

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Сумський державний університет**  
Факультет електроніки та інформаційних технологій  
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

«До захисту допущено»  
Завідувач кафедри КСУ  
\_\_\_\_\_ Петро ЛЕОНТЬЄВ  
\_\_\_\_\_ 2025 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
на здобуття освітнього ступеня магістр

зі спеціальності 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та  
робототехніка

освітньо-професійної програми «Комп'ютеризовані системи управління та  
робототехніка»

на тему: «Система автоматичної корекції стану повітря в побутовому  
приміщенні»

Здобувача групи СУ.мдн-32п

Кардаш Юлії Олександрівни

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання  
ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Юлія КАРДАШ

Керівник: ст. викладач, к. т. н., доцент Олександр ЖУРАВЛІОВ

\_\_\_\_\_  
(підпис)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри КСУ

\_\_\_\_\_ Петро ЛЕОНТЬЄВ

\_\_\_\_\_ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра здобувачу вищої освіти

Кардаш Юлії Олександрівні

1. Тема кваліфікаційної роботи: Система автоматичної корекції стану повітря в побутовому приміщенні  
затверджена наказом ректора СумДУ № 1096 – VI від “25” жовтня 2024р.
2. Термін здачі студентом закінченої роботи " 4 " лютого 2025 р.
3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: наукові публікації, статті, технічна документація та перелік літературних джерел з матеріалом про подібні системи.
4. Зміст кваліфікаційної роботи (питання, що підлягають розробленню): аналіз технічних вимог до газоаналізаторів та існуючих систем контролю загазованості, розробка функціональної схеми автоматизації, розробка інтерфейсного модуля-перетворювача для сигналізатора ВАРТА 2-03А, розробка інформаційно-керуючої взаємодії в системі керування, моделювання та дослідження процесу керування витяжною вентиляцією приміщення з газовим обладнанням.
5. Перелік графічних матеріалів: функціональна схема автоматизації, схема підключення сигналізатора ВАРТА 2-03А до відладочної плати ESP8266 12F NodeMCU, структурна схема інформаційно-керуючої мережі для керування та корекції якості повітря у побутовому приміщенні з газовим обладнанням, схема інформаційних потоків у системі керування та корекції якості повітря у побутовому приміщенні з газовим обладнанням.

6. Календарний план виконання роботи:

Номер етапу	Зміст етапу проектування	Термін виконання
1	Ознайомлення із завданням. Опрацювання та аналіз літературних джерел. Аналіз технічних вимог до газоаналізаторів та існуючих систем контролю загазованості побутових приміщень	29.10.24- 13.11.24
2	Опис об'єкта автоматизації	14.11.24-27.11.24
3	Розробка функціональної схеми автоматизації, вибір засобів автоматизації	28.11.24-30.10.24
4	Розробка інтерфейсного модуля-перетворювача для сигналізатора ВАРТА 2-03А, його апаратної реалізації та коду прошивки.	01.12.24- 22.12.24
5	Розробка організації інформаційно-керуючої взаємодії в системі керування	23.12.24- 31.12.24
6	Моделювання та дослідження процесу керування витяжною вентиляцією побутового приміщення з газовим обладнанням.	01.01.25- 11.01.25
7	Оформлення та здача роботи керівнику	12.01.25- 04.02.25

7. Дата видачі завдання " 28 " жовтня 2024 р.

Керівник роботи:

ст. викладач, к.т.н., доцент

Олександр ЖУРАВЛЬОВ

Здобувач:

студент групи СУ.мдн-32п

Юлія КАРДАШ

## АНОТАЦІЯ

Кардаш Юлія Олександрівна. Система автоматичної корекції стану повітря в побутовому приміщенні. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістр. Сумський державний університет. Суми, 2025.

Робота містить 6 розділів та висновки, загальним обсягом 71 сторінка, 29 рисунків, 7 таблиць, 17 джерел інформації, 2 додатки.

Метою роботи є розробка системи автоматичної корекції стану повітря робочого середовища побутового приміщення, що забезпечує постійний контроль повітря на вміст чадного та природного газу, управління запірним газовим клапаном та витяжною вентиляцією, а також контроль пожежі та керування виконавчим механізмом системи пожежогасіння приміщення.

В роботі проведено огляд літературних джерел, розглянуті вимоги та проведений аналіз існуючих систем контролю загазованості. Розроблена функціональна схеми автоматизації, проведений вибір засобів автоматизації

Проведено опис розробленого інтерфейсного модуля-перетворювача для сигналізатора ВАРТА 2-03А, його апаратна реалізація та код прошивки.

Розроблено організацію інформаційно-керуючої взаємодії в системі керування.

Проведене моделювання процесу керування витяжною вентиляцією побутового приміщення з газовим обладнанням.

Ключові слова: система керування, стан повітря, ІОТ-модуль, мікроконтролер.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	4
ВСТУП.....	5
1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	8
2 ВИМОГИ ТА АНАЛІЗ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ ЗАГАЗОВАНOSTI ПОБУТОВИХ ПРИМІЩЕНЬ.....	19
2.1 Технічні вимоги до систем контролю загазованості.....	19
2.2 Призначення та принцип дії газових аналізаторів.....	21
2.3 Аналіз існуючих систем контролю загазованості.....	22
3 СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ КОРЕКЦІЇ СТАНУ ПОВІТРЯ.....	33
3.1 Опис об'єкта автоматизації.....	33
3.2 Розробка функціональної схеми автоматизації.....	34
3.3 Вибір засобів автоматизації.....	38
4 ОПИС ІНТЕРФЕЙСНОГО МОДУЛЯ-ПЕРЕТВОРЮВАЧА ДЛЯ СИГНАЛІЗАТОРА «ВАРТА 2-03А».....	44
4.1 Апаратна реалізація інтерфейсного модуля-перетворювача .....	48
4.2 Структура коду прошивки інтерфейсного модуля-перетворювача .....	49
5 ОРГАНІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧОЇ ВЗАЄМОДІЇ В СИСТЕМІ КЕРУВАННЯ.....	52
6 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ ВИТЯЖНОЮ ВЕНТИЛЯЦІЄЮ ПОБУТОВОГО ПРИМІЩЕННЯ З ГАЗОВИМ ОБЛАДНАННЯМ .....	57
6.1 Опис причино-наслідкових зв'язків в об'єкті керування.....	57
6.2 Структурна схема підсистеми вентиляції побутового приміщення .....	58
6.3 Загальний опис роботи системи вентиляції в дискретному режимі .....	59
6.4 Моделювання процесу керування вентиляцією приміщення в середовищі MATLAB .....	60

6.5 Основні висновки за результатами моделювання процесу керування концентрацією загазованості повітря у побутовому приміщенні в середовищі MATLAB.....	64
ВИСНОВКИ.....	66
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	69
ДОДАТОК А. ОСНОВНА ЧАСТИНА КОДУ.....	72
ДОДАТОК Б. ОПИС ІОТ – МОДУЛЯ .....	79

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

НКМПП – нижня концентраційна межа поширення полум'я

ГДК – гранично-допустима концентрація

ЗПП – запірно-пусковий пристрій

ПІ-регулятор – пропорційно-інтегральний регулятор

ПІД-регулятор – пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор

ІоТ - Інтернет речей (англ. internet of things)

ОТА - Оновлення «по повітрю» (англ. Over-the-Air)

AP –Access Point (точка доступу)

TCP - (англ. Transmission Control Protocol — протокол управління передачею)

## ВСТУП

В умовах сьогодення, коли до питань безпечної експлуатації газового обладнання висуваються все більш жорсткіші вимоги, надійність і безвідмовність систем забезпечення газової безпеки не може бути переоцінена.

Пріоритетом завжди було і залишається життя та здоров'я людини.

Розвиток автоматизації у сфері газової безпеки покликаний забезпечити як суттєво ефективніший контроль та визначення небезпеки, так і зниження енерговитрат, що є досить актуальним питанням в умовах сьогодення.

Система контролю загазованості представляє собою сукупність технічних засобів, призначення якої своєчасно виявляти та сповіщати про наявність газу в робочому середовищі.

Дана система застосовується для забезпечення безпечної роботи на таких об'єктах і приміщеннях, де використовуються горючі гази, і де наявна або не виключена можливість потрапляння в робоче середовище таких газів.

При виборі системи контролю загазованості зазвичай враховуються наступні чинники:

- Вид контрольованого горючого газу чи небезпечної речовини;
- Галузь використання системи контролю загазованості;
- Характеристики об'єкта;
- Вартість системи.

Первинні перетворювачі для вимірювання загазованості мають бути розташовані в місцях найбільш ймовірного виникнення загазованості.

Зазвичай при виборі місць встановлення даних давачів має бути враховане наступне:

- Схема подачі газу до споживача;
- Розташування обладнання, що споживає газ;
- Особливості, за яких об'єкт експлуатується.

Щодо пристроїв сигналізації, що входять до складу системи контролю загазованості, то вони мають бути встановлені в тих місцях, де люди гарантовано



зможли б почути чи побачити тривожний сигнал. При цьому необхідно врахувати схему пересування людей на об'єкті чи в приміщенні, особливості використання даного об'єкта.

Об'єкти промислового призначення, в яких встановлене газове обладнання, просто не можуть експлуатуватись без встановленої надійної системи контролю загазованості, яка проходить періодичну перевірку згідно з регламентом.

До задач таких систем входить не тільки інформувати обслуговуючий персонал про наявність в робочій зоні загазованості, але і повністю зупиняти об'єкт, на якому виявлена загазованість, якщо її значення досягає аварійної уставки.

Побутові приміщення, в яких встановлене газове обладнання, зазвичай представляють собою приміщення кухні, де зазвичай встановлені побутові газові прилади, до яких відносяться газова плита, газовий котел або газова колонка.

Незалежно від того, яке обладнання встановлене в побутовому приміщенні, таке приміщення є газонебезпечним, в ньому не виключена можливість витoku природного газу в робочу зону.

Головну небезпеку становлять витoki газу, що можуть з'явитися на будь-якому різьбовому чи зварювальному з'єднанні або в газових приладах та призвести до вибуху газу.

До інших небезпечних чинників тут можна віднести отруєння природним або угарним газом. Останній з'являється під час експлуатації газового обладнання та становить реальну небезпеку при несправній або недостатньо функціональній системі вентиляції.

Актуальність теми. Експлуатація газового обладнання, навіть у побуті, пов'язана з рядом ризиків для здоров'я та життя людини, тому створення ефективних систем своєчасного виявлення відповідних ризиків та попередження їх впливі на людину є вкрай актуальною задачею у будь-який час.

Мета дослідження. Виявлення ключових особливостей процесу керування параметрами якості повітря у побутовому приміщенні з газовим обладнанням. Обґрунтування вибору ефективного методу практичної реалізації основного

алгоритму керування у серверній частині системи керування, побудованої на основі інформаційно-керуючої мережі за клієнт-серверним принципом.

Об'єктом дослідження є процес дискретного керування витяжною вентиляцією (принцип «On-Off») у побутовому приміщенні з газовим обладнанням.

Предметом дослідження є використання методу адаптаційних характеристик [17] при керуванні витяжною вентиляцією (принцип «On-Off») у побутовому приміщенні з газовим обладнанням.

Наукова новизна. В роботі описано реалізацію методу адаптаційних характеристик [17] щодо дискретного керування витяжною вентиляцією (принцип «On-Off») у побутовому приміщенні з газовим обладнанням. Описані ключові особливості та нюанси імплементації відповідного методу.

Теоретична значущість. Наведений у роботі підхід до формалізації системи керування дозволяє використовувати відповідні матеріали як рекомендаційні настанови безпосередньо при налаштуванні процесів керування у відповідних системах, підсистемах та контурах регулювання з зазначеним режимом керування.

Практична цінність. Висновки практичного спрямування надають набір рекомендаційної інформації, яку можна використати при практичній реалізації аналогічних систем, підсистем та контурів регулювання. Також обґрунтовано, чому реалізація системи керування на основі спільної локальної інформаційно-керуючої мережі з використанням надійних інтерфейсів та протоколів передавання інформації значно спрощує структуру системи, що може надати ряд переваг, а саме: якісно вплинути на структуру відповідних складових підсистем; позитивним чином вплинути економічно за рахунок спрощення різних фізичних трасувань та спрощення системи і підсистем живлення; спростити організацію резервувань та моніторингу станів, як у серверній частині, так і у частині об'єкту керування.

## 1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

Якість навколишнього середовища в приміщенні дуже важлива для здоров'я людей, а витік природного газу та хімічного газу в додатку серйозно впливає на навколишнє середовище та загрожує безпеці життя та майна людей.

З метою усунення потенційної небезпеки, викликані витіканням пального газу в роботі [1] розроблена система моніторингу та управління в реальному часі, яка керується датчиком та модулем коротких повідомлень глобальної системи мобільного зв'язку для виявлення та викиду пального газу, що забезпечує безпеку життя та майна людей.

Експерименти показують, що система моніторингу та управління має переваги високої інтелектуальної, стабільної та надійної.

Хороше здоров'я та благополуччя є основними цілями у списку Цілей сталого розвитку, запропонованих Організацією Об'єднаних Націй.

Нові технології, такі як Інтернет речей (IoT) та хмарні обчислення, можуть допомогти в досягненні цієї мети, дозволяючи людям покращити свій спосіб життя та мати більш здорове та комфортне життя.

Моніторинг забруднення особливо важливий для того, щоб уникнути впливу дрібних частинок та контролювати вплив людської діяльності на навколишнє середовище. Деякі джерела викидів небезпечних газів можна знайти у приміщеннях.

Наприклад, оксид вуглецю (CO), який вважається тихим вбивцею, оскільки він може призвести до смерті, виділяється водонагрівачами та обігрівачами, що працюють на викопному паливі.

Існуючі рішення для моніторингу забруднення всередині приміщень страждають від деяких недоліків, які роблять їх реалізацію неможливою для домогосподарств з обмеженими фінансовими ресурсами.

У статті [2] представлено розробку IdeAir, недорогої системи моніторингу якості повітря на основі IoT, яка спрямована на усунення недоліків існуючих систем.

IdeAir був розроблений як доказ концепції для захоплення та визначення концентрації шкідливих газів у приміщеннях та, залежно від рівня їхньої концентрації, подачі сигналів тривоги та повідомлень, включення вентилятора та/або відкриття дверей.

Він був розроблений відповідно до Методології розробки на основі тестування для систем на основі Інтернету речей (TDDM4IoTS), яка разом з інструментом (заснованим на цій методології), що використовується для автоматизації розробки систем на основі Інтернету речей, полегшила роботу розробників.

Попередні результати роботи IdeAir показують високий рівень прийняття потенційними користувачами.

Надійний та оптимальний моніторинг та керування системою вентиляції необхідні для системи опалення, вентиляції та кондиціонування повітря для підтримки належної якості повітря у приміщенні з мінімальним споживанням енергії.

У статті [3] представлено розробку та перевірку алгоритму управління, який адаптується до динаміки системи з використанням вентиляції з управлінням по потребі на основі датчиків.

Стратегія управління, заснована на моніторингу та моделюванні концентрації вуглекислого газу ( $\text{CO}_2$ ) в приміщенні, застосовується для реагування на зміни генерації  $\text{CO}_2$  в приміщенні за допомогою відповідного регулювання швидкості вентиляції, тобто швидкість вентиляції модулюється з часом на основі сигналів від концентрації  $\text{CO}_2$  в приміщенні.

Зокрема, у статті основна увага приділяється розробці адаптивної моделі якості повітря в приміщенні на основі м'якого прогнозування кількості людей, що знаходяться в приміщенні, в реальному часі для реалізації стратегій управління.

Результати показують, що модель здатна прогнозувати рівень  $\text{CO}_2$  у приміщенні в динамічному середовищі приміщення. Ця динамічна модель якості

повітря в приміщенні є корисною для стратегій управління, що вимагають знання динамічних характеристик систем.

У статті [4] представлена система автоматизованого контролю якості повітря у приміщенні, яку можна контролювати та контролювати за допомогою мобільного телефону на основі концепції Інтернету речей.

