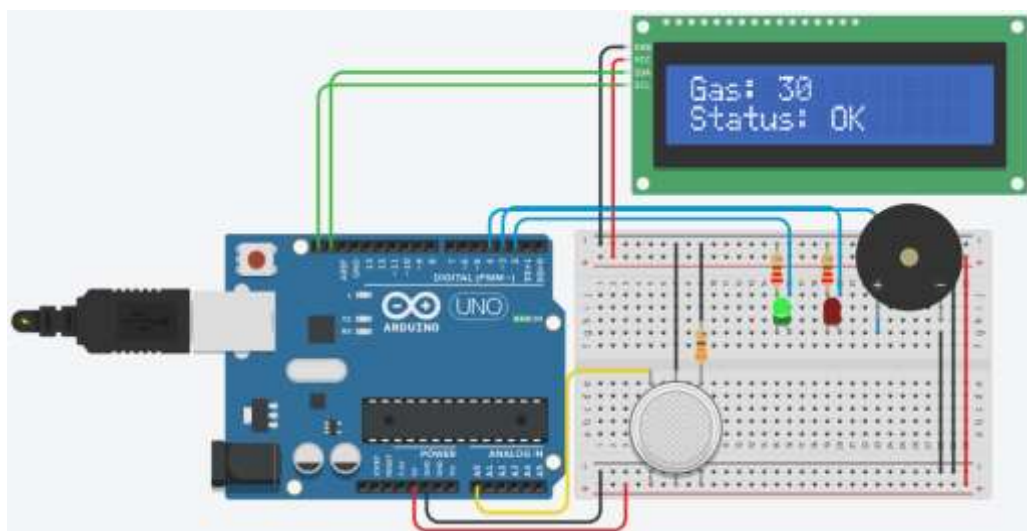


Рисунок 3.9 – Прототип у нормальному стані

За допомогою симуляції роботи газового сенсора можна змінювати концентрацію газу та перевірити реакцію пристроя. Таким чином можна протестувати коректність циклічного оновлення показників, а також стабільність роботи прототипа протягом тестування в режимі моделювання. Після зміни концентрації газу на критичні значення, прототип переходить в тривожний стан, що зображено на рисунку 3.10.

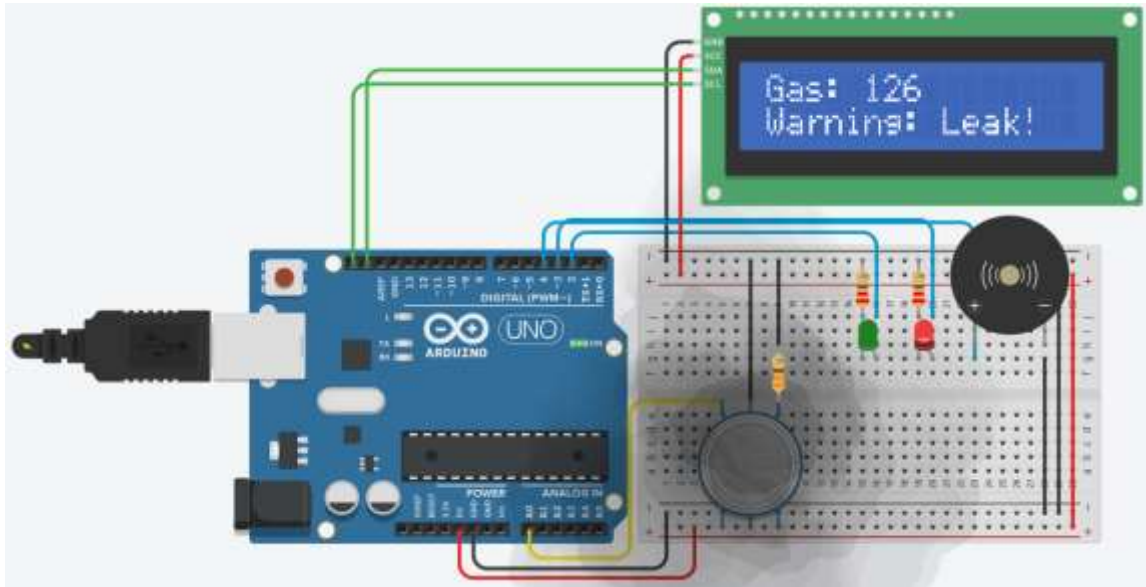


Рисунок 3.10 – Тривожний стан пристрою

Результати тестування прототипу в симуляторі підтвердили його працездатність і здатність виконувати основні функції. Продемонстрована робота модуля, проілюстрована скріншотами, свідчить про коректну інтеграцію апаратного та програмного забезпечення. Усі перевірені компоненти функціонували коректно, а отримані дані були коректно візуалізовані. Таким чином, прототип, що слугує основою для подальшої розробки, успішно пройшов етап первинної перевірки і готовий до доопрацювання для відповідності раніше зазначеним вимогам.

3.4 Висновок

Розроблено структурну схему автоматизованого модуля, що враховує всі сформульовані вимоги. До складу модуля увійшли: мікроконтролер Arduino Uno, сенсор MQ-135, LCD-дисплей 16x2, світлодіоди, п'єзоелемент та акумулятор для забезпечення автономної роботи.

Розроблено програмне забезпечення, яке реалізує збір, обробку та візуалізацію даних у реальному часі. Застосовано алгоритми для зменшення інформаційного "шуму" та оптимізації енергоспоживання, що забезпечує високу точність і стабільність роботи системи.

Проектування завершилося створенням прототипу, який відповідає сучасним стандартам автоматизації та може бути використаний як базова платформа для подальшого вдосконалення і розширення функціоналу.

4 МОЖЛИВОСТІ ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОТОТИПУ

4.1 Ключові напрямки вдосконалення

Розроблений прототип автоматизованого модуля виконує основні функції моніторингу концентрації газу, проте для забезпечення його відповідності поставленим вимогам необхідно провести низку вдосконалень. Ключові напрями оптимізації стосуються підвищення автономності роботи, додавання можливості віддаленого моніторингу даних та розширення функціональних можливостей системи.

Відповідно до технічного завдання, прототип потребує таких удосконалень:

- встановлення більш функціонального дисплея для більш широких можливостей візуалізації;
- інтеграція системи автономного живлення для роботи пристрою без підключення до мережі живлення;
- оптимізація енергоспоживання системи для збільшення часу автономної роботи;
- захист компонентів шляхом розробки корпусу для роботи у складних зовнішніх умовах та підвищення надійності пристрою.

4.2 Покращення візуалізації прототипу

Для підвищення функціональності та інформативності модуля можливе використання графічного дисплея OLED SSD1306 із роздільною здатністю 128x64 пікселів замість текстового дисплея LCD 16x2. Така заміна дозволяє відображати не тільки числові значення та повідомлення, але й графіки, гістограми та динамічні індикатори.

Переваги використання OLED SSD1306:

- графічна візуалізація: можливість виведення графіків для спостереження за динамікою змін параметрів у реальному часі;
- висока контрастність: OLED-дисплеї мають яскраве відображення навіть при низькому освітленні;
- компактність: дисплей має невеликі розміри та інтегрується у компактні модулі;
- зручність відображення: можна одночасно виводити текстові повідомлення, індикатори стану та графічні елементи.

Зручність візуалізації даних є суб'єктивним параметром, оскільки різні користувачі можуть по-різному сприймати інформацію: одним зручніше бачити графічні представлення, іншим – текстові описи або таблиці. У нашому прикладі буде продемонстровано графік для наочної демонстрації змін показників у реальному часі. Водночас, за необхідності контролер може бути перепрограмований на відображення даних у вигляді таблиці, текстових повідомлень або навіть простих числових значень для адаптації системи до потреб кінцевого користувача.

Для роботи з OLED SSD1306 [19] використовується інтерфейс I2C, що дозволяє підключити дисплей лише за допомогою двох пінів (SDA та SCL), аналогічно до LCD-дисплея. Однак, у порівнянні з LCD 16x2, SSD1306 потребує більше пам'яті мікроконтролера для збереження графічного буфера. У разі недостатньої пам'яті на платі Arduino Uno можливий перехід на більш продуктивні мікроконтролери, наприклад Arduino Mega 2560.

Для візуалізації можливостей OLED-дисплея SSD1306 було використано онлайн-симулятор Wokwi [20], який дозволяє створювати та тестувати проекти на базі Arduino Uno. Незважаючи на те, що сервіс не підтримує повне моделювання всіх компонентів нашого прототипу, він чудово підходить для демонстрації роботи графічного дисплея, його здатності відображати текстову інформацію та графіки в реальному часі. Завдяки функціоналу Wokwi можна оцінити, як відбувається оновлення даних на дисплеї та перевірити основні

сценарії візуалізації без використання фізичного пристрою. Це дозволяє отримати уявлення про поведінку системи до інтеграції її у повний прототип.

Для імітації графіка та відображення його на дисплеї було написано короткий тестовий код, який можна побачити на рисунку 4.1.

```

1  #include <Wire.h>
2  #include <Adafruit_GFX.h>
3  #include <Adafruit_SSD1306.h>
4
5  #define SCREEN_WIDTH 128
6  #define SCREEN_HEIGHT 64
7  #define OLED_RESET -1 // Не використовується апаратний пін RESET
8  Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire, OLED_RESET);
9
10 void setup() {
11   Serial.begin(9600);
12   if (!display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C)) { // Ініціалізація дисплея
13     Serial.println(F("Не вдалося знайти OLED дисплей!"));
14     while (true);
15   }
16   display.clearDisplay();
17   display.setTextSize(1);
18   display.setTextColor(SSD1306_WHITE);
19 }
20
21 void loop() {
22   static int graph[SCREEN_WIDTH];
23   static int counter = 0;
24
25   int simulatedValue = 30 + 20 * sin(counter * 0.1);
26   counter++;
27
28   for (int i = 0; i < SCREEN_WIDTH - 1; i++) {
29     graph[i] = graph[i + 1];
30   }
31   graph[SCREEN_WIDTH - 1] = map(simulatedValue, 0, 60, 0, SCREEN_HEIGHT - 1);
32
33   display.clearDisplay();
34   for (int i = 0; i < SCREEN_WIDTH - 1; i++) {
35     display.drawLine(i, SCREEN_HEIGHT - graph[i], i + 1, SCREEN_HEIGHT - graph[i + 1], SSD1306_WHITE);
36   }
37
38   display.setCursor(0, 0);
39   display.print("Simulated graph");
40   display.display();
41   delay(100);
42 }
43

```

Рисунок 4.1 – Тестовий код візуалізації дисплею

Після запуску симуляції на дисплеї відображається графік. Імітацію роботи дисплея з відображенням прикладу графіка зображено на рисунку 4.2.