Система періодично контролює навколишнє середовище у приміщенні та може керуватися за допомогою смартфона. Система знаходиться на платформі Інтернету речей, яка забезпечує віддалений доступ через мобільний телефон. Запропонована система контролює рівні CO та CO<sub>2</sub> у приміщенні та повідомляє користувача, якщо допустима межа перевищується. Користувач може увімкнути вентилятор зі смартфона, коли допустима межа перевищується. Ця система була реалізована за допомогою RASPBERRY PI, яка використовує базу даних для зберігання контрольованих значень та веб-сервер, до якого можна доступ через смартфон.

Якість повітря у приміщеннях стала предметом занепокоєння міжнародного наукового співтовариства. Експерти в галузі охорони здоров'я, екологічні органи управління та галузеві експерти працюють над покращенням загального стану здоров'я, комфорту та благополуччя мешканців будівель. Повторний вплив забруднюючих речовин у приміщеннях вважається однією з потенційних причин низки хронічних проблем зі здоров'ям, таких як рак легень, серцево-судинні захворювання та респіраторні інфекції. Більш того, проекти розумних міст заохочують використання систем моніторингу в реальному часі для виявлення несприятливих сценаріїв для покращення умов життя.

Основна мета роботи [5] – представити систематичний огляд поточного стану систем моніторингу якості повітря у приміщеннях на основі Інтернету речей.

У документі висвітлюються аспекти проектування систем моніторингу, включаючи типи датчиків, мікроконтролери, архітектуру та підключення, а також питання запровадження досліджень, опублікованих за п'ять років.

Основний внесок статті [5] — надати синтез існуючих досліджень, прогалин у знаннях, пов'язаних з ними проблем та майбутніх рекомендацій.

Результати показують, що 70%, 65% та 27,5% досліджень були зосереджені на моніторингу параметрів теплового комфорту, рівнів CO<sub>2</sub> та РМ відповідно. Крім того, 37,5% та 35% систем засновані на контролерах Arduino та Raspberry Pi.

Тільки 22,5% досліджень слідували підходу калібрування перед впровадженням системи, а 72,5% систем заявляють про енергоефективність.

Інтернет речей довів свій потенціал у вирішенні проблем, де наявність інформації може зробити великий внесок у рішення або стати самим рішенням. Ціла низка пов'язаних речей, які спілкуються один з одним, можуть передавати оброблену інформацію людям, що допоможе їм дійти осмислених висновків про абстрактні, але важливі чинники. Одним з таких факторів є повітря та його якість. У густонаселеному світі та при розгляді тенденцій кількості жертв через забруднене повітря дуже важливо, щоб люди були інформовані про якість повітря, яким вони дихають. Якість повітря в приміщенні є дуже важливим фактором, який необхідно оцінювати та аналізувати, і необхідність ефективного вирішення для цього неминуча. Оскільки очищувачі повітря здатні очищати повітря в приміщенні, користувачі не мають можливості перевірити послідовність такого процесу і не мають можливості вивчати довгострокову поведінку повітря, якою вони дихають.

У роботі [6] використовувався підхід на основі Інтернету речей разом з необхідними математичними формулами визначення якості повітря в різних приміщеннях.

Використовуючи концепцію вбудованої технології, різні датчики підключаються для збору даних у різних середовищах.

Хмарна технологія використовується для зберігання виміряних даних.

Ці дані зберігаються в інформаційній хмарі, а потім запитуються для аналізу будь-якого стану навколишнього середовища.

Ця модель використовується для запису та аналізу таких даних у ThingSpeak. ThingSpeak — це аналітична платформа даних, для якої IoT може використовуватися як агрегація, візуалізація та аналіз потоку живих даних у хмарі.

Більше того, Python коди написані для різних математичних формул, які використовуються в ThingSpeak для перевірки стану навколишнього середовища.

Було помічено, що графічне уявлення параметрів довкілля в ThingSpeak дає основне уявлення про стан довкілля цього конкретного регіону.

Низька якість є серйозною проблемою у міських районах. Більше 85% людей зазнають впливу високих рівнів певної речовини. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, люди обережніші у перевірці якості повітря, свого здоров'я, зосереджуючись на просторах, де вони проводять більшу частину свого часу вдома, у школі тощо, а також у своєму автомобілі.

У статті [7] подано систему з низьким енергоспоживанням та споживанням даних.

Тут обговорювалася якість повітря з використанням Raspberry Pi4 з Grove – датчиком якості повітря v1.3, датчиком якості повітря CO<sub>2</sub> CCS811, датчиком температури та вологості DHT 11.

Зв'язок між датчиком та Raspberry Pi4 здійснювався через протокол зв'язку послідовного порту, а код реалізований на інтерфейсі Python.

Забруднення повітря є глобальною проблемою здоров'я навколишнього середовища, багато людей помирають щороку через деякі видимі та невидимі параметри, такі як дрібні частинки, гази і так далі.

Більшість параметрів довкілля підлягають моніторингу, такі як обсяг CO, CO<sub>2</sub>, температура, вологість, витік газу, дим, датчик температури тощо.

Інформацію про ці параметри можуть отримувати Rasp Pi4, Arduino Uno, обробляти інформацію та передавати до хмар, де вони постійно контролюються, а інформація зберігатиметься у хмарній базі даних.

В даний час забруднення повітря є критичною глобальною проблемою, яка негативно впливає на екосистему, економіку, здоров'я людини та спадщини. Тому якість повітря необхідно перевіряти і тримати під контролем, щоб забезпечити кращий і здоровіший всесвіт.

Швидке зростання населення з кожним роком викликає великі проблеми у навколишньому середовищі. Забруднення повітря стає все більш неминучим через викиди від транспорту, урбанізації та споживання енергії.

Отже, шкідливі елементи забруднюють зовнішнє повітря, що впливає здоров'я людей. Цими забруднювачами є  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  та тверді частинки, які також впливають на якість повітря у приміщенні. Було сказано, що якість повітря в приміщенні в два-п'ять разів небезпечніша, ніж зовнішнє повітря через попадання та уловлювання шкідливих речовин. Витік зрідженого нафтового газу також вважається ризиком для здоров'я у приміщенні.

Тому дослідження [8] спрямоване на створення пристрою, який не тільки контролюватиме різні параметри якості повітря в приміщенні (IAQ), але й повідомляти користувача про потенційні ризики в певному місці.

Система керування використовує бездротову передачу даних та мобільний додаток для сповіщення користувача. Система датчиків також використовувала контрольоване машинне навчання з використанням опорних векторних машин, що допомогло системі спробувати передбачити нові дані якомога точніше.

Це дослідження змогло точно контролювати IAQ у заданому місці та повідомляти користувача. Ретельне зчитування показань датчиків виявило відсоткові відмінності в діапазоні від 0,8 до 4% порівняно з промисловим детектором якості повітря.

Дослідники також виявили безліч можливостей для покращення конструкції прототипу.

Від гирла свердловини до наконечника пальника кожен компонент ланцюжка процесу природного газу піддається підвищеній увазі щодо наявності та масштабів витоків метану через великий потенціал глобального потепління, який має метан. Східні вимірювання викидів метану в міських районах значно більше, ніж висхідні оцінки. Нещодавні дослідження показують, що ця невідповідність може бути частково пояснена витоком газу з однієї з найменш вивчених частин ланцюжка процесу: за газовим лічильником у будинках та будинках. Однак у цій



галузі було проведено мало досліджень, і існує мало методів та наборів даних для їх вимірювання чи оцінки.

У роботі [9] розробляється і тестується простий і широко застосовуваний метод закритої камери, який можна використовувати для кількісної оцінки викидів метану в приміщеннях з точністю порядку величини, що дозволяє проводити скринінг витоків великого обсягу в приміщеннях.

Проведено тестові застосування методу, виявляючи внутрішні витoki у 90% з 20 досліджених будівель Бостона та викиди метану всередині приміщень у діапазоні 0,02–0,51 фут<sup>3</sup> СН<sub>4</sub> день<sup>-1</sup> (0,4–10,3 г СН<sub>4</sub> день<sup>-1</sup>) із середнім значенням 0,14 фут<sup>3</sup> СН<sub>4</sub> день<sup>-1</sup> (2,8 г СН<sub>4</sub> день<sup>-1</sup>).

Метод забезпечує відносно простий спосіб масштабування збору даних про викиди метану усередині приміщень. Збільшення обсягу даних може знизити невизначеність в інвентаризаціях знизу вгору і може використовуватися для пошуку викидів у приміщеннях з супервикидами, які можуть пояснити невідповідність між оцінками викидів зверху вниз і знизу вгору після вимірювання.

Метан є основним парниковим газом та попередником тропосферного озону, і більшість його джерел пов'язані з антропогенною діяльністю. Джерела метану добре відомі і його моніторинг зазвичай включає використання дорогих газоаналізаторів з високими експлуатаційними витратами.

У багатьох дослідженнях вивчалось використання недорогих газових датчиків як альтернативу для вимірювання концентрацій метану; однак це все ще область, яка потребує подальшого розвитку для забезпечення надійних вимірів.

У роботі [10] була розроблена дешева платформа для вимірювання метану в діапазоні низьких концентрацій, яка використовувалася у двох різних середовищах для постійної оцінки та покращення її продуктивності.

Датчик метану був Figaro TGS2600, метал-оксид-напівпровідник (МОП) на основі діоксиду олова (SnO<sub>2</sub>).

На першому етапі платформа моніторингу була застосована у невеликому корівнику для жуйних тварин після проходження багатоточкового калібрування.

На другому етапі система використовувалася на очисних спорудах разом із багатогазовим аналізатором (Gasera One Pulse).

Калібрування недорогого датчика ґрунтувалося на співвідношенні показань двох пристроїв. Температура та відносна вологість також вимірювалися для виконання поправок з метою мінімізації впливу цих змінних на сигнал датчика, а для покращення роботи датчика використовувалася активна система вентиляції.

Система довела свою здатність вимірювати низькі концентрації метану, дотримуючись надійних просторових та тимчасових закономірностей в обох місцях.

Дуже схожа поведінка обох вимірювальних систем була добре помітна на WWTP.

Загалом недорогога система продемонструвала хорошу продуктивність у кількох умовах довкілля, показавши себе гарною альтернативою, принаймні, як систему скринінгового моніторингу.

Підтримка хорошої якості повітря в приміщенні має вирішальне значення для всіх людей, оскільки рівень забруднення в приміщенні набагато вищий, ніж на свіжому повітрі. Вентиляція у приміщенні для оновлення повітря у приміщенні дуже важлива, оскільки вона покращує якість повітря та знижує ризики для здоров'я людей. Автоматизація процесу оновлення повітря у приміщенні дуже важлива у таких ситуаціях через швидкий спосіб життя людей сьогодні.

Пропонований у роботі [11] метод пропонує повністю автоматизовану систему, яка контролює та керує якістю повітря в приміщенні, температурою та вологістю за допомогою технології Arduino та контролера нечіткої логіки.

Система вимірює якість повітря за допомогою датчика MQ-135 та відстежує температуру та вологість за допомогою датчика DHT-11.

Показання цих датчиків використовуються для регулювання вентиляції у приміщенні для видалення небажаних газів, а також для контролю температури та вологості.

Результати показують, що запропонована система досягає високої продуктивності при контролі та моніторингу якості повітря у приміщенні. Більше

того, запропонована система знижує енергоспоживання вентиляційної механіки. Це зниження досягається за рахунок контролера нечіткої логіки, який регулює швидкість та робочий інтервал часу вентиляції приміщення.

Наведено деякі суміжні роботи, що демонструють різницю між іншими методами та запропонованою системою.

Метан, основний компонент газу (ПГ), є потужним парниковим газом. ПГ є поширеним паливом для побутових приладів через низьку вартість, високу щільність енергії та щодо чистого згоряння. Вихлопні гази ПГ містять кілька незгорілого метану через неминуче неповне згоряння.

У роботі [12] описано проведення польової кампанії з вимірювання концентрації метану у вихлопних газах побутових приладів ПГ у Бостоні та Індіанapolisі, щоб визначити їхній внесок у загальні викиди. ПГ-опалення, водонагрівальні та кухонні прилади були виміряні у 100 будинках.

Вихлопні гази приладів зазвичай демонструють короткочасний сплеск концентрації метану під час займання та гасіння та відносно низькі концентрації під час стаціонарної роботи.

Винятками з цієї закономірності є духовки, неоптимальні пальники плит і водонагрівачі без бака, які мають інший режим роботи, або нетривіальні стаціонарні концентрації.

Результати були об'єднані з припущеннями щодо використання та поширеності приладів для оцінки загальних викидів. Щорічно  $\sim 30$  Гг викидів метану можна віднести до побутових приладів у США, що відповідає  $\sim 830$  Гг еквівалента діоксиду вуглецю ( $\text{CO}_2$ ). Це становить  $\sim 0,1\%$  антропогенних викидів метану в США (які становлять  $\sim 10\%$  від загальних викидів парникових газів у США) і відповідає коефіцієнту викидів  $0,38$  г/кг споживаного газу ( $0,038\%$  [ $0,024\% - 0,21\%$ ]).

Розробці аналізатора повітря, працюючого дистанційно, присвячена стаття [13].

Запропоновано використання давачів, що контролюють рівень задимленості приміщення, та своєчасного оповіщення людей про невідповідність параметрів повітря робочого середовища нормативним значенням.

З цією метою розроблено універсальний оптично-електронний пристрій, що підключається до системи спостереження за допомогою опто - волоконної лінії.

Проведено порівняльний аналіз методів вимірювання з використанням іонізаційних та фотоелектричних датчиків диму. Зроблено висновки про доцільність використання фотоелектричної сигналізації, яка перевершує іонізаційну та має менший відсоток помилкових спрацювань.

До переваг такої системи, на думку авторів, відносяться цінова доступність, швидкість реакції давачів, довговічність.

У роботі [14] розроблений недорогий вузол виявлення метану, що включає два датчики оксиду металу (МОх) (Figaro Engineering TGS2611-E00 та TGS2600), датчики вологості та температури, сховище даних та телеметрію.

Було розгорнуто прототип датчика разом з еталонним аналізатором метану на двох майданчиках: одна на відкритому повітрі та одна в приміщенні.

Збірано дані на кожному майданчику протягом декількох місяців у різних умовах навколишнього середовища (зокрема, температурі та вологості) та рівнях метану.

Досліджено калібрувальні моделі, щоб дослідити продуктивність системи та її придатність для фонових моніторингу метану та виявлення поліпшення, спочатку вибравши лінійну регресію для відповідності базовому відгуку датчика, а потім підганяючи відгук метану з відхилення датчика від базового рівня.

Досягнуто помірну точність у діапазоні метану від 2 до 10 ppm порівняно з даними еталонного аналізатора ( $< 0,6$  ppm), але виявлено, що відгук датчика змінювався з часом, можливо, внаслідок змін у концентраціях нецільового газу.

Передбачається, що ця перехресна чутливість може бути причиною неоднозначних результатів попередніх досліджень.

Першим кроком до контролю забруднення є моніторинг забруднення.

У статті [15] представлений інноваційний спосіб моніторингу забруднення, при якому будь-яка людина може побачити вміст забруднення певної області, де встановлені датчики, та вжити заходів щодо її контролю.

Реалізовано прототип для моніторингу кількох основних газових забруднювачів, таких як CO, CH<sub>4</sub>, а також змін температури навколишнього середовища.

Напівпровідникові газові датчики (MQ7, MQ4) були калібровані відповідно до стандартних методів і підключені до Raspberry Pi Model B+ з використанням Python 2.7.

Покази відображаються в режимі реального часу, а також записуються за допомогою онлайн-інструменту аналітики та візуалізації даних Plotly.

Цю модель можна додатково покращити, додавши більше датчиків, щоб створити недорогу та портативну систему для моніторингу забруднення.

Аналіз літературних джерел доводить необхідність створення та вдосконалення існуючих систем контролю повітряного середовища приміщень.

## 2 ВИМОГИ ТА АНАЛІЗ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ ЗАГАЗОВАНOSTI ПОБУТОВИХ ПРИМІЩЕНЬ

### 2.1 Технічні вимоги до систем контролю загазованості

Система контролю загазованості представляє собою комплекс технічних засобів для своєчасного виявлення і сигналізації наявності загазованості робочого середовища.