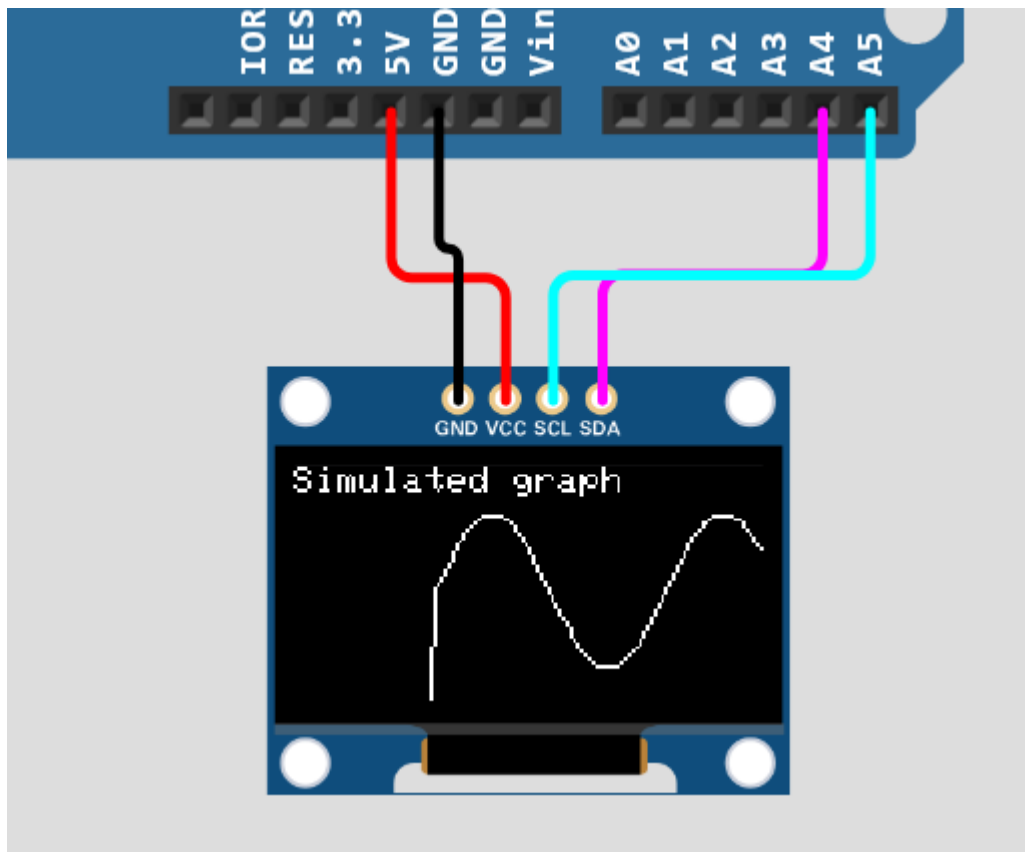


Рисунок 4.2 – Симуляція графіку на дисплеї

Заміна LCD 16x2 на OLED-дисплей SSD1306 (128x64) призведе до змін у споживанні енергії та використанні обчислювальних ресурсів контролера.

Різниця в енергоспоживанні:

- LCD 16x2 із підсвіткою: споживає приблизно 25–30 мА у стандартному режимі роботи з увімкненою підсвіткою. Якщо вимкнути підсвітку, споживання зменшується до 2–4 мА;

- OLED SSD1306 128x64: споживає близько 20–25 мА при стандартній яскравості та може досягати 30 мА при максимальній яскравості дисплея. Оскільки OLED-дисплей не має окремої підсвітки (пікселі самі випромінюють світло), він може бути навіть трохи енергоефективнішим за LCD у режимі низької яскравості.

Загалом споживання OLED-дисплея аналогічне до LCD із підсвіткою, але його можна оптимізувати завдяки зменшенню яскравості (за допомогою

налаштувань) або завдяки використанню меншого часу активного відображення та переведення дисплея у режим очікування (`display.displayOff()`).

Зміна навантаження на контролер:

- LCD 16x2 (I2C): виведення даних на дисплей LCD 16x2 є простішим і займає мінімум пам'яті, оскільки виводяться лише текстові символи. Запис одного рядка тексту займає дуже мало циклів процесора;

- OLED SSD1306 (128x64): OLED-дисплей працює з графічним буфером, який потребує 1024 байти пам'яті (128x64/8). Для Arduino Uno з 2 КБ оперативної пам'яті це займає значну її частину (~50%). Крім того, бібліотеки, які використовуються для роботи з графікою (наприклад, Adafruit GFX), також вимагають значного обсягу флеш-пам'яті.

Але OLED-дисплей можна додатково оптимізувати, щоб зменшити навантаження на контролер:

- використати функції для вибіркового оновлення екрану (`drawPixel()`, `drawLine()`) замість повного очищення буфера;
- знизити частоту оновлення дисплея (затримка між циклами `delay()`);
- використати функцію "sleep mode" у бібліотеці для переведення дисплея в режим низького енергоспоживання у періоди без змін даних.

Таким чином заміна LCD 16x2 на OLED SSD1306 покращує можливості візуалізації (відображення графіків та динамічних змін), але значно збільшує навантаження на оперативну та флеш-пам'ять контролера. У проєкті на основі Arduino Uno важливо оптимізувати код для роботи з графічним буфером.

4.3 Оптимізація енергоспоживання та автономність

Для забезпечення ефективного використання енергії та збільшення часу автономної роботи автоматизованого модуля необхідно впровадити низку оптимізацій як на апаратному рівні, так і в програмному забезпеченні. Це дозволить мінімізувати енергоспоживання без втрати основної функціональності системи [21].

Перш за все необхідно правильно підібрати резистори для запобігання перевищенню струму та надмірному нагріванню компонентів.

Формула для розрахунку опору резистора

$$R = \frac{U - U_{LED}}{I},$$

де U – напруга живлення (наприклад, 5 В);

U_{LED} – напруга на світлодіоді (наприклад, 2 В для червоного світлодіода);

I – бажаний струм через світлодіод (як правило, 20 мА).

При стандартних умовах:

$$R = \frac{5\text{В} - 2\text{В}}{0,02\text{А}} = 150 \text{ Ом},$$

Однак на практиці прийнято використовувати запас по струму, щоб уникнути перегріву та продовжити термін служби світлодіода. Наприклад, при резисторі 220 Ом струм через світлодіод становитиме:

$$I = \frac{5\text{В} - 2\text{В}}{220 \text{ Ом}} \approx 13 \text{ мА}.$$

Це означає, що світлодіод працює при меншому струмі, що зменшує його нагрівання і ризик виходу з ладу, але залишається досить яскравим. Крім цього використання резистора з більшим опором зменшує струм у ланцюзі, що також дозволяє знизити загальне енергоспоживання системи. Це особливо актуально для автономних пристроїв, де кожен міліампер має значення.