Встановлення систем контролю загазованості побутового приміщення здійснюється згідно технічних вимог та правил відносно застосування сигналізаторів довибухобезпечних концентрацій використовуваних газів в побутових потребах, а також чадного газу в робочому середовищі приміщень житлового сектору та громадських споруд і будинків, які визначають порядок облаштування стаціонарних автоматичних сигналізаторів безперервної дії і сигналізуючих систем довибухонебезпечних концентрацій використовуваних газів та концентрацій чадного газу ДБН В.2.5-20-2001 «Газопостачання».

Такі технічні вимоги обов'язкові для усіх споруд господарського і житлового призначення, які знаходяться у державній, комунальній, відомчій, кооперативній та приватній власності.

Обов'язковими вони є також і для організацій, що беруть участь у проектуванні та модернізації існуючих газонебезпечних об'єктів.

Згідно з даним нормативним документом визначені типи, кількість встановлюваних сигналізаторів, а також місця встановлення первинних перетворювачів, враховуючи умови та особливості розміщення споруд відносно інженерних комунікацій.

Для кожної споруди має бути встановлений вид вибухонебезпечного або шкідливого газу, а також перелік засобів автоматизації для контролю даних речовин.

Сигналізатори довибухобезпечних концентрацій мають спрацьовувати, коли вміст небезпечних газів у робочому середовищі досягне 20 % від нижньої концентраційної межі поширення полум'я, або коли значення об'ємної частки окису вуглецю досягає значення 0,005%.

Дані сигналізатори довибухобезпечних концентрацій мають бути налаштовані для детектування визначеного типу паливного газу: виключно метану, або виключно пропан-бутану.

Первинні перетворювачі даних сигналізаторів встановлюються у вибухонебезпечних зонах, в місцях якнайближчого розташування до можливих джерел появи газу на відстані до 1 м горизонтально та 0,5 м нижче верхнього горизонтального перекриття для метану та окису вуглецю, не більше 0,5 м над найнижчою точкою горизонтального перекриття для пропан-бутану. Для чадного газу норма встановлення датчиків на висоті 1,8 м від підлоги та не вище 0,3 м до стелі.

Згідно правил, датчики мають бути встановлені в зоні кожного потенційного джерела або групи джерел витоку, що розташовані між собою з дистанцією не більше 2 м. Необхідно встановлення не менше одного датчика на приміщення, якщо воно розміщене у вибухонебезпечній зоні. Датчики мають встановлюватись в тих місцях, що захищені від навмисного руйнування або пошкодження і захищені спеціальними пристроями.

Щодо вимог до сигналізації, та вона має бути і світловою, і звуковою. Прилад світлової сигналізації (мигальний пристрій) має встановлюватись в доступному для огляду місці окремо від інших освітлювальних приладів.

Звуковий сигналізатор повинен мати рівень звукового тиску не менше 85 дБ. При цьому тривалість тривожної сигналізації повинна бути не менше, ніж 40 хв, що становить максимальний термін приїзду аварійної газової служби.

Індивідуальна попереджувальна сигналізація рекомендована для попередження окремого споживача.

## 2.2 Призначення та принцип дії газових аналізаторів

Газові аналізатори мають застосування у всіх сферах і призначений забезпечити безпеку процесу виробництва, а також життя та здоров'я людини. Призначення даних приладів – виявлення витoku газу та аналіз якості повітря.

Існують також газові аналізатори для виявлення витоків фреону, аміаку, інших газів, пари яких є небезпечними для екологічної обстановки і для життя та здоров'я людини.

До небезпечних чинників, що виникають в процесі експлуатації газового обладнання побутового приміщення відносяться наступні:

– Чадний газ (CO) – виділяється при спалюванні паливного газу. Наявність даного газу у приміщенні без припливу свіжого повітря є смертельно небезпечним.

– Метан (CH<sub>4</sub>) – основна складова природного газу, скупчення якого може спалахнути або вибухнути навіть від іскорки. Метан є легшим за повітря, тому скупчення його відбувається в верхній частині робочого середовища.

– Пропан (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) є головним компонентом зрідженої суміші пропан-бутану. Витік такого газу небезпечний навіть при провітрюванні, адже цей газ важчий за повітря і скупчується в нижніх шарах робочого середовища побутового приміщення.

Крім того, в робоче середовище при спалюванні газу потрапляють оксиди азоту NO<sub>x</sub>, які також слід контролювати і які здатні викликати гострі респіраторні захворювання (рисунок 2.1).

Принцип дії газоаналізатора полягає у використанні термомеханічних, оптичних та електромеханічних давачів.

Кожний газоаналізатор у своїй конструкції повинен містити наступні елементи: первинний перетворювач, вимірювально-показуючий модуль, блок живлення.

Газоаналізатор як побутового, так і промислового призначення, має виконувати наступні функції:



- Світлова та звукова сигналізація;
- Повне припинення подачі палива шляхом перекриття електромагнітного клапану;
- Запуск системи вентиляції;
- Подача сигналу на пожежний або диспетчерський пункт.

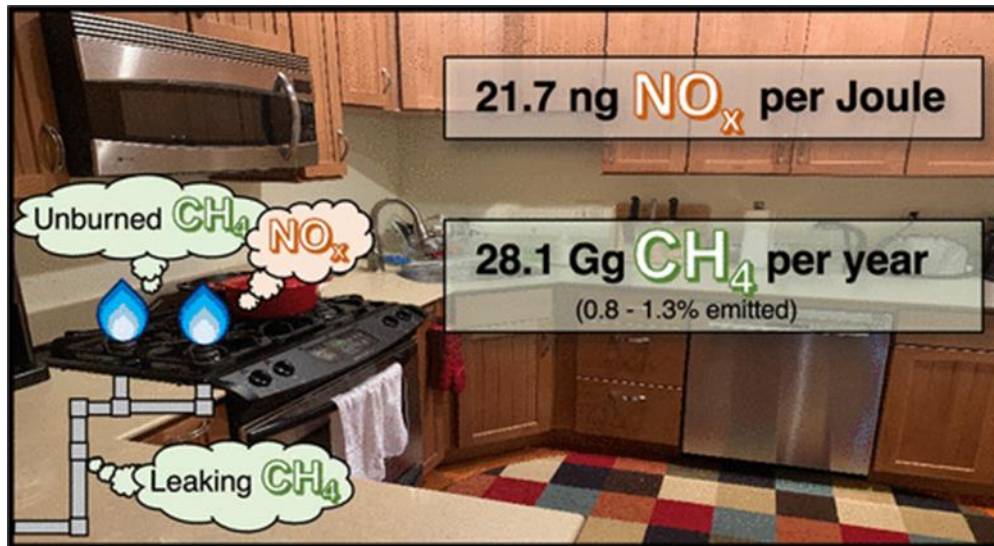


Рисунок 2.1 – небезпечні чинники при спалюванні газу

### 2.3 Аналіз існуючих систем контролю загазованості

Український ринок представлений декількома моделями газоаналізаторів побутового та промислового призначення. Зупинимось більш детально на побутових приладах.

#### 2.3.1 Побутовий сигналізатор газу «СТРАЖ»

Побутові сигналізатори газу «СТРАЖ» (рисунок 2.2) призначені для неперервного контролю концентрації природного побутового паливного газу метану CH<sub>4</sub> і залежно від моделі, чадного газу (окису вуглецю CO) в повітрі побутових і комунальних приміщень, видачі попереджувальної світлової та

звукової сигналізації у випадку досягнення цими газами концентрацій, небезпечних для здоров'я і життя людей та тварин.



Рисунок 2.2 - Побутові сигналізатори газу «СТРАЖ»

Дані сигналізатори призначені також для видачі попереджувальних сигналів при наближенні концентрації природного побутового паливного газу до рівня, який в суміші з повітрям може призвести до вибуху.

Вони пройшли державні випробування на відповідність стандарту ДСТУ EN 50194.

Конструктивно і схемним рішенням, що використані в даних газоаналізаторах, забезпечується управління автоматичними захисними пристроями: вентиляторами, імпульсними, потенційними відсікаючими електроклапанами, зовнішніми звукосигнальними пристроями.

Приклад встановлення сигналізатора «Страж» з електромагнітним відсікачем наведений на рисунку 2.3.

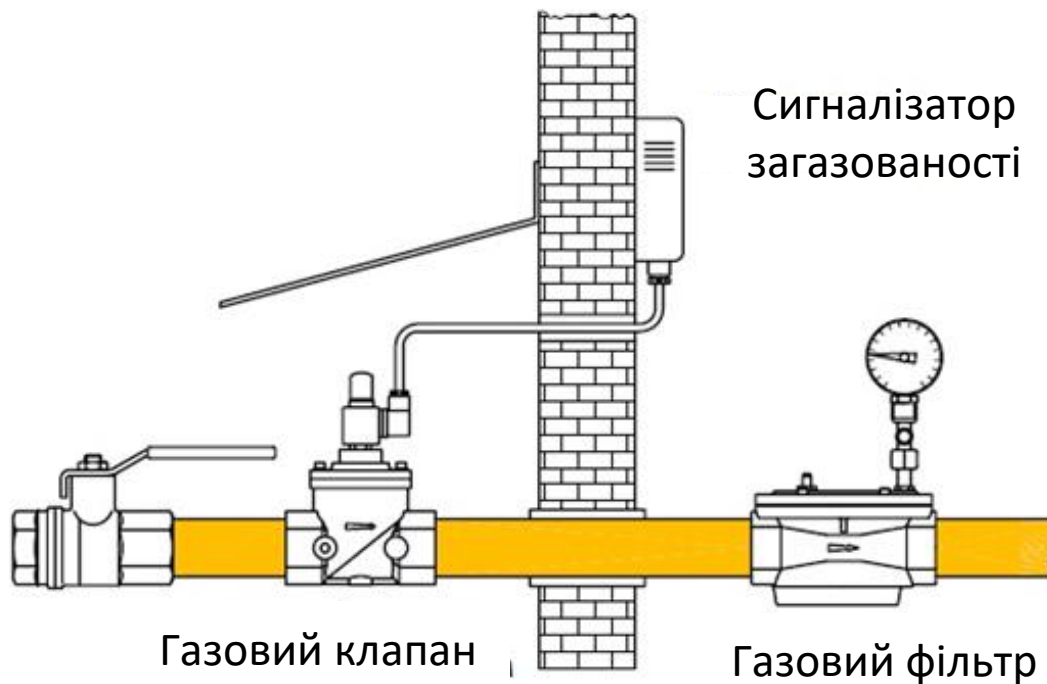


Рисунок 2.3 - Приклад встановлення сигналізатора «Страж»

Характеристики даного сигналізатора наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Характеристики сигналізатора «Страж»

1	Поріг спрацьовування по метану (CH <sub>4</sub> )	0,5% (10% НКМПП)
2	Поріг спрацьовування по угарному газу (CO)	0,01% (100 ppm)
3	Поріг спрацьовування по перевищенню температури	+55 °С
4	Рівень звукового сигналу тривоги на відстані 1 м	Не менше 85 дБ
5	Час прогріву	Не більше 300 с
6	Час спрацьовування сигналізації:	
	- На метан	Не більше 30 с
	- На чадний газ	Не більше 60 с
7	Виходи управління зовнішніми пристроями:	
	- Вихід на управління нормально відкритим електромагнітним відсікаючим клапаном	~ 220 В
	- Вихід на управління нормально відкритим	~ 220 В

	електромагнітним відсікаючим клапаном	
	- Вихід на управління світлозвуковим пристроєм та\або витяжкою	~ 220 В
8	Живлення від мережі змінного струму	110-220 В $\pm$ 10%, 50 Гц
9	Споживча потужність при відсутності тривоги	Не більше 2,2 Вт
10	Клас захисту від потрапляння в корпус твердих та рідких речовин	IP 22 D
11	Клас захисту по ступеню електрозахисту	II
12	Габарити, не більше	120x85x55 мм
13	Повний середній термін служби	Не менше 6 років
14	Температурний діапазон контролю газового середовища	Від -10 до +40 °С
15	Контроль перевищення температури повітря	До +60 °С
16	Відносна вологість повітря	До 90%
17	Атмосферний тиск	Від 84,0 до 107,0 кПа

Сигналізатори «Страж» відрізняються наступними перевагами:

- Висока надійність при низьких цінах;
- Багатофункціональність;
- Можливість автоматичного переходу при відключенні основного живлення (мережа ~ 220 В) на роботу від резервного живлення 12 В  $\pm$  1,2 В, захист від неправильного підключення (переполюсовки) цієї напруги;
  - Забезпечення працездатності виходів імпульсних клапанів при переході на резервне живлення;
  - Управління зовнішніми пристроями за допомогою електромагнітних реле;
  - Можливість підключення імпульсного клапана як на 220 В, так і на 24 В;
  - Можливість для деяких моделей сигналізаторів в залежності від потреб визначати користувачем напругу для управління зовнішніми пристроями з потенційним керуванням;

- Функція самотестування, що виключає можливість переходу сигналізатора в режим небезпеки під час прогріву датчика;
- Працездатність сигналізаторів при низьких напругах в мережі до ~168 В.

### 2.3.2 Сигналізатор газу побутовий СГБ-1

Сигналізатор газу СГБ-1 (рисунок 2.4) призначений для автоматичного безперервного контролю об'ємної частки горючих газів: метану, а також окису вуглецю і видачі сигналізації про перевищення встановлених рівнів вмісту контрольованих компонентів в повітрі комунально-побутових, побутових приміщень, топочних та котельень малої потужності, які не мають вибухонебезпечних зон.

Сигналізатор який забезпечує контроль окису вуглецю може використовуватися в якості пожежного газового сповіщувача для виявлення пожеж на ранніх стадіях їх виявлення.

Сигналізатори СГБ-1 - це прилади для комунально-побутового господарства, розроблені в Україні у відповідності з національною програмою з безпечного життєдіяльності населення.



Рисунок 2.4 - Сигналізатори моделі СГБ-1

Сигналізатори моделі СГБ 1-7 двоканальні з контролем окису вуглецю і метану окремими каналами, інші моделі одно канальні.

Сигналізатори оснащені напівпровідниковими датчиками.

Сигналізатори СГБ-1-13 призначені для визначення порогової концентрації метану в навколишньому повітрі в умовах присутності високих концентрації негорючих газів і парів. Нечутливість до них реалізована застосуванням сенсора термokatалітичного принципу роботи, тобто чутливий елемент реагує лише на ту газову суміш, на яку прилад відкалібрований.

Сигналізатор розроблений для використання в побутових приміщеннях, де постійні пари інших речовин.

СГБ - 1 працюють від побутової електричної мережі змінного струму 220 В 50 Гц, всі модифікації можуть працювати від зовнішнього резервного живлення постійного струму 12 В. Перехід з основного на резервне живлення відбувається автоматично.

Прилади внесені до державних реєстрів України, мають сертифікат відповідності, дозвіл Держнаглядохоронпраці України на випуск і застосування.

Для забезпечення роботи побутових аналізаторів при зникненні напруги в електромережі і відсутності резервного живлення розроблено і рекомендовано до застосування джерело резервного живлення ІРП-1, що містить вбудовані акумулятори. Час неперервної роботи від акумуляторів не менше 8 годин.

Технічні характеристики СГБ наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Технічні характеристики СГБ

Найменування показника	Значення характеристики
Повірочний компонент	окис вуглецю, метан, пропан
Межа допустимої основної похибки при спрацюванні	+0,035 (по метану); +0,035 (по окису вуглецю)
Межа допустимої абсолютної похибки при спрацюванні сигналізації в реальних умовах експлуатації	±0,05

Час спрацювання сигналізатора, с, не більше	60
Маса, кг, не більше	0,5
Потужність споживана, Вт, від мережі 220 В 50 Гц не більше	
- В черговому режимі	6
- В режимі тривоги	6,5
Струм, А, споживаний від зовнішнього джерела резервного живлення не більше	
- в черговому режимі	0,06
- в режимі тривоги	0,1
Габаритні розміри:	
- діаметр, мм, не більше	135
- товщина, мм, не більше	50
Середнє напрацювання на відмову, годин, не менше	50000
Повний середній термін служби, років, не менше	10

Електроживлення сигналізаторів здійснюється: основне від мережі змінного струму 220 В, резервне від зовнішнього джерела постійного струму напругою 12 В.