Окрім апаратного вдосконалення схеми є можливості для програмної оптимізації:

- використання режиму "сон": У кодї реалізується режим "сон", коли контролер переходить у стан з мінімальним енергоспоживанням під час

очікування наступного зчитування даних. Приклад коду режиму сну для Arduino Uno зображено на рисунку 4.3.

```
set_sleep_mode(SLEEP_MODE_PWR_DOWN);
sleep_enable();
delay(5000); // Затримка для перевірки показників раз на 5 секунд
sleep_cpu(); // Активація режиму "сон"
sleep_disable();
```

Рисунок 4.3 – Код режиму сну для Arduino Uno

- зменшення частоти роботи контролера: якщо висока швидкість обробки даних не є критичною, можна зменшити тактову частоту мікроконтролера до 8 МГц, що майже вдвічі зменшує споживання енергії;
- оптимізація оновлення дисплея: замість частого очищення всього дисплея (`clearDisplay()`) можна оновлювати лише окремі ділянки (`drawPixel()` чи `drawLine()`), що зменшує навантаження на контролер і споживання енергії;
- вимкнення підсвітки дисплея: якщо дисплей підтримує функцію керування підсвіткою, варто вимикати її у періоди простою для економії заряду.

Оптимізація апаратної частини, у тому числі правильний вибір резисторів для захисту та регулювання струму, а також використання режимів енергозбереження у коді дозволяє значно зменшити енергоспоживання системи. Це дозволяє системі працювати автономно в польових умовах протягом тривалого часу без втрати функціональності та точності вимірювань.

З урахуванням оптимізації енергоспоживання можна визначити час автономної роботи пристроя від акумулятора 5000 мА·год. Для цього необхідно за формулою

$$I_{avg} = T_{active} \cdot I_{active} + T_{sleep} \cdot I_{sleep},$$

де T_{active} – частка часу активного режиму (наприклад, 10% = 0,1);

T_{sleep} – частка часу у режимі сну (наприклад, 90% = 0,9);

I_{active} – сумарний струм у активному режимі;

I_{sleep} – сумарний струм у режимі сну.

Після цього можна визначити час автономної роботи за формулою

$$T_{\text{battery}} = \frac{C_{\text{battery}}}{I_{\text{avg}}},$$

де C_{battery} – ємність акумулятора у мА·год (у нашому випадку, 5000 мА·год);

I_{avg} – середнє споживання струму.

У активному режимі, коли всі елементи системи працюють, пристрій споживає струм 253,6 мА:

- Arduino Uno – 50 мА;
- OLED SSD1306 – 25 мА;
- сенсор MQ-135 – 150 мА;
- світлодіод (червоний) – 13,6 мА;
- п'єзоелемент – 15 мА.

В залежності від налаштувань можна досягти результатів від 1 мА до 20 мА в режимі сну.

Таким чином при 30% активного режиму роботи та повній оптимізації режиму сну для системи середнє споживання буде:

$$I_{\text{avg}} = 0,3 \cdot 253,6 \text{ мА} + 0,7 \cdot 1 \text{ мА} \approx 76,58 \text{ мА}.$$

І в такому режимі час автономної роботи без підзарядки складає:

$$T_{\text{battery}} = \frac{5000 \text{ мА} \cdot \text{год}}{76,58 \text{ мА}} \approx 65,3 \text{ год}.$$

При компромісному режимі роботи з 30% активного часу і акумуляторі на 5000 мА·год пристрій може працювати близько 65 годин (приблизно 2,7 доби) на одному заряді. Якщо зменшити частоту оновлень графіка або вимкнути індикатори у нормальному режимі, можна продовжити цей час до 3–4 діб.

4.4 Розробка корпусу модуля

Корпус є важливою складовою автоматизованого модуля, оскільки він забезпечує фізичний захист компонентів, ергономічність, естетичний вигляд та зручність експлуатації. Розробка корпусу має враховувати особливості системи, умови її використання та потреби кінцевого користувача.

Основні вимоги до корпусу:

- захист від зовнішніх впливів: корпус повинен забезпечувати захист електронних компонентів від пилу, вологи та механічних пошкоджень. Для цього використовується матеріал із класом захисту IP54 або вище (залежно від умов експлуатації);
- компактність: корпус має бути мінімального розміру, достатнього для розміщення всіх компонентів (плата, сенсори, дисплей, індикатори, акумулятор);
- ергономіка: зручний доступ до індикаторів, дисплея та кнопок, а також можливість легкого обслуговування внутрішніх компонентів;
- тепловідведення: при тривалій роботі сенсор MQ-135 та мікроконтролер можуть виділяти тепло. Корпус має мати вентиляційні отвори для запобігання перегріву;
- кріплення: передбачити отвори для монтажу на стіну, стійку чи іншу поверхню.

У якості матеріалу корпусу можна використовувати пластик (ABS або PLA): легкий, доступний, добре підходить для 3D-друку.

Сам корпус має складатися з двох частин: основи та кришки, що з'єднуються гвинтами або засувками. На передній панелі розташовується дисплей, світлодіоди-індикатори та вентиляційні отвори для сенсора газу. На бічних стінках можна передбачити порти для живлення (microUSB або інший роз'єм) та можливого підключення додаткових компонентів.

Розташування компонентів:

- плата Arduino: кріпиться до основи корпусу за допомогою гвинтів або пластикових тримачів;
- сенсор MQ-135: встановлюється на передній панелі біля вентиляційного отвору, щоб мати доступ до повітря;
- дисплей: закріплюється на передній панелі, залишаючи достатньо місця для індикації;
- акумулятор: розташовується у нижній частині корпусу з можливістю його заміни.

Для компактного розташування компонентів розміри корпусу можна орієнтовно визначити так:

- довжина: 10–12 см (враховуючи плату Arduino Uno та сенсор);
- ширина: 8–10 см (з урахуванням дисплея OLED);
- висота: 4–6 см (для розміщення плати, сенсора та акумулятора).

Також варто передбачити місце для додавання нових сенсорів чи розширення функціоналу, наприклад інтеграції з іншими системами.

Сам корпус можна пофарбувати у контрастні кольори для зручності ідентифікації, а також додати лазерне гравіювання або наклейки для маркування портів та індикаторів.

4.5 Висновок

Проаналізовано перспективи вдосконалення розробленого прототипу з метою підвищення його ефективності та функціональності. Запропоновано інтеграцію бездротового модуля передачі даних, що дозволяє здійснювати

віддалений моніторинг параметрів у реальному часі. Окрему увагу приділено впровадженню системи автономного живлення для розширення сфер використання модуля.

Оптимізація енергоспоживання шляхом використання режимів сну та вдосконалення програмного забезпечення дозволяє збільшити час автономної роботи пристрою без втрати його основних функціональних можливостей. Крім того, обґрунтовано можливість заміни деяких компонентів, таких як індикатори та дисплей, для підвищення зручності візуалізації даних.

Визначені напрями вдосконалення створюють передумови для адаптації прототипу до різних сфер застосування та підвищення його конкурентоспроможності.

5 ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ МОДУЛЯ

5.1 Оцінка ключових характеристик розробленого прототипу

Оцінка ефективності розробленого автоматизованого модуля спрямована на визначення його відповідності поставленим вимогам, а також виявлення можливостей для подальшого вдосконалення. Комплексний аналіз дозволяє оцінити продуктивність основних компонентів, таких як сенсор, дисплей та мікроконтролер, з точки зору точності, швидкості роботи та автономності.

Також досліджується енергоспоживання системи в різних режимах роботи, зручність візуалізації даних і можливість адаптації до умов реального використання. Отримані результати дозволяють сформулювати висновки щодо ефективності модуля та визначити напрямки його оптимізації для підвищення функціональності та економічної доцільності.

Технічна продуктивність модуля визначається точністю роботи сенсорів, швидкістю обробки даних, стабільністю функціонування та здатністю пристрою адаптуватися до змінних умов. Для оцінки використовувалися експериментальні вимірювання, порівняння із заводськими характеристиками компонентів та результати тестування прототипу.

Сенсор MQ-135 демонструє високу чутливість до газів, таких як аміак, діоксид вуглецю та інші леткі сполуки. Однак, для забезпечення точності необхідне калібрування в конкретних умовах використання.

- похибка вимірювань: у стандартних умовах вона не перевищує $\pm 10\%$ від реального значення, але може збільшуватися за високої вологості або температурних коливань;

- результати тестування: концентрація газу визначалася з інтервалом ± 5 ppm, що відповідає заводським характеристикам.

Завдяки використанню мікроконтролера Arduino Uno, модуль здатний виконувати вимірювання та оновлення даних на дисплеї із затримкою не

більше 100 мс.

- час обробки сигналу: обчислення та виведення даних на OLED-дисплей займає близько 80 мс, включаючи оновлення графічного зображення;
- реакція на критичні значення: при перевищенні порогового рівня газу (наприклад, 600 ppm) система активує індикатори (червоний світлодіод, звуковий сигнал) менш ніж за 200 мс.

Розроблений модуль демонструє високу точність вимірювань і швидкість обробки даних, забезпечуючи стабільну роботу навіть за змінних умов. Завдяки гнучкості налаштувань та можливості розширення функціоналу, пристрій може ефективно використовуватися в різних галузях, включаючи моніторинг стану повітря, промисловий контроль або побутове застосування.

Ефективне енергоспоживання також є ключовим критерієм для забезпечення тривалої автономної роботи розробленого модуля. Аналіз базується на вимірюваннях споживання струму в активному та сплячому режимах, а також на розрахунках тривалості роботи від акумуляторної батареї ємністю 5000 мА·год.

Модуль працює в двох основних режимах: активному та сплячому

- в активному режимі працюють усі компоненти системи, включаючи мікроконтролер, сенсор, дисплей, індикатори та п'єзоелемент. Загальне споживання в такому режимі складає 253,6 мА;
- в режимі сну Мікроконтролер переходить у режим зниженого енергоспоживання, а більшість компонентів вимикається або переводиться в економний режим.

Середнє споживання струму за один цикл роботи:

$$I_{avg} = 0,3 \cdot 253,6 \text{ мА} + 0,7 \cdot 1 \text{ мА} \approx 76,58 \text{ мА.}$$

В таких умовах тривалість роботи від акумулятора ємністю 5000 мА·год складає:

$$T_{battery} = \frac{5000 \text{ мА} \cdot \text{год}}{76,58 \text{ мА}} \approx 65,3 \text{ год.}$$

Отже розроблений модуль демонструє оптимальне співвідношення між функціональністю та енергоспоживанням. Завдяки використанню режимів енергозбереження та вибору ефективних компонентів пристрій може працювати автономно протягом ~2,7 діб без підзарядки. Подальші оптимізації дозволять збільшити цей показник, зберігаючи точність та швидкість роботи.

Для оцінки ефективності розробленого модуля важливо виділити його ключові переваги та недоліки. Це дозволить визначити, наскільки пристрій відповідає сучасним вимогам до автоматизованих систем, а також окреслити напрями його вдосконалення.

Переваги:

- компактність і модульність: модуль має невеликі розміри та добре продуману архітектуру, що дозволяє легко інтегрувати його у більші системи;
- ефективне енергоспоживання: завдяки використанню режимів сну та оптимізованого програмного забезпечення пристрій забезпечує до ~65 годин автономної роботи від акумулятора ємністю 5000 мА·год;
- точність вимірювань: сенсор MQ-135 забезпечує достатню точність для моніторингу концентрації газів, а калібрування дозволяє адаптувати його до специфічних умов використання;
- зручність візуалізації: використання OLED-дисплея з графічною можливістю дозволяє відображати дані у формі графіків, що полегшує їх аналіз;
- гнучкість налаштувань: система підтримує зміну порогових рівнів, частоти вимірювань та режимів роботи (графічний, текстовий), що підвищує її універсальність;
- можливість розширення: конструкція модуля дозволяє додавати нові сенсори чи периферійні компоненти (наприклад, модуль передачі даних або додаткові індикатори).