Умови експлуатації:

- температура навколишнього і контрольованого середовища, ° С, від -10 до + 50° С;
- відносна вологість повітря при температурі 25° С до 98%;
- атмосферний тиск, мм. рт. ст. від 630 до 800.

### 2.3.3 Сигналізатор загазованості Лелека

Призначенням сигналізатора загазованості Лелека (рисунок 2.5) є неперервний контроль природного газу в робочому середовищі побутових приміщень, якими являються квартири та житлові будинки, офісні приміщення, школи.



Рисунок 2.5 – Газоаналізатор ЛЕЛЕКА

При досягненні природним газом межі спрацювання електрична схема сигналізатора виконує наступні функції:

- видача звукового та світлового сигналу;
- комутація зовнішніх електричних кіл змінного струму до 6 А з напругою 250 В
- керування електроклапаном потужністю 250 Вт напругою 220 В.

Дані сигналізатори випускаються у двох виконаннях: тільки для вимірювання метану і комбінований, для вимірювання метану і оксиду вуглецю.

Основні технічні характеристики даного сигналізатора наступні:

- номінальне значення порогу спрацювання 15% НКМПП;
- абсолютна похибка за температури  $20 \pm 5$  °С  $\pm 7\%$ ;
- абсолютна похибка у всьому діапазоні температур  $-10 + 15\%$  НКМПП.

До умов експлуатації даного сигналізатора відносяться наступні:

- температура оточуючого середовища від 0 до 40° С;
- відносна вологість до 95% за температури 25° С;
- атмосферний тиск від 84 до 107 кПа;
- споживана потужність не більше 10 Вт;



- електроживлення  $220 \pm 10\%$  з частотою 50 Гц;
- час прогріву не більше 6 хвилин;
- час спрацювання не більше 40 секунд;
- габаритні розміри (висота, довжина, ширина) 80x165x40 мм;
- маса не більше 0,4 кг.

#### 2.3.4 Сигналізатор загазованості Варта 2

Сигналізатор Варта 2 (рисунок 2.6) є стаціонарним пристроєм, в якому потрапляння повітря контрольованого середовища приміщення до чутливого елемента вимірювання концентрації газу відбувається природним способом.



Рисунок 2.6 - Сигналізатор Варта 2-03

Чутливим елементом в даному випадку в залежності від модифікації приладу може виступати напівпровідник або термохімічний елемент. В сигналізаторах загазованості Варта 2 використовуються газові давачі виробництва Японії, мікроконтролер фірми Atmel, активні і пасивні компоненти провідних світових фірм Philips, Siemens, Bourns, Panasonic, Motorola. Термін експлуатації їх не менше ніж 8 років.

До переваг приладу слід віднести наступні:

- збільшення ресурсу роботи сигналізатора загазованості без заміни чутливого елемента до 15 років;

- зменшення у 2,5 - 3,5 рази споживання електроенергії при роботі сигналізатора;
- покращення вибіркової в результаті визначення контрольованого газу в робочому середовищі;
- менша чутливість до парів розчинників і т. ін.

Також до переваг сигналізаторів даного типу можна віднести можливість працювати з будь-якими типами відсічних клапанів, а також сигнальних пристроїв. Дані пристрої оснащені мікропроцесорною системою обробки вхідної інформації та самодіагностики, мають вбудовану світлову індикацію, а також звукову сигналізацію яка інформує про перевищення в робочому середовищі гранично допустимих концентрацій вибухонебезпечних та отруйних газів.

Лінійка модифікації сигналізатора Varta 2 включає наступні прилади.

Варта 2-01 - це сигналізатор природного газу, в якому існує можливість управління трьома зовнішніми приладами.

Варта 2-02 це є сигналізатор чадного газу, в якому існує можливість управління двома зовнішніми виконавчими пристроями.

Варта 2-03 це комбінований сигналізатор метану та чадного газу, в якому існує можливість управління чотирма зовнішніми виконавчими приладами.

Якщо до позначення приладу додається буква А (наприклад, Варта 2-03 А) , то це означає, що сигналізатор постачається вбудованим акумулятором для електроживлення сигналізатора, якщо зникне напруга.

Якщо до позначення сигналізатора додається буква Б, це означає, що даний сигналізатор спрощеної конструкції, в якому відсутня можливість управління зовнішніми виконавчими пристроями.

Якщо до позначення сигналізатора додається буква П, це означає, що сигналізатор живиться від напруги 12 В змінного або постійного струму.

Технічні характеристики сигналізаторів Варта 2:

- поріг спрацьовування: метан - %НПКР 20+5, окис вуглецю – об'ємна частка, % 0,005+0,002;
- споживча потужність не більше 5,5 Вт;

- габаритні розміри не більше 120 x 120 x 55 мм;
- середнє напрацювання на відмову 30 000 годин;
- повний середній термін експлуатації не менше 10 років;
- ступінь захисту від зовнішнього впливу IP30;
- робочий діапазон температур від +1 до +40° С;
- параметри комутованих електричних кіл: напруга 250 В, струм до 5 А.

Прилади Варта 2 оснащені імпульсним джерелом живлення, що дає їм змогу працювати в широкому діапазоні напруги живлення змінного струму від 120 до 275 В. Це дає змогу застосовувати його при значних перепадах напруги в мережі.

Схема підключення зовнішніх виконавчих пристроїв напругою 220 В з роздільною сигналізацією за СО і СН<sub>4</sub> наведена на рисунку 2.7

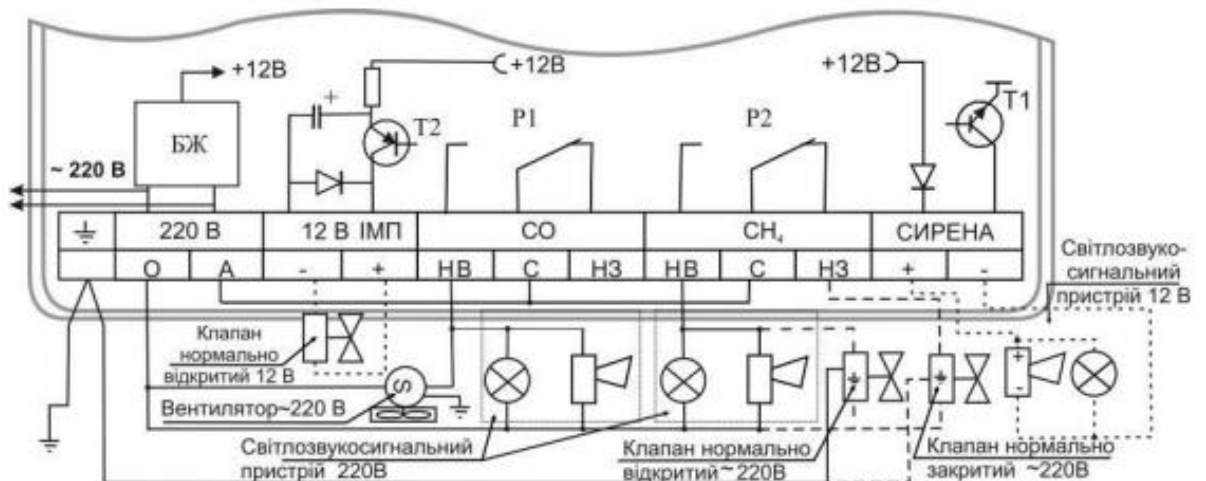


Рисунок 2.7 - Схема підключення зовнішніх виконавчих пристроїв напругою 220 В з роздільною сигналізацією за СО і СН<sub>4</sub>

Сигналізатори "ВАРТА 2" внесені до Державного реєстру засобів вимірювання України з 2001 р. та мають дозвіл Держгірпромтехнагляду України до застосування з 2001 р.

## 3 СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ КОРЕКЦІЇ СТАНУ ПОВІТРЯ

### 3.1 Опис об'єкта автоматизації

Об'єктом автоматизації є стан повітря робочого середовища побутового приміщення. Побутове приміщення можливо бути будь-якого призначення, де є необхідність контролювати параметри повітря робочого середовища.

В даній роботі в якості такого побутового приміщення обрано кухонне приміщення звичайної квартири, в якому встановлене газове обладнання (газова плита, газова колонка, газовий котел), в якому не виключена можливість потрапляння в робоче середовище шкідливих чинників, пов'язаних із роботою газового обладнання.

Насамперед, це чадний газ CO, який утворюється внаслідок неповного спалювання природного газу і пов'язаний, як правило, із неналежною якістю газу, несправністю газового обладнання, неналежною роботою вентиляційних каналів та каналів відведення продуктів згоряння.

Але чадний газ в будь-якому випадку виділяється при роботі газового обладнання і негативно впливає на здоров'я та самопочуття людей, які знаходяться в даному приміщенні. Цей параметр в будь-якому випадку необхідно контролювати і приймати міри щодо зниження його концентрації в повітрі робочого середовища шляхом залучення природного або штучного вентилявання приміщення.

Іншим небезпечним чинником є сам природний газ, переважну долю якого становить метан  $CH_4$ . Вміст цього газу в робочому середовищі також негативним чином впливає на здоров'я та самопочуття людей. До того ж наявність даного газу в повітрі приміщення в певних концентраціях спроможна призвести до пожежі і навіть вибуху.

Отже постає необхідність контролю та сигналізації вищеназваних параметрів стану повітря приміщення, з метою запобігання виходу їхніх значень за допустимі

межі, а також своєчасного усунення такої події за рахунок керування відповідними виконавчими механізмами.

Іншим завданням, яке ставиться перед розроблюваною системою, є своєчасне виявлення та сповіщення про виникнення пожежі в побутовому приміщенні, а також запуск системи пожежогасіння побутового приміщення.

### 3.2 Розробка функціональної схеми автоматизації

#### 3.2.1 Формування загальних вимог до системи автоматизації

Схема автоматизації повинна забезпечувати:

- контроль температури в побутовому приміщенні (в декількох місцях приміщення) з метою виявлення зростання останньої понад нормовані межі (виявлення пожежі);
- контроль полум'я всередині приміщення (виявлення пожежі);
- контроль рівня чадного газу CO в повітрі приміщення;
- контроль рівня природного газу CH<sub>4</sub> в повітрі приміщення;
- видача сигналу тривоги через звуковий та світловий сповіщувач у випадку виходу вимірюваних параметрів за встановлені межі;
- вмикання витяжної вентиляції у випадку досягнення рівня чадного газу CO в повітрі приміщення попереджувальної уставки;
- вмикання штучної вентиляції, перекриття клапану подачі газу у випадку досягнення рівня природного газу CH<sub>4</sub> в повітрі приміщення попереджувальної уставки.
- перекриття клапану подачі газу, вимикання штучної вентиляції, подача тривожного сигналу про пожежу на пульт пожежного контролю ДСНС, подача керуючого сигналу на виконавчий механізм системи пожежогасіння у випадку виявлення зростання температури в приміщенні понад нормовані межі, спрацювання давача контролю полум'я.

Функції контролю рівня загазованості приміщення, керування сигналізацією та станом запірною газового клапана виконуються сигналізатором Варта-2.03А.

Натомість визначення пожежі, керування виконавчим механізмом пожежогасіння, витяжною вентиляцією, алгоритм роботи якої пов'язаний з наявністю або відсутністю пожежі, покладено на розроблювані модулі системи корекції стану повітря.

Більш детально дані вимоги сформовані в таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Вимоги для розроблення системи автоматизації

№	Параметр, місце відбору сигналу	Вид автоматизації	Характер контролю чи управління	Засоби контролю та управління, реалізація управляючої дії
1	Температура всередині корпусу Варта 2-03А	Контроль	Сигналізація	Варта 2-03А. Сигнал про несправність сигналізатора
2	Рівень чадного газу СО в повітрі приміщення, в верхній частині приміщення, на висоті 180 см.	Контроль	Відображення, реєстрація, сигналізація,	Варта 2-03А, сервер
		Регулювання	Стабілізація	Вмикання штучної вентиляції, перекриття клапану подачі газу
3	Рівень природного газу СН <sub>4</sub> в повітрі приміщення, в верхній	Контроль	Відображення, реєстрація, сигналізація,	Варта 2-03А, сервер

	частині приміщення, на висоті 180 см.	Регулювання	Стабілізація	Вмикання штучної вентиляції, перекриття клапану подачі газу
4	Температура повітря всередині приміщення, в протилежних кутах приміщення, в верхній частині приміщення, на висоті 180 см .	Контроль	Відображення, реєстрація, сигналізація	Варта 2-03А, мікроконтролер, сервер
		Регулювання	Стабілізація	Вимикання штучної вентиляції, перекриття клапану подачі газу, вмикання системи пожежогасіння
5	Наявність полум'я всередині приміщення, в верхній частині приміщення, над віконним блоком	Контроль	Відображення, реєстрація, сигналізація	Варта 2-03А, мікроконтролер, сервер
		Регулювання	Стабілізація	Вимикання штучної вентиляції, перекриття клапану подачі газу, вмикання системи пожежогасіння

### 3.2.2 Розроблення схеми автоматизації

Функціональна схема автоматизації представлена на кресленні (СУ.мдн-32п.174.01 С2). Елементи схеми представлені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Елементи функціональної схеми автоматизації

Номер на схемі	Позначення елемента	Найменування
1	TE	Первинний вимірювальний перетворювач, встановлений на місці, вимірювання температури всередині корпусу Варта-2.03А
2	QE	Первинний вимірювальний перетворювач, встановлений на місці, вимірювання рівня чадного газу CO в повітрі приміщення (в складі Варта-2.03А)
3	QE	Первинний вимірювальний перетворювач, встановлений на місці, природного газу CH <sub>4</sub> в повітрі приміщення (в складі Варта-2.03А)
4	QSA	Пристрій звуковий сигналізуючий (в складі Варта-2.03А)
5	QSA	Пристрій світловий сигналізуючий (в складі Варта-2.03А)
6	NS	Пристрій включення – відключення, відкриття-закриття запірною газового клапана (в складі Варта-2.03А)
7,8	TE	Первинний вимірювальний перетворювач, встановлений на місці, вимірювання температури всередині



		приміщення – контроль пожежі
9	BE	Первинний вимірювальний перетворювач, встановлений на місці, контроль полум'я всередині приміщення – контроль пожежі
10	NS	Пристрій включення – відключення примусової вентиляції
11	NS	Пристрій включення – відключення керування спрацювання системи пожежогасіння

### 3.4 Вибір засобів автоматизації

#### 3.3.1 Модуль давача полум'я KY-026

Модуль датчика полум'я KY-026 (рисунок 3.1) дозволяє виявляти вогонь або джерело світла із довжиною хвилі 760 ~ 1100 нм. Робоча напруга 3.3 - 5 В. Впевнено виявляє полум'я на відстані до 80 см. Кут спрацювання до 60 градусів. Чутливість регулюється вбудованим потенціометром. За наявності полум'я на виході датчика логічний 1. За відсутності полум'я - логічний 0.

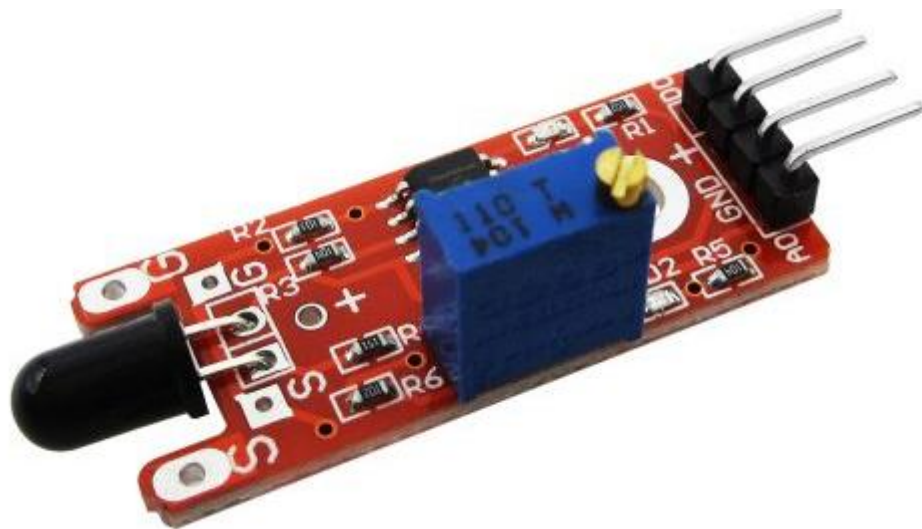


Рисунок 3.1 - Модуль давача полум'я KY-026

Модуль KY-026 має чотири виводи і дозволяє зчитувати цифрові та аналогові сигнали.