Недоліки:

- обмеження обчислювальних ресурсів: Arduino Uno має обмежену пам'ять і процесорну потужність, що може створювати труднощі при роботі з великою кількістю даних або складними алгоритмами;
- чутливість сенсора до зовнішніх факторів: MQ-135 залежить від температури та вологості, що може впливати на точність його роботи без додаткового калібрування;
- відсутність бездротової передачі даних: у базовій конфігурації модуль не підтримує Wi-Fi або Bluetooth, що обмежує можливості для дистанційного моніторингу;
- енергоспоживання у пікових навантаженнях: у періоди активної роботи (з використанням дисплея, п'єзоелемента та індикаторів) споживання може досягати ~253,6 мА, що вимагає ємного акумулятора для тривалої автономності;
- обмеження відображення даних: хоча OLED-дисплей забезпечує якісну графіку, його розмір та роздільна здатність не дозволяють виводити великі обсяги інформації одночасно.

Розроблений модуль має низку значних переваг, серед яких компактність, енергоефективність і гнучкість налаштувань. Проте деякі обмеження, такі як обчислювальні ресурси Arduino Uno та відсутність бездротових інтерфейсів, можуть впливати на його застосування у складних або масштабованих проєктах. Виявлені недоліки можуть бути усунені у майбутніх версіях пристрою через використання більш продуктивних мікроконтролерів або додавання додаткових модулів.

Розроблений автоматизований модуль демонструє високу ефективність у вирішенні поставлених задач, поєднуючи точність вимірювань, компактність конструкції та оптимальне енергоспоживання. Завдяки використанню сучасних компонентів, таких як сенсор MQ-135, OLED-дисплей SSD1306 та мікроконтролер Arduino Uno, пристрій забезпечує точний моніторинг параметрів навколишнього середовища з можливістю візуалізації результатів у реальному часі.

Енергоефективність системи досягається завдяки використанню режимів сну, оптимізації програмного забезпечення та раціональному підходу до роботи з індикаторами. У базовій конфігурації пристрій здатний працювати автономно до 65 годин на акумуляторі ємністю 5000 мА·год, що підтверджує його придатність для тривалого використання у польових умовах.

Особливу увагу заслуговує гнучкість модуля, яка дозволяє адаптувати його до різних сценаріїв використання. Можливість інтеграції додаткових сенсорів, налаштування режимів роботи та підтримка графічного виведення даних робить пристрій універсальним рішенням для задач моніторингу та аналізу даних у реальному часі.

Водночас, пристрій має певні обмеження, зокрема щодо обчислювальних ресурсів і відсутності бездротових інтерфейсів, які можуть бути враховані у майбутніх версіях модуля. Використання більш продуктивних мікроконтролерів, а також додавання функцій дистанційного моніторингу підвищить його функціональність та конкурентоспроможність.

Загалом, модуль відповідає сучасним вимогам до автоматизованих систем і може знайти широке застосування у промисловості, сільському господарстві, екологічному моніторингу та інших сферах. Його ефективність підтверджується відповідністю технічним, функціональним і економічним критеріям, що робить його перспективним рішенням для подальшого розвитку.

5.2 Стійкість та надійність моделі

Розроблений автоматизований модуль демонструє високий рівень надійності завдяки використанню перевірених апаратних компонентів і оптимізованого програмного забезпечення. У його основі лежить мікроконтролер Arduino Uno, який зарекомендував себе як стабільна платформа для роботи з сенсорами та периферійними пристроями. Для забезпечення стійкості до зовнішніх впливів модуль оснащено сенсором MQ-135, що

функціонує у широкому діапазоні температур і має механізми адаптації до змін навколишніх умов.

Програмна частина модуля реалізує алгоритми, які забезпечують точну обробку даних і мінімізацію інформаційного "шуму". Режим сну та налаштування роботи дисплея дозволяють уникнути перевантаження системи, знижуючи ризик відмови під час тривалої роботи. Для захисту від електричних перешкод використовуються резистори, а джерело живлення оснащено механізмом контролю рівня заряду.

Корпус модуля проектувався з урахуванням захисту від зовнішніх факторів, таких як пил та волога, що підвищує довговічність пристрою. Для забезпечення безпечної експлуатації корпус відповідає стандарту захисту IP20, а всі електронні компоненти розміщені так, щоб уникнути ризику механічних пошкоджень.

Загалом модуль забезпечує стабільну роботу у різних умовах експлуатації, включаючи потенційно несприятливі середовища. Його стійкість до навантажень, адаптація до змін зовнішніх умов та використання якісних компонентів роблять його перспективним рішенням для практичного застосування.

Розроблений модуль має високу ремонтпридатність завдяки модульній архітектурі, яка забезпечує легку заміну окремих компонентів. Усі електронні елементи розміщені на макетній платі, що спрощує їх демонтаж і встановлення. Використання стандартних компонентів, таких як Arduino Uno, сенсори типу MQ-135 та OLED-дисплей SSD1306, дозволяє швидко знайти заміну у разі виходу з ладу.

Додатково, наявність детальної документації щодо схеми модуля та програмного забезпечення спрощує діагностику несправностей. Для покращення ремонтпридатності передбачено використання з'єднань через пін-конектори, що мінімізує ризик пошкодження друкованої плати під час обслуговування. Таким чином, модуль можна легко адаптувати або відновити навіть у випадку значних пошкоджень.

5.3 Висновок

Проведена оцінка ефективності розробленого модуля підтвердила його відповідність заданим технічним вимогам. Модуль продемонстрував високу точність і швидкодію при зборі та обробці даних, із затримкою не більше 100 мс. Режими енергозбереження та оптимізовані алгоритми дозволили забезпечити автономність роботи пристрою до 65 годин від акумулятора ємністю 5000 мА·год.