Модуль містить інфрачервоний світлодіод 5 мм, компаратор на мікросхемі LM393, підстроювальний резистор 3296W, шість резисторів та два світлодіодні індикатори. Світлодіод L1 показує включення живлення, світлодіод L2 повідомляє про спрацювання датчика та формування на виході D0 високого рівня.

Робоча напруга: 3.3-5.5V

Підключення: A0 – аналоговий вихід, G – загальний провід, + – живлення, D0 – цифровий вихід сигналу, що має логічні рівні.

### 3.4.1 Мікроконтролер ESP8266

Модуль ESP8266 — мікроконтролер, розроблений у 2014 році та виготовлений китайською компанією Espressif Systems із Шанхаю (рисунок 3.2). Це мережеве рішення з трансивером Wi-Fi на борту та можливістю запуску додатків, записаних у його пам'ять.



Рисунок 3.2 - Мікроконтролер ESP8266

Існує багато модифікацій плат, які зазвичай іменуються від ESP-01 до ESP-12. Зараз є інші назви плат від сторонніх розробників. Відмінності плат в основному полягають у портах введення-виведення, обсязі флеш-пам'яті, типі

роз'ємів і т. д. Процесор однаковий, тому з точки зору програмування не має значення, яку плату програмувати.

Технічні характеристики мікроконтролера ESP8266 наведені в пункті 4.1.

ESP8266 розроблений таким чином, що він може використовувати підключений до нього модуль пам'яті, зазвичай це флеш-пам'ять. Кількість циклів перезапису в такій пам'яті становить 10 000 разів.

Підключення до ESP8266.

ESP8266 є Wi-Fi пристроєм, тобто є можливість підключитися до нього через Wi-Fi, але перед цим його слід налаштувати.

Для спрощення роботи з модулем на етапі програмування та налагодження програми можна використовувати послідовний порт (UART). ESP8266 має для цього спеціальний послідовний порт - два порти, позначені Rx і Tx. Tx використовується для передачі даних, а Rx використовується для отримання. Ці порти підключають модуль до відповідних портів партнера. Найзручніше підключити цей порт до комп'ютера через адаптер USB-UART. За допомогою цього підключення є можливість надсилати команди модулю з програми терміналу безпосередньо з клавіатури та отримувати відповіді від модуля в терміналі або писати програму в модуль.

При підключенні через UART слід встановити однакову швидкість порту. Під час завантаження модуль ESP8266 намагається автоматично визначити швидкість підключення пристрою-партнера та встановити її для себе.

Модуль ESP8266 також має другий послідовний порт (рисунок 3.5). Його основне призначення — виведення діагностичної та налагоджувальної інформації. Це може бути дуже корисним під час перевірки програми. Вивід Tx другого послідовного порту мультиплексується з виводом GPIO2.

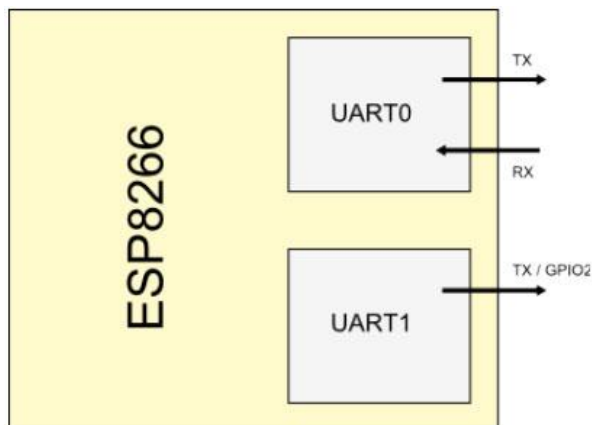


Рисунок 3.3

### 3.3.3 Витяжний вентилятор Вентс 100 М

В якості пристрою корекції стану повітря обрано витяжний вентилятор Вентс 100 М (рисунок 3.4) — настінний витяжний вентилятор з міцним корпусом, простим керуванням, частотою обертання 2300 об/хв. Виробником передбачена лише одна швидкість, тому не потрібно перемикати режими. Прилад сприяє правильному повітрообміну у приміщеннях. Підходить для кухонь, комор, ванних та душових кімнат.

Прилад підключається до мережі зі стандартною напругою до 230 В. Під час роботи споживає мінімальну кількість електричної енергії. Прийнятна ціна витяжного вентилятора Вентс 100 М поєднується з іншими перевагами, до яких належать: широкий діапазон температур повітря, середній рівень шуму, захищений від перегріву, розрахований на безперервне функціонування.



Рисунок 3.4 - Витяжний вентилятор Вентс 100 М

Основні характеристики:

Бренд Вентс;

Країна реєстрації бренду Україна;

Витрата повітря 98 м<sup>3</sup>/год;

Рекомендована площа приміщення 5 м<sup>2</sup>;

Частота обертів 2300 об/хв;

Споживана потужність 14 Вт;

Рівень шуму вентилятора 34 дБ;

Шум від вентилятора від 28 до 35 дБ;

Тип осьовий;

Мінімальна температура переміщуваного повітря 1 °С;

Максимальна температура переміщуваного повітря 40 °С;

Кількість швидкостей 1;

Електроживлення 230 В;

Частота струму 50 Гц, 60 Гц;

Клас захисту IP34.

### 3.3.4 Клапан запірний MP16/RM

Електромагнітні газові запірні двопозиційні нормально закриті клапани M16/RM (рисунок 3.5) призначені для автоматичного перекриття подачі неагресивних сухих газів, у тому числі вибухонебезпечних, легкозаймистих і токсичних.



Рисунок 3.5 - Клапан запірний MP16/RM

Електромагнітний клапан серії M16/RM NC - швидкодіючий, нормально закритий клапан, який спрацьовує при знятті напруги з котушки клапана. При подачі напруги клапан відкритий.

Клапани серії M16/RM NA є запобіжними, тому повторна установка клапана в робоче положення після автоматичного спрацьовування можлива тільки після усунення причин його спрацьовування та ручного взведення штока клапана. Клапан призначений для використання в якості запірно-регулюючого елемента трубопроводів і газопальникових пристроїв з тиском до 0,6 МПа.

### 3.3.5 Модуль газового пожежогасіння Бранд Майстер Імпульс-14

В якості прикладу установки пожежогасіння пропонується використання модуля газового пожежогасіння Бранд Майстер Імпульс-14 (рисунок 3.6).



Рисунок 3.6 - Модуль газового пожежогасіння Бранд Майстер Імпульс-14

Стационарний модуль газового пожежогасіння призначений для гасіння газовими вогнегасними з'єднаннями пожеж класу А (тверді речовини), В (рідкі речовини), С (газоподібні речовини) і електрообладнання, що знаходиться під напругою. Використовується для пожежогасіння невеликих приміщень: невеликі серверні, архіви, електричні щитові, сховища, дизель-генераторні установки, машинні відділення ліфтів, станції мобільного зв'язку, бібліотеки.

Коли модуль запускається, його термочутлива колба руйнується, після чого газ під впливом надлишкового тиску випускається в зону пожежі через

встановлений запірно-пусковий пристрій (ЗПП). Це сприяє заповненню місця загоряння інертним середовищем, що охолоджує його, припиняє доступ кисню і таким чином локалізує і гасить пожежу.

Ключові властивості та можливості

- Швидка локалізація та гасіння пожеж класів А, В, С та електроустаткування під напругою.
- Місткість модуля 14 л, робочий тиск 25 бар.
- Тип газової вогнегасної речовини: хладон 125 (HFC 125), хладон 227ea (HFC 227ea), FK-5-1-12.
- Спосіб запуску модуля в дію піротехнічний – спрацьовує при подачі електричного імпульсу від приладу приймально-контрольного пожежного на запуск піротехнічного пускача автоматичного модуля газового пожежогасіння. Піротехнічний пускач у свою чергу руйнує термочутливу колбу з подальшим спрацюванням запірно-пускового пристрою.

Модуль відповідає вимогам ДСТУ 4095-2012, ДБН В.2.5-56:2014.

Автоматичний пуск здійснюється за рахунок автоматичної пожежної сигналізації (прилад керування пожежогасінням, датчики). Прилад керування пожежогасінням у разі виявлення пожежі формує імпульс на запуск піротехнічного пускача автоматичного модуля газового пожежогасіння. Піротехнічний пускач у свою чергу руйнує термочутливу колбу з подальшим спрацюванням запірно-пускового пристрою.

Автономний пуск відбувається під час перевищення температури робочої зони понад встановлені межі. Після чого відбувається відкриття запірно-пускового пристрою.

## 4 ОПИС ІНТЕРФЕЙСНОГО МОДУЛЯ-ПЕРЕТВОРЮВАЧА ДЛЯ СИГНАЛІЗАТОРА «ВАРТА 2-03А»

Як відомо з технічної документації на сигналізатор «ВАРТА 2-03А», у нього є ряд ключових захисних та діагностичних функцій, а саме:

- Контроль значення концентрації угарного газу (CO) у приміщенні;
- Контроль значення концентрації метану (CH<sub>4</sub>) у приміщенні;
- Контроль значення температури у корпусі приладу;
- Звукове сповіщення при перевищенні значень концентрацій відповідних газів над нормою;
- Видача керуючого сигналу для спрацювання відсічного клапану природного газу у системі подачі.

Слід зауважити, що прилад не має функціоналу щодо передавання перелічених даних у мережу і потребує розширення відповідних можливостей за рахунок використання зовнішнього приладу, наприклад, додаткового інтерфейсного модуля-перетворювача.

Значення миттєвих концентрацій, порогових значень для формування сигналів звукового сповіщення та для спрацювання відсічного клапана, а також сервісні данні миттєвого стану приладу можна отримати безпосередньо з приладу, використавши його вбудований сервісно-технологічний роз'єм «ХР4». Але треба розуміти, що відповідна комунікація на стороні приладу реалізована за протоколом DCON, таблицю ключових команд якого наведено нижче (див. таблицю 4.1).



Таблиця 4.1 - Список команд, що подаються на технологічний роз'єм «ХР4» сигналізатора «ВАРТА 2-03А» для отримання інформації про стан сигналізатора

<i>Команди доступу до даних:</i>		
<i>Назва команди</i>	<i>Код команди</i>	<i>Дані що отримуються</i>
<i>CMD_Read_Name</i>	<i>0x02</i>	<i>Назва прилада (наприклад: "Varta 2.03A")</i>
<i>CMD_Read_Vers</i>	<i>0x03</i>	<i>Номер версії програмного забезпечення ("ver2.8")</i>
<i>CMD_Read_Serial</i>	<i>0x04</i>	<i>Серійний номер прилада (2 байта)</i>
<i>CMD_Read_Clb_Time</i>	<i>0x05</i>	<i>Дата останнього калібрування (2 байта)</i>
<i>CMD_Read_CH_Level</i>	<i>0x06</i>	<i>значення напруги отриманої з сенсора метану (2 байта)</i>
<i>CMD_Read_CO_Level</i>	<i>0x07</i>	<i>значення напруги отриманої з сенсора чадного газу(2 байта)</i>
<i>CMD_Read_CH_Clb_Level</i>	<i>0x08</i>	<i>Калібровочне значення напруги спрацювання тривоги за метаном (2 байта)</i>
<i>CMD_Read_CO_Clb_Level</i>	<i>0x09</i>	<i>Калібровочне значення напруги спрацювання тривоги за чадним газом (2 байта)</i>
<i>Швидкість: 9600, Контроль парності відсутній, контрольних сум нема.</i>		

Щодо структури пакету даних, які передаються та отримуються, як відповідь на команду, то вони мають вигляд наведений в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2

Формат команди (два байти)	Формат відповіді
перший байт - код команди, другий байт 0x00;	перший байт – кількість байт у відповіді, останній байт – 0x00;
Додаткові дані	
<p><i>CMD_Read_Name</i>, <i>CMD_Read_Vers</i>, <i>CMD_Read_Serial</i>,  <i>CMD_Read_Clb_Time</i> – символи ASCII;</p> <p><i>CMD_Read_CH_Level</i>, <i>CMD_Read_CO_Level</i> - <i>returned bytes lenght + CH level + Temperature</i>;</p> <p><i>CH level</i> - 2 байти. Число від 0 до 0x3FF;</p> <p><i>Temperature</i> - 2 байти. Температура в районі сенсору по формулою <math>T=N*10 - 200</math>;</p> <p><i>CMD_Read_CH_Clb_Level</i> - <i>returned bytes lenght + CH calibrate level + CO calibrate level</i></p> <p><i>CMD_Read_CO_Clb_Level</i> - <i>returned bytes lenght + CO 50ppm calibrate level + CO 100ppm calibrate level + CO 300 ppm calibrate level</i>;</p> <p>У приладах без індексу «Н»: <i>CO 50ppm calibrate level = CO 100ppm calibrate level = CO 300 ppm calibrate level</i>;</p> <p><i>XX_calibrate level</i> – 2 байти. Число від 0 до 0x3FF значення спрацювання, відкаліброване за повірочною газовою сумішшю;</p> <p><i>CMD_CH_Alarm</i> – викликає спрацювання реле, імпульсу для відсічного клапану, сирени та світлодіоду CH;</p> <p><i>CMD_CO_Alarm</i> – викликає спрацювання реле, сирени та світлодіоду CO;</p> <p><i>CMD_Manual_off</i> – перериває ручне керування та повертає прилад у режим чергування. Якщо не подати цю команду на прилад, то він вернеться в режим чергування самостійно через 1 хв.</p>	

#### 4.1 Апаратна реалізація інтерфейсного модуля-перетворювача

Головною особливістю ключового пристрою системи керування станом повітря приміщення є те, що він побудований на основі мікроконтролера компанії Espressif Systems ESP8266 з вбудованим інтерфейсом Wi-Fi. Важливі технічні характеристики мікроконтролера ESP8266 наступні:

- Напруга живлення: 3,3 В
- Енергоспоживання: 10 мкА...170 мА
- Флеш-пам'ять: до 16 мб максимум
- Процесор: Tensilica L106, 32 бита
- Швидкість процесора: 80...160 МГц
- ОЗП: 32 кб + 80 кб
- Порти введення-виведення загального призначення: 17 (мультиплексуються з іншими функціями)
- АЦП: 1 ввід с розширенням 1024
- Підтримка 802.11: b/g/n/d/e/i/k/r
- Максимальна кількість підключень TCP: 5

Цей інтерфейсний пристрій розроблявся на кафедрі комп'ютеризованих систем управління Сумського державного університету. Скорочена схема підключення пристрою наведена на рисунку 4.1 .

Основний функціонал прототипованого інтерфейсного модуля складається з наступних ключових елементів:

1) Плата налаштування на основі мікроконтролера ESP8266, в якій на рівні коду реалізована можливість приймання даних за провідним інтерфейсом (протокол DCON) та ретрансляція даних через інформаційно-керуючі мережі за допомогою GET-запиту та мережевого протоколу TCP/IP.

2) Функція отримання довідкової та сервісної інформації по послідовному UART інтерфейсу.

3) Функція швидкого пошуку модуля в мережі за протоколом DNS (Domain Name System).

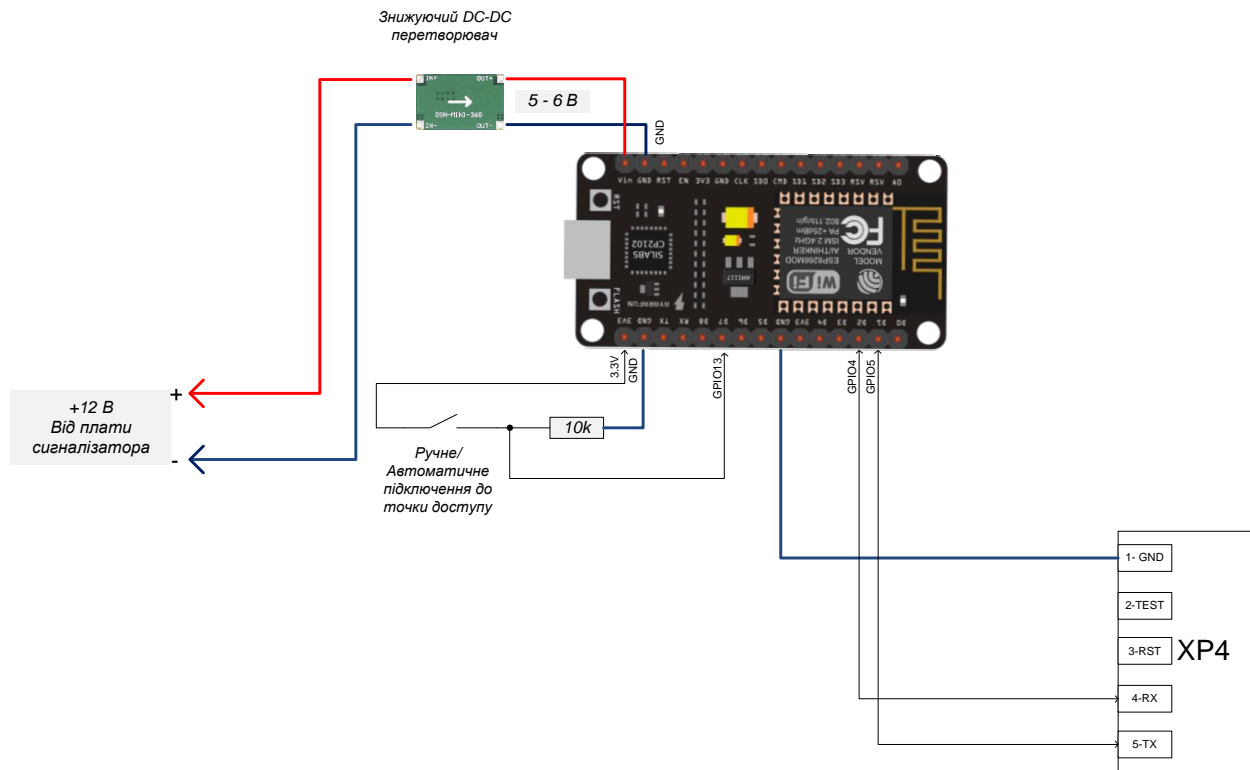


Рисунок 4.1 - Схема підключення сигналізатора ВАРТА 2-03А до відлагодної плати ESP8266 12F NodeMCU

#### 4.2 Структура коду прошивки інтерфейсного модуля-перетворювача

Створення програми роботи модуля здійснювалось в середовищі Arduino IDE, тобто основна програма пристрою реалізована у фреймворку Wiring, який є спрощеним діалектом мов програмування C/C++. Код прошивки модуля реалізовано у відповідності до наступної функціональної структури:

1) Частина «Back End» Бібліотечна реалізація web-оболонки модуля, бібліотечна реалізація підключення модуля до інформаційно-керуючої мережі та переключення модуля між AP/STA режимами, бібліотечна реалізація DNS протоколу

2) Виклик основних функцій DCON протоколу за дротовим інтерфейсом у відповідності до таблиці 4.1.

3) Ручна реалізація функцій для роботи з GET-запитами до сервера, частина сервісних повідомлень модуля.

Якщо проілюструвати перелічену вище функціональну структуру коду прошивки інтерфейсного модуля, то на рисунках 4.2-4.4 наведено скріншоти ключових елементів відповідної структури.

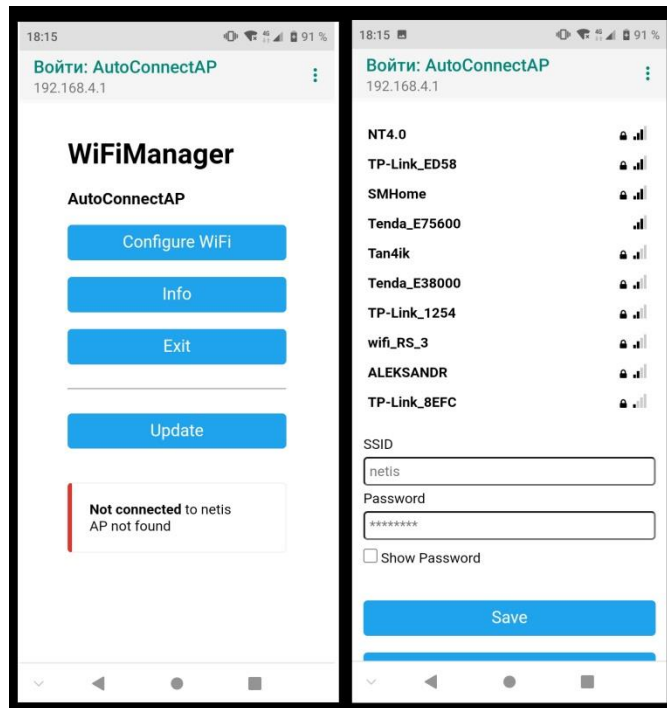


Рисунок 4.2- Web-оболонка інтерфейсного модуля

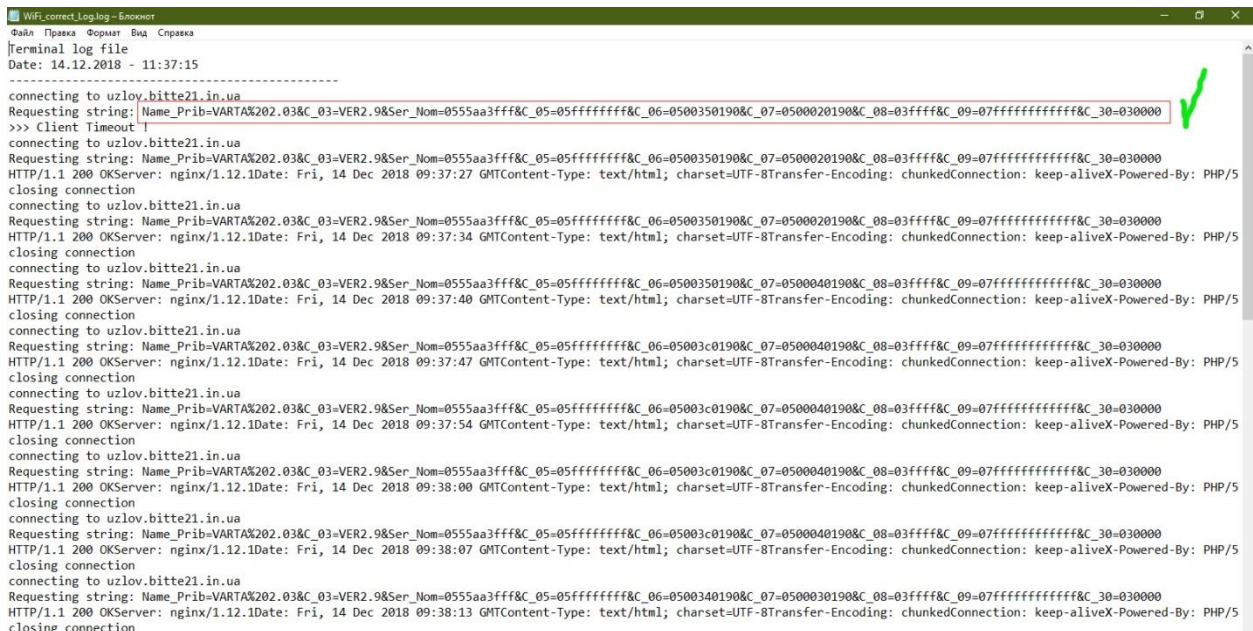


Рисунок 4.3 – Результат редіректінга інтерфейсним модулем даних з сигналізатора «ВАРТА 2-03А» на зовнішній сервер через GET-запит

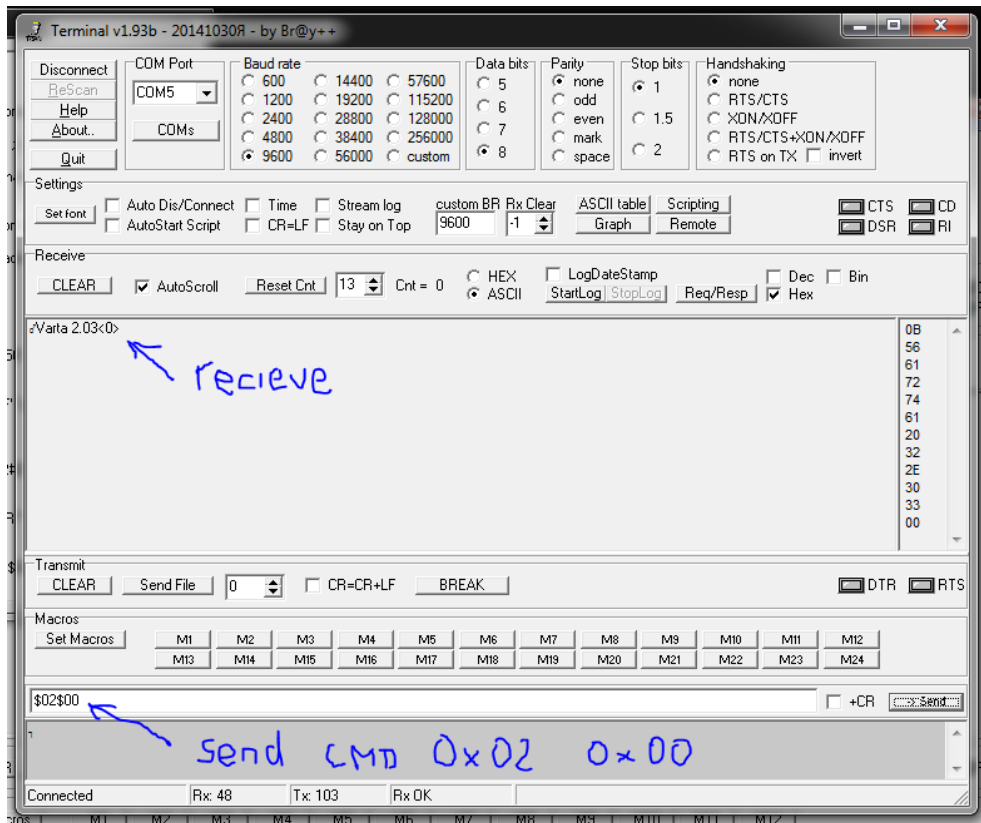


Рисунок 4.4 – Приклад формування сигналізатором «ВАРТА 2-03А» відповідей на команди інтерфейсного модуля за протоколом DCON

## 5 ОРГАНІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧОЇ ВЗАЄМОДІЇ В СИСТЕМІ КЕРУВАННЯ

Детальний аналіз функціональних можливостей сигналізатора «ВАРТА 2-03А» дозволив зробити висновок, що його засобів не достатньо для завершеної структури системи керування якістю повітря у побутовому приміщенні з газовим обладнанням. Перш за все, відповідні висновки можна пов'язати з тим фактом, що при розширенні його (сигналізатора) базової системи до рівня, де буде враховано можливість попередження локального загорання окремих речей у побутовому приміщенні та запобіганню розповсюдження відповідного полум'я, вбудований алгоритм включення витяжної вентиляції сигналізатором не є оптимальним. Це пов'язано з тим фактом, що якщо локальне загорання вже сталося, то треба навпаки своєчасно запобігти притоку свіжого повітря до приміщення, щоб не підсилювати полум'я.

Прийнято рішення не використовувати базовий вбудований алгоритм сигналізатора у випадках, коли пожежонебезпечну подію було детектовано, а використати додатково IoT-модулі розробки кафедри комп'ютеризованих систем управління Сумського державного університету (див. додаток Б, [16]).

Слід зазначити, що відповідних додаткових IoT-модулів потрібно використати у кількості 2 штуки, причому один з яких потрібно доукомплектувати сенсором наявності полум'я, що, в свою чергу, призведе до певного розширення адресного простору відповідного засобу за протоколом ModBus TCP на одне значення (див. таблицю 5.1). Тоді, відповідно, структура відповідної інформаційно-керуючої мережі повинна відповідати такій, як наведено на рисунку 5.1.

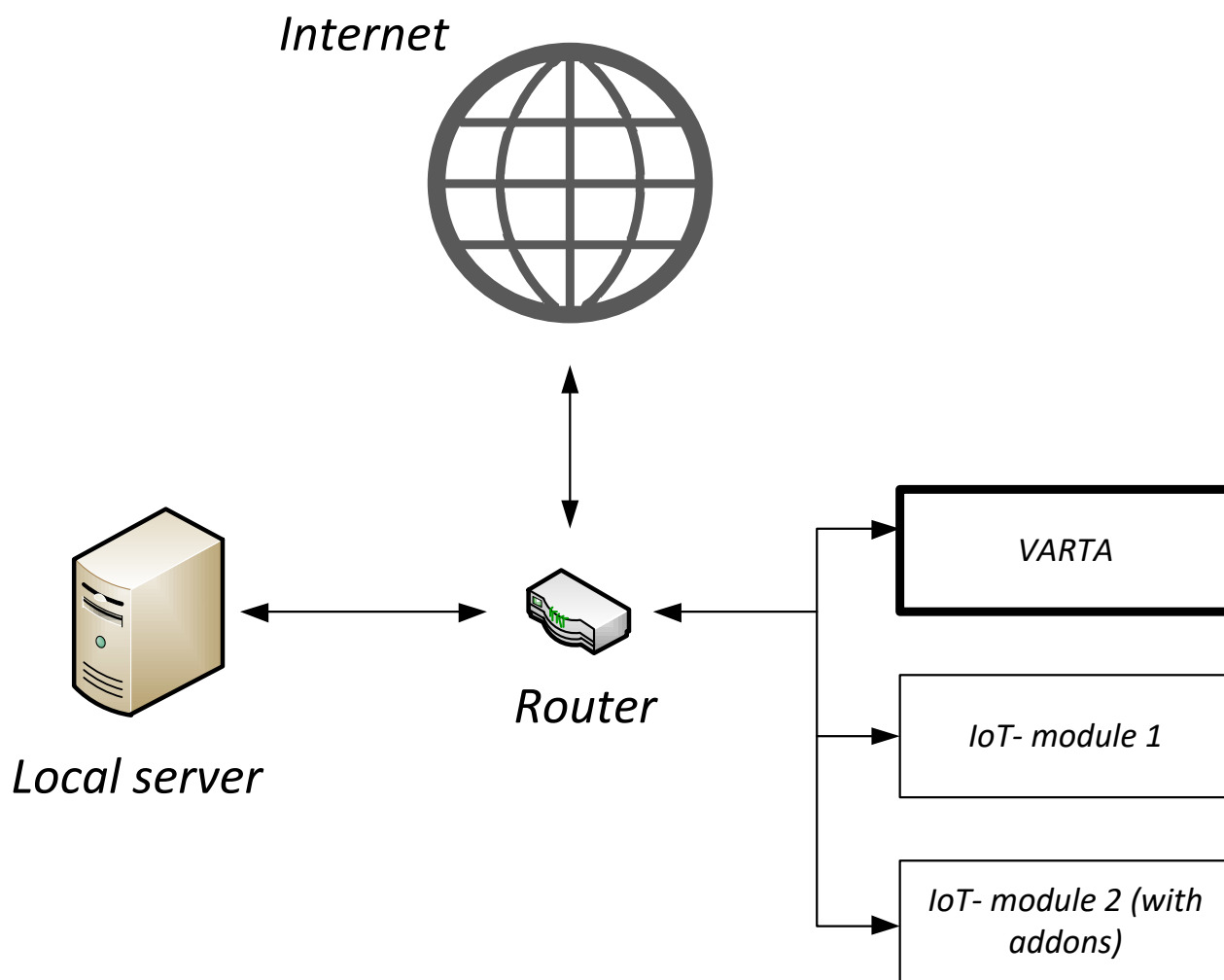


Рисунок 5.1 – Структурна схема інформаційно-керуючої мережі для керування та корекції якості повітря у побутовому приміщенні з газовим обладнанням

*Адресний простір ключових елементів інформаційно-керуючої мережі для керування та корекції якості повітря у побутовому приміщенні з газовим обладнанням*

Якщо узагальнити структуру мережі до рівня адресної та протокольної структури, то щодо окремих ключових пристроїв відповідну архітектуру можна проілюструвати таблицею, наведеною нижче (див. таблицю 5.1).

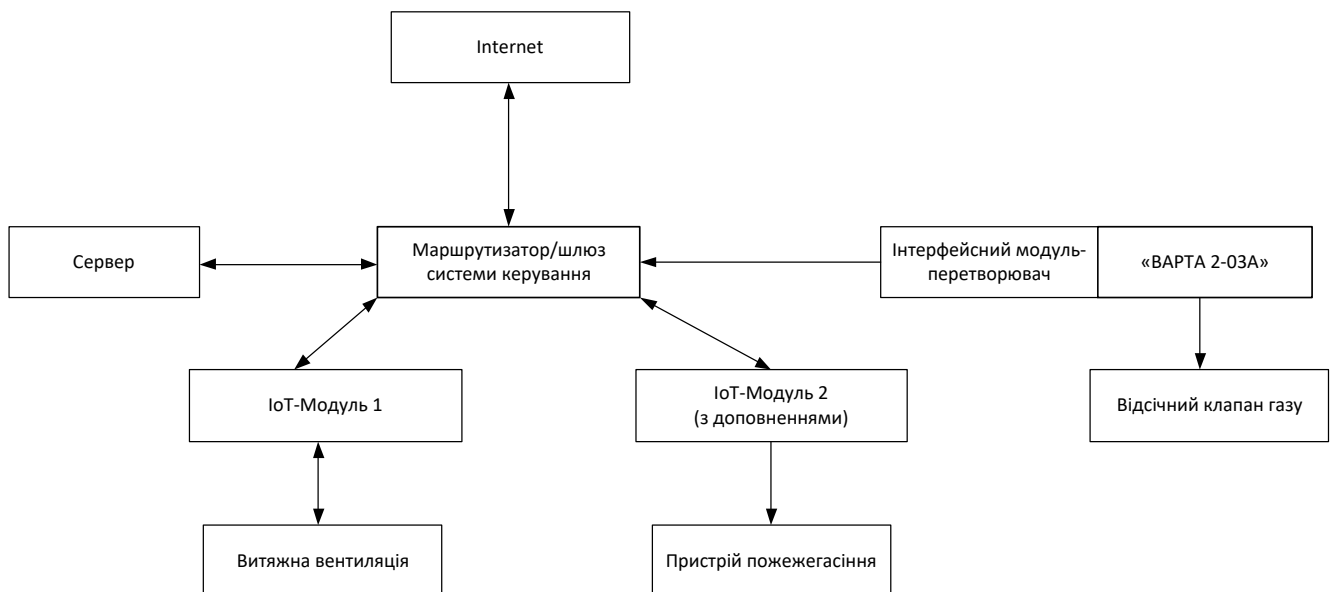


Таблиця 5.1

Протокол	Порт	Назва змінної	Тип змінної, адреса	Тип підпорядкування, ID
VARTA («ВАРТА 2-03А»)				
GET-request	80	Концентрація СН, Критична концентрація СН, Концентрація СО, Критична концентрація СО, Температура у корпусі приладу, Змінна загального стану приладу	Request, <Chip_IP>	Client
DNS	80	Request	Request, <Chip_IP>	Station
IoT – пристрій 1				
ModBus TCP	502	Температура	INPUT REGISTER, 0	Slave, 1
ModBus TCP	502	Включення/виключення витяжної вентиляції	COIL, 0	Slave, 1
TCP/IP	80	Update file	Binary	Client
mDNS	80	Request	Request, <Chip_ID>- esp8266.local/	Client
IoT – пристрій 2 (з доповненнями)				
ModBus TCP	502	Температура	INPUT REGISTER, 0	Slave, 1

ModBus TCP	502	Включення пристрою пожежегасіння	COIL, 0	Slave, 1
ModBus TCP	502	Наявність полум'я	COIL, 1	Slave, 1
TCP/IP	80	Update file	Binary	Client
mDNS	80	Request	Request, <Chip_ID>- esp8266.local/	Client

Відповідно, схема інформаційних потоків у системі керування (враховуючи адресний простір споріднених до сервера пристроїв) повинна мати вигляд наведений на рисунку 5.2.



Рисунком 5.2 - Схема інформаційних потоків у системі керування та корекції якості повітря у побутовому приміщенні з газовим обладнанням

Узагальнюючи інформацію наведену в таблиці 5.1 та на рисунку 5.2 можна констатувати наступне:

- Сигналізатор на основі внутрішніх вимірювань концентрацій відповідних газів вмикає або вимикає відсічний клапан за умови перевищення цих значень за значення нормальних концентрацій. Всю негайно отриману інформацію про стан повітря у приміщенні, а також про внутрішній стан самого приладу, та штатність його роботи він передає через розроблений інтерфейсний модуль (через GET-запит) до серверу для подальшого опрацювання. Іншого прямого впливу в системі керування на відсічний клапан не має жоден прилад (лише, за необхідності, сервер через спеціально організовану команду до інтерфейсного модуля). Керування витяжною вентиляцією від «ВАРТА 2-03А» не використовується.

- Перший та другий IoT-модулі взаємодіють з сервером за ModBus TCP протоколом і, відповідно, на сервері формуються керуючі сигнали (на основі реалізованих в ньому алгоритмів) для двигуна витяжної вентиляції, яка працює за принципом «On-Off» (бюджетний варіант), а також для пристрою пожежогасіння в приміщенні.

- Наявність в приміщенні осередку локального займання негайно виявляється за значеннями температур, виміряними та переданими до серверу з IoT-модулів, значенням температури та концентрації CO у корпусі сигналізатору, а також за показами датчика полум'я у другому (з доповненнями) IoT-модулі.

- Сервер (через вбудований веб-інтерфейс) здатний через глобальну мережу забезпечувати дистанційний моніторинг та контроль стану повітря, а також нормальної роботи всіх елементів системи керування в реальному часі та передавати негайно зворотній вплив у систему керування.

## 6 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ ВИТЯЖНОЮ ВЕНТИЛЯЦІЄЮ ПОБУТОВОГО ПРИМІЩЕННЯ З ГАЗОВИМ ОБЛАДНАННЯМ

### 6.1 Опис причино-наслідкових зв'язків в об'єкті керування

В даній роботі об'єктом керування зручніше взяти саме побутове приміщення та розглядати його на рівні відповідних причино-наслідкових зв'язків (рисунок 6.1) за методом, наведеним у роботі [17]. Враховуючи, що більш важливим (за відсутністю пожеже небезпечної ситуації) є контроль  $\text{CH}_4$ , вхідними параметрами будуть:

- Миттєва продуктивність витяжної вентиляції;
- Пропускна здатність каналу витяжної вентиляції.

Вихідними параметрами будуть:

- Концентрація  $\text{CH}_4$ ;
- Кількість прокачаної повітряної суміші.

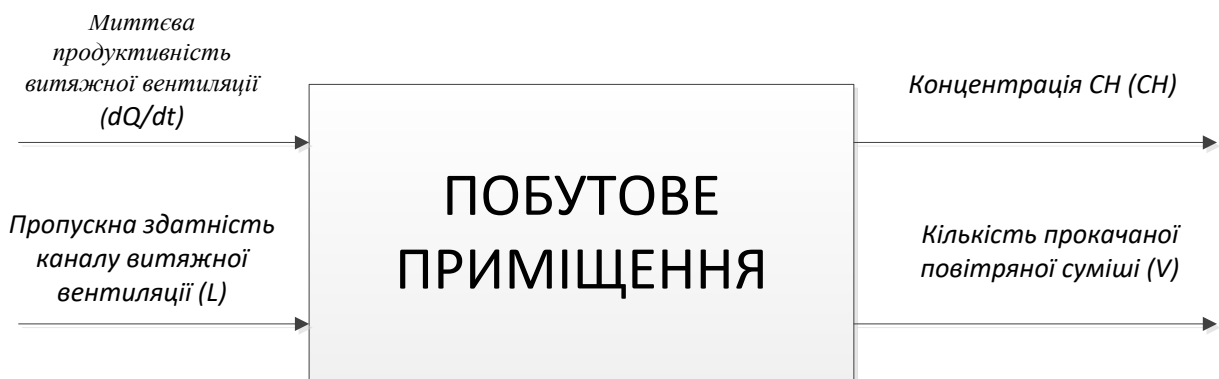


Рисунок 6.1 - Графічне представлення приміщення та його вхідних і вихідних параметрів

Спростити математичний опис цієї підсистеми дозволить ряд припущень, які забезпечать реалізацію відповідних причинно-наслідкових зв'язків, а саме:

1) Кількість повітряної суміші, яку треба прокачати для зниження концентрації СН ( $V$ ) до заданого значення концентрації ( $CH_n$ ) у пропорційній залежності з миттєвою продуктивністю витяжної вентиляції ( $dQ/dt$ ).

2) Процес зниження концентрації відповідного газу до заданого значення концентрації ( $CH_n$ ) є інерційний, тобто може бути описаний передатною функцією аперіодичної ланки першого порядку з постійною часу ( $T_R$ ) та коефіцієнтом перетворення  $k_R$ .

## 6.2 Структурна схема підсистеми вентиляції побутового приміщення

Враховуючи все сказане вище щодо формалізованого опису процесу керування якістю повітря у приміщенні, можна структурно представити відповідну підсистему у вигляді структурної схеми (рисунок 6.2).

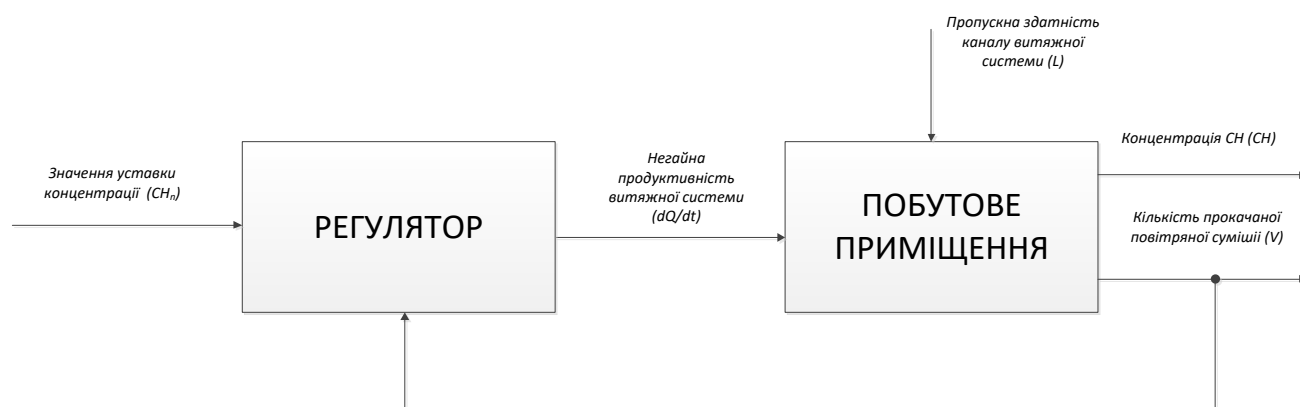


Рисунок 6.2 - Структурна схема контуру регулювання концентрації СН<sub>4</sub> в приміщенні

Головною особливістю практичної реалізації даної системи керування є те, що у якості основного виконуючого пристрою використовується система, побудована на основі двигуна змінного струму, швидкість обертання якого не підлягає плавному регулюванню (принцип «On-Off»), тому відповідне дозування кількості прокачаної повітряної суміші у часі можна реалізувати лише завдяки регламентованому повному включенню або виключенню відповідного двигуна.

Реалізація автоматичного керування буде здійснюється шляхом використання описаного раніше IoT-пристрою. Цей пристрій має вбудовані функції для його інтеграції в локальну мережу приміщення, виміру температури за місцем та релейного включення/виключення вентилятора. Передавання та обмін даними з зовнішнім сервером або сервісом забезпечуватиметься за промисловим протоколом ModBus TCP.

Бажане рішення, при керуванні за принципом «On-Off» [17], можна забезпечити, якщо ще на етапі моделювання відповідного контуру регулювання отримати адаптаційну характеристику, яка може бути використана у якості soft-реалізації одного з фундаментальних законів керування. В нашому випадку у якості опорного алгоритму керування буде використаний пропорційно-інтегрально-диференціальний, тому що він є найбільш універсальний.

Розподіл керуючих функцій цієї системи планується при реалізації зробити наступним чином:

- Soft - адаптація та моніторинг параметрів на сервері, який буде розташований в спільній локальній мережі;
- Безпосереднє вимірювання параметрів – сигналізатор «ВАРТА 2-03А», який буде розташований в спільній локальній мережі та оснащений описаним раніше інтерфейсним модулем.

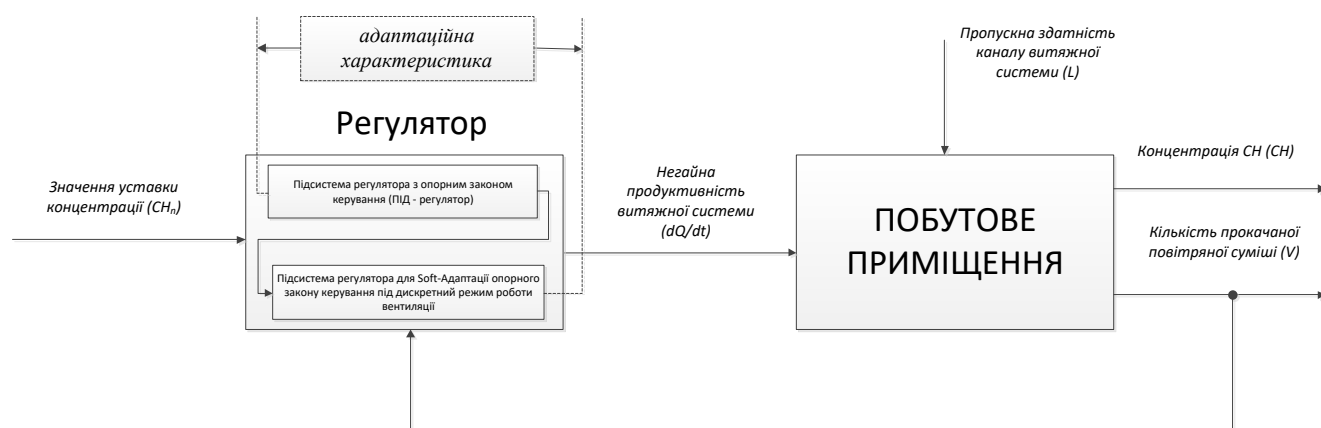


Рисунок 6.3 - Структурна схема контуру регулювання  $CH_4$  з адаптаційною характеристикою

### 6.3 Загальний опис роботи системи вентиляції в дискретному режимі

Для дозованої прокачки повітряної суміші в системі вентиляції, яка має можливість працювати лише в дискретному режимі (увімкнено/вимкнено), планується до реалізації наступний механізм:

- обирається безпечний часовий проміжок роботи системи вентиляції, на краях якого зміна робочого стану не є станом частого переключення (наприклад, 20 хв.);
- дозування прокачки повітряної суміші відбувається шляхом одноразової зміни стану на протязі вище описаного проміжку часу;
- відсоткове відношення часу роботи системи вентиляції до значення безпечного проміжку часу є дискретним еквівалентом аналогового керуючого сигналу.



Рисунок 6.4 - Циклограма безпечної роботи вентиляції у дискретному режимі

### 6.4 Моделювання процесу керування вентиляцією приміщення в середовищі MATLAB

Для моделювання процесу керування вентиляцією приміщення та аналізу ключових параметрів в середовищі MatLAB біла реалізована схема, що наведена на рисунку 6.5.

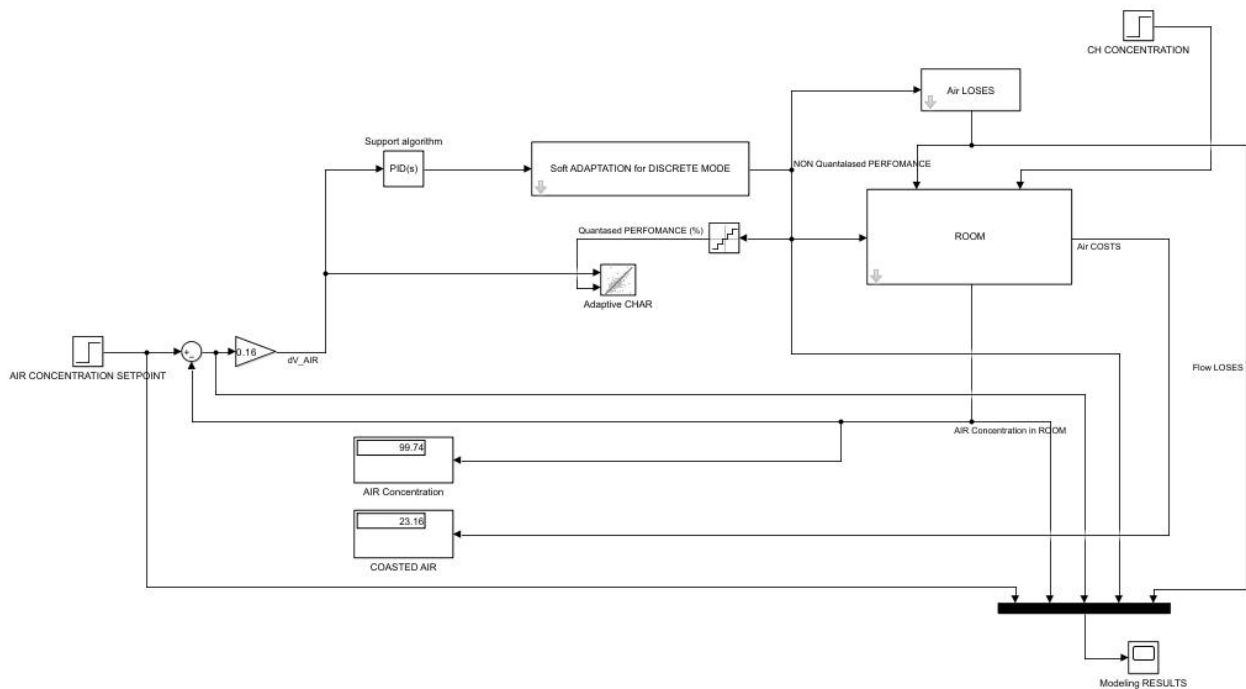


Рисунок 6.5 - Схема для моделювання процесу керування вентиляцією приміщення в середовищі MATLAB

Як видно з рисунку, відповідна модель включає в себе наступні підсистеми:

- Підсистема приміщення («ROOM»);
- Підсистема опорного алгоритму керування («PID(s)»);
- Підсистема програмної адаптації опорного алгоритму для дискретного режиму роботи системи вентиляції («Soft adaptation for discrete mode»);
- Підсистема врахування фактичної пропускної здатності каналу вентиляції («Air LOSES»).

Для візуалізації результатів моделювання та більш зручного їх аналізу використані наступні блоки:

- Результуюче значення концентрації повітря в приміщенні («Air Concentration»);
- Значення прокачаної кількості повітряної суміші («COASTED AIR»);
- Графіки перехідних процесів за ключовими параметрами («Modeling results»);
- Графік адаптаційної характеристики для використання на рівні коду IoT-модуля або при налаштуванні сервера («Adaptive characteristic»).



Приклади результатів моделювання наведені нижче.

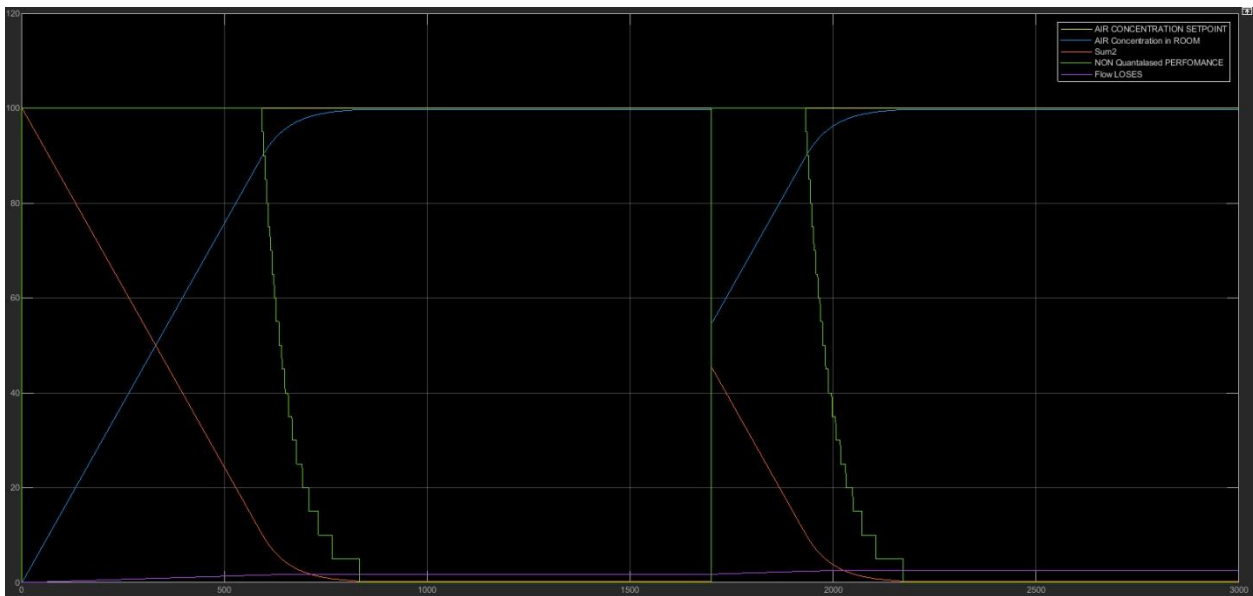


Рисунок 6.6 - Приклад перехідних процесів в системі при використанні у якості опорного алгоритму керування ПД-регулятора з параметрами  $P=12$ ,  $I=12$ ,  $D=0.1$ ,  $N=200$

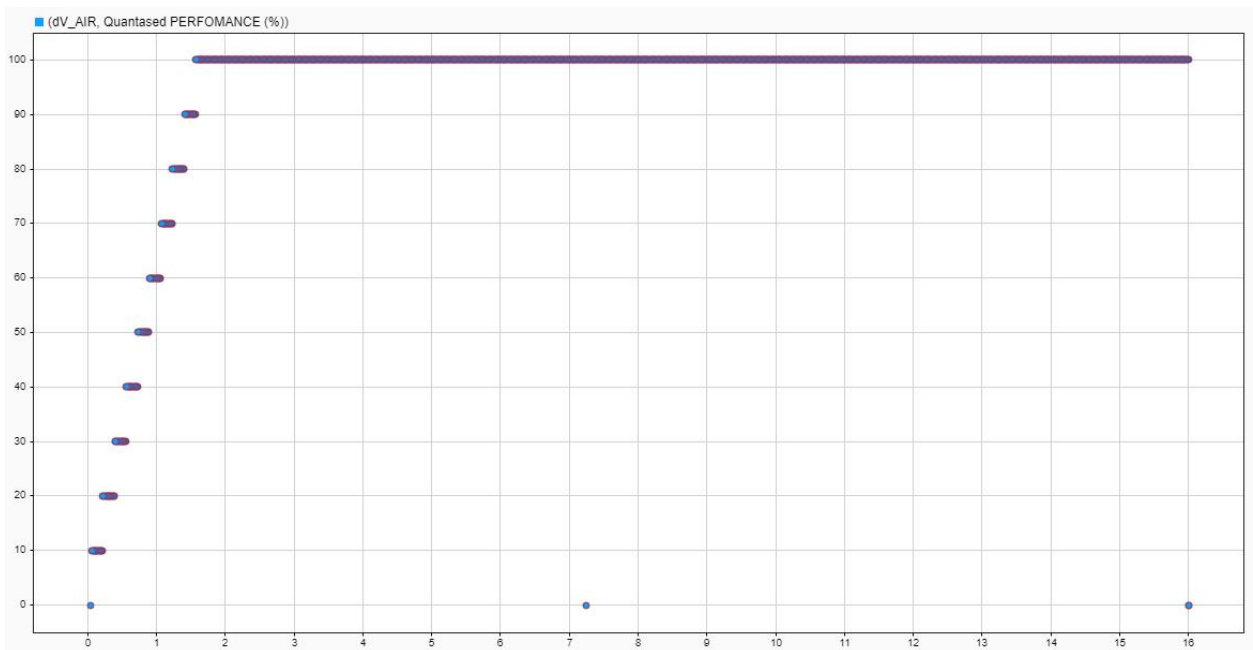


Рисунок 6.7 - Приклад адаптаційної характеристики для дискретного режиму роботи вентиляції при використанні у якості опорного алгоритму керування ПД-регулятора з параметрами  $P=12$ ,  $I=12$ ,  $D=0.1$ ,  $N=200$ .

З урахуванням аспектів, вказаних при формалізації приміщення у якості об'єкта керування, приклади реалізації відповідних підсистем для моделювання наведені нижче.

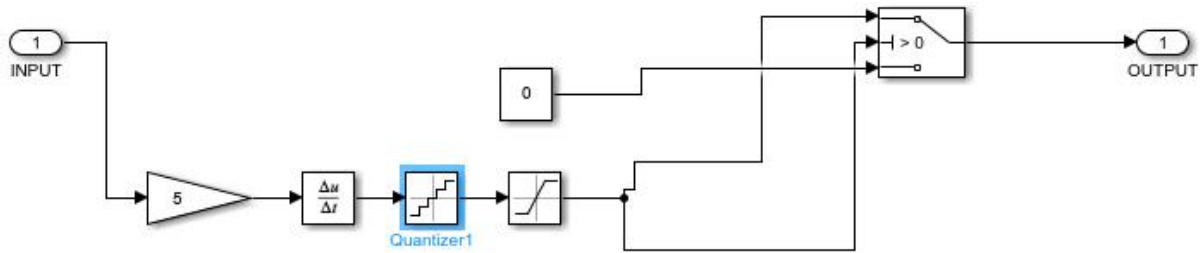


Рисунок 6.8 - Приклад реалізації підсистеми програмної адаптації опорного алгоритму для дискретного режиму роботи системи вентиляції приміщення («Soft adaptation for discrete mode»)

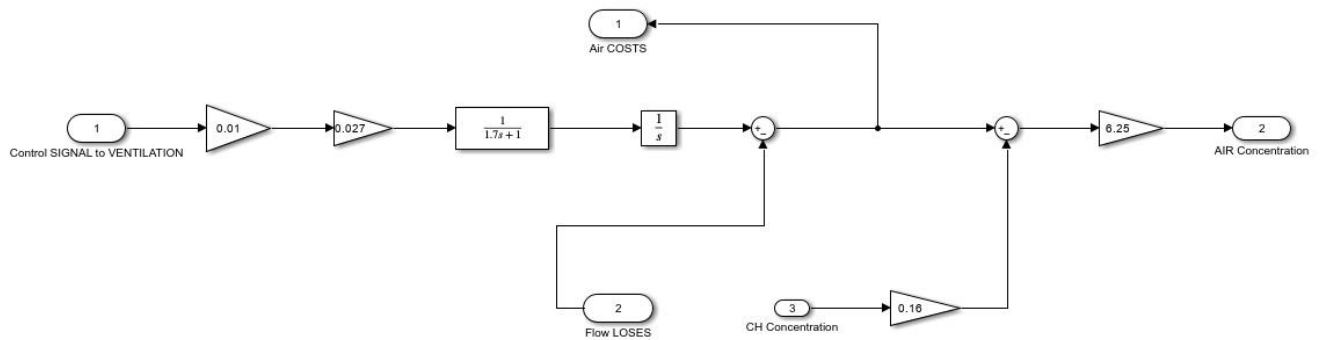


Рисунок 6.9 - Приклад реалізації підсистеми приміщення («ROOM»)



Рисунок 6.10 - Приклад реалізації підсистеми врахування фактичної пропускної здатності каналу вентиляції («Air LOSES»)

## 6.5 Основні висновки за результатами моделювання процесу керування концентрацією загазованості повітря у побутовому приміщенні в середовищі MATLAB

На основі моделі та методики, наведеної в роботі [17] та адаптованої під процес вентиляції приміщення, було проведено ряд аналітичних експериментів шляхом моделювання в середовищі MATLAB Simulink.

В самій роботі винесені лише ті результати, які безпосередньо ілюструють принципи, які реалізовані при розробці моделі процесу вентиляції приміщення та керування нею з урахуванням фактичної пропускної здатності каналу вентиляції. Також представлені лише ті результати, які підтверджують загальні принципи створеної у [17] методики зручного представлення адаптаційної характеристики для переведення опорного алгоритму керування до його представлення у дискретній реалізації для виконуючих пристроїв, здатних працювати за схемою «On/Off».

Що стосується практичної складової роботи, то були зроблені наступні висновки:

- використання ПІ або ПІД закону регулювання в системі керування вентиляцією, здатною функціонувати лише в дискретному режимі, забезпечує стійкий перехідний процес за концентрацією газів у повітряній суміші;
- показники якості, перехідного процесу за концентрацією повітря, з використанням ПІ або ПІД закону регулювання, в системі керування, реалізованій за архітектурою, описаною в роботі, мають значення, які відповідають загальноприйнятим нормам, а саме: статична похибка  $<1\%$  та повна відсутність коливальності, що наближує його (перехідний процес) до аперіодичної ланки 2-го порядку;
- найменші енергетичні затрати на прокачку повітряної суміші, без втрати якісного перехідного процесу (див. попередній пункт) та стійкості, можна забезпечити з використанням пропорційно-інтегрального або пропорційно-

інтегрального законів регулювання зі слабою диференційною складовою (долі відсотків від інтегральної складової);

- додатково доведено [17], що отримання адаптаційної характеристики значно спрощує процес розгортання та налаштування алгоритму керування в серверній частині системи керування;

- наведена в роботі модель та методика отримання адаптаційної характеристики підтверджує зручність архітектури системи керування типу «сервер - виконуючий пристрій зі зворотнім зв'язком на основі спільної інформаційно-керуючої мережі».

Ще раз доведено, що важливим фактором, який обов'язково потрібно врахувати при проектуванні та реалізації, є використання протоколів, здатних забезпечити високий рівень достовірності даних, які передаються.

## ВИСНОВКИ

За результатами виконаної роботи можна зробити ряд аналітичних та практичних висновків. Висновки практичного спрямування надають рекомендаційну інформацію для використання при практичній реалізації аналогічних систем, підсистем та контурів регулювання. Висновки аналітичного спрямування слід сприймати як рекомендаційні настанови при організації та налаштуванні інформаційно-керуючих процесів в системах, підсистемах та контурах регулювання з відповідним дискретним режимом роботи.

На основі загального аналізу апаратної складової системи керування, а також її структури, можна констатувати наступне:

- реалізація систем керування на основі спільної локальної інформаційно-керуючої мережі з використанням надійних інтерфейсів та протоколів передавання інформації, значно спрощує загальну архітектуру систем без втрати їх функціональності;
- відповідне спрощення вигідне і економічно за рахунок спрощення різних фізичних трасувань та спрощення систем і підсистем живлення;
- додатковими плюсами наведеної архітектури є спрощення організації резервувань, масштабувань та моніторингу станів, як на стороні серверної частини так і у частині об'єкта керування;
- використання розповсюджених, доступних та бюджетних елементів системи керування (датчиків, мікроконтролерів, середовищ програмування та ін.) дає додатковий економічний ефект в частині вартості реалізації;
- використання у якості підсистем IoT та PoT складових дозволяє спростити переведення відповідної системи керування до екосистеми Інтернету речей та додатково залучати, з метою підвищення якості процесів керування, туманних та хмарних обчислень;
- підвищити ефективність та гнучкість процесів налаштування, адміністрування та керування підсистемами в системах, побудованих на основі

спільної локальної інформаційно-керуючої мережі можливо за рахунок використання web - технологій, а саме створенням зручних та ергономічних web – інтерфейсів, застосунків та додатків;

- мультипротокольність, при грамотному підході в проектуванні систем автоматичного керування, може забезпечити загальну синегетичність процесу передавання інформації;

- використання модулів на основі мікроконтролерів сімейства ESP (виробництва компанії Espressif Systems) в якості основи IoT та PoT складових в системах керування, може значно здешевити як саму