Аналіз енергоспоживання та продуктивності виявив можливості для подальшої оптимізації, що включають зменшення споживання енергії OLED-дисплеєм та додаткове вдосконалення алгоритмів обробки даних.

Загальний огляд переваг і недоліків прототипу свідчить про його практичну придатність для вирішення завдань моніторингу параметрів навколишнього середовища. Модуль відповідає сучасним вимогам до енергоефективності, гнучкості у використанні та простоти інтеграції в різноманітні системи.

6 ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ УМОВ ПРАЦІ

6.1 Особливості забезпечення безпеки роботи з пристроєм

Забезпечення безпеки умов праці є невід'ємною частиною розробки будь-якої технічної системи, особливо автоматизованих модулів, що використовуються у реальних умовах. На етапах проєктування та впровадження пристрою важливо враховувати ризики, пов'язані з електробезпекою, пожежною безпекою, впливом шкідливих факторів та ергономічністю використання. Дотримання вимог нормативно-правових актів України, зокрема НПАОП, дозволяє мінімізувати ці ризики та створити безпечне середовище для експлуатації розробленого модуля.

Забезпечення безпеки при розробці, проєктуванні та функціонуванні автоматизованого модуля виконується відповідно до норм і правил охорони праці, визначених законодавством України, зокрема НПАОП. Враховано вимоги щодо електробезпеки, пожежної безпеки, ергономічності та екологічної безпеки.

Розробка відповідає вимогам НПАОП 40.1-1.32-01 (Правила експлуатації електроустановок споживачів) щодо роботи з електрообладнанням:

- використання низьковольтного живлення: напруга 5 В є безпечною для людини;
- захист від короткого замикання: передбачено встановлення резисторів для обмеження струму, що відповідає стандартам електробезпеки;
- ізоляція електричних з'єднань: всі компоненти надійно закріплені та ізольовані, що унеможливує короткі замикання та ураження електрострумом.

У відповідності до НПАОП 40.1-1.32-01 та НПАОП 0.00-1.57-12 (Правила пожежної безпеки для підприємств):

- матеріали корпусу: використання вогнетривких матеріалів (ABS-пластик), що відповідають класу займистості UL94 V-0;

- тепловідведення: наявність вентиляційних отворів запобігає перегріву сенсора MQ-135 і електронних компонентів;
- захист акумулятора: конструкція передбачає ізольоване розташування акумулятора для запобігання перегріву.

У відповідності до НПАОП 40.1-1.32-01 [22] та НПАОП 0.00-1.57-12 [23] (Правила пожежної безпеки для підприємств):

- матеріали корпусу: використання вогнетривких матеріалів (ABS-пластик), що відповідають класу займистості UL94 V-0;
- тепловідведення: наявність вентиляційних отворів запобігає перегріву сенсора MQ-135 і електронних компонентів;
- захист акумулятора: конструкція передбачає ізольоване розташування акумулятора для запобігання перегріву.

Розробка враховує вимоги НПАОП 0.00-1.70-13 [24] (Правила роботи з шкідливими речовинами):

- безпечна експлуатація сенсора MQ-135: робота з пристроєм рекомендована у вентиляльованих приміщеннях для зниження впливу токсичних газів;
- регулярне калібрування: підтримання точності вимірювань знижує ризик некоректного аналізу концентрації газів.

Відповідно до НПАОП 0.00-1.28-10 [25] (Правила охорони праці під час експлуатації обладнання):

- доступність компонентів: дисплей, індикатори та сенсор розташовані на передній панелі для зручності користувача;
- маркування функціональних зон: всі підключення промарковані для уникнення помилок під час експлуатації.

Згідно з НПАОП 0.00-4.12-05 [26] (Інструкція з охорони праці), користувачам надається інструкція, яка містить:

- рекомендації щодо монтажу та калібрування модуля;
- заходи безпеки під час експлуатації (уникати контакту з відкритими електричними з'єднаннями, контролювати стан корпусу);

- опис необхідних дій у разі виявлення несправностей.

Розроблений автоматизований модуль відповідає вимогам нормативно-правових актів України у сфері охорони праці, зокрема НПАОП. Запроваджені заходи мінімізують ризики, пов'язані з електробезпекою, пожежною безпекою, а також забезпечують комфортні умови праці користувачів.

6.2 Висновок

Розглянуто основні аспекти забезпечення безпеки при розробці, проектуванні та експлуатації автоматизованого модуля. Особливу увагу приділено дотриманню вимог НПАОП України, що регламентують електробезпеку, пожежну безпеку та захист від шкідливих факторів.

Розроблено комплекс заходів для зниження ризиків під час використання пристрою, включаючи інструкції з експлуатації, вимоги до підключення та обслуговування компонентів, а також заходи у разі виникнення несправностей.

Дотримання розроблених рекомендацій та впровадження стандартів безпеки забезпечують надійну роботу модуля в різних умовах, мінімізуючи ризики для користувача та навколишнього середовища. Це робить модуль придатним для практичного застосування в безпечному середовищі.

ВИСНОВКИ

У результаті проведених досліджень виконано аналіз предметної галузі, в межах якого визначено ключові поняття, завдання та тенденції розвитку. Визначено поняття автоматизованих модулів, їх структуру, класифікацію, застосування. Обґрунтовано необхідність розробки автоматизованих модулів, здатних забезпечувати точний збір, обробку та візуалізацію даних у реальному часі.

Проведено огляд існуючих досліджень і технологій у галузі автоматизації, які свідчать про значний прогрес у застосуванні сучасних технологій, таких як Інтернет речей (IoT), штучний інтелект і хмарні обчислення. Виявлено, що багато рішень спрямовано на підвищення точності, енергоефективності та гнучкості інтеграції систем моніторингу.

Розроблено прототип автоматизованого модуля на основі мікроконтролера Arduino Uno, який обладнано сенсором MQ-135, OLED-дисплеєм SSD1306, світлодіодними індикаторами та п'єзоелементом. У ході роботи обґрунтовано вибір компонентів і запропоновано їх оптимальну інтеграцію.

Особливу увагу приділено енергоспоживанню. Використання режимів сну та оптимізація програмного забезпечення дозволили забезпечити автономну роботу пристрою до 65 годин від акумулятора ємністю 5000 мА·год. Запропоновано перспективи подальшої оптимізації для зменшення енергоспоживання без втрати функціональності.

Модуль було адаптовано для візуалізації даних у графічному або текстовому вигляді, що підвищує зручність сприйняття інформації. Додаткові можливості вдосконалення, включаючи інтеграцію бездротових модулів передачі даних, відкривають перспективи для віддаленого моніторингу та розширення сфер застосування.

Оцінено безпеку розробленого пристрою, яка відповідає вимогам НПАОП України, зокрема щодо електробезпеки, пожежної безпеки та екологічності. Також забезпечено відповідність ергономічним вимогам, що сприяє комфортному використанню пристрою.

Результати дослідження підтвердили ефективність запропонованих рішень та доцільність їх впровадження в галузях екологічного моніторингу, промислової автоматизації та побутових систем. Робота демонструє можливість створення сучасних автоматизованих систем з урахуванням технічних, економічних та екологічних критеріїв.

Також отримані результати роботи можна віднести до Цілі сталого розвитку 9 «Промисловість, інновації та інфраструктура», а саме 9.5 «Зміцнення наукових досліджень та впровадження інновацій».

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

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. Методичні вказівки з підготовки та захисту кваліфікаційної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, освітньо-професійних програм: «Автоматизоване управління технологічними процесами»; «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва»; «Комп'ютеризовані та робототехнічні системи». / Упоряд. І. Ш. Невлюдов, Р. В. Артюх, В. В. Безкоровайний, Н. П. Демська, В. В. Євсєєв, О. І. Филипенко, О. М. Цимбал. – Харків: ХНУРЕ, 2021. – 55 с.
3. Інноваційний підхід до візуалізації: розробка автоматизованого модуля для збору, обробки та збереження поточних даних / А. С. Паньков // Виробництво & Мехатронні Системи 2024: матеріали VIII-ої Міжнародної конференції, Харків, 25–26 жовтня 2024 р.: тези доповідей. Харків, 2024. 62-64 с.
4. Лакхвані К., Гіані Г.К., Віреко Дж.К., Хіран К.К. Інтернет речей (IoT): принципи, парадигми та застосування IoT. Делі: BPB Publications, 2020. 272 с.
5. Alpaydin E. Introduction to Machine Learning. 4-е вид. MIT Press, 2021. 712 с.
6. Tan K. H., Lim M. K. Big Data Analytics in Industry 4.0. Springer, 2022. 458 с.
7. Журавель С., Думич С., Шпур О. Дослідження методів збору та обробки даних в розподілених інформаційних системах // Інфокомунікаційні технології та електронна інженерія. 2021. № 1 (1). С. 20–38.
8. Mackenzie M. Embedded Systems Design. Wiley, 2020. 352 с.

9. Стаценко В. В., Бурмістенков О. П., Біла Т. Я., Стаценко Д. В. Розроблення комп'ютерної централізованої системи збору даних від аналогових датчиків // Вісник Хмельницького національного університету. 2021. № 3 (297).
10. Массачусетський технологічний інститут (MIT). Розробка автоматизованих модулів для "розумних" міст: наукова праця. 2023.
11. Fraunhofer Institute. Energy-Efficient Communication Protocols for IoT Systems: наукова стаття. 2020.
12. Smith A. IoT in Agriculture: Automated Monitoring Systems // Journal of Agricultural Technology. 2022. Vol. 25, No. 3. P. 201–217.
13. ISO/IEC 27001:2013. Information Security Management: міжнародний стандарт. 34 с.
14. Raspberry Pi Foundation. Using Raspberry Pi for Real-Time Data Processing: технічний посібник. 2023.
15. Arduino. Arduino Uno Datasheet: документація. 2023.
16. Banzi M., Shiloh M. Getting Started with Arduino. 3rd ed. O'Reilly Media, 2020.
17. MQ-135 Sensor Datasheet: Technical Specifications. Офіційна документація. 2023.
18. Faragher R. Understanding Arduino: The Open-Source Electronics Prototyping Platform. McGraw Hill, 2021.
19. Adafruit Industries. Adafruit SSD1306 OLED Driver Library for Arduino: офіційна документація. 2023.
20. Wokwi Simulation Platform. Arduino and IoT Prototyping in the Cloud: сайт. 2023. Режим доступу: <https://wokwi.com>.
21. Harris P. Energy-Efficient Embedded Systems. Springer International Publishing, 2022.
22. НПАОП 40.1-1.32-01. Правила експлуатації електроустановок споживачів. Затверджено наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України. Київ, 2001. 62 с.

23. НПАОП 0.00-1.57-12. Правила пожежної безпеки для підприємств. Затверджено наказом Міністерства надзвичайних ситуацій України. Київ, 2012. 140 с.
24. НПАОП 0.00-1.70-13. Правила охорони праці для працівників, зайнятих на роботах з підвищеною небезпекою. Затверджено наказом Міністерства надзвичайних ситуацій України. Київ, 2013. 48 с.
25. НПАОП 0.00-1.28-10. Правила охорони праці під час експлуатації обладнання. Затверджено наказом Міністерства праці та соціальної політики України. Київ, 2010. 85 с.
26. НПАОП 0.00-4.12-05. Порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці. Затверджено наказом Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду. Київ, 2004. 56 с.
27. Методичні вказівки до самостійної роботи з дисципліни "Охорона праці в галузі" для студентів усіх спеціальностей галузі автоматизації та приладобудування денної форми навчання / упоряд.: Г. В. Пронюк, Н. М. Сердюк, Т. Є. Стиценко ; М-во освіти і науки України, ХНУРЕ. – Харків : ХНУРЕ, 2016. – 116 с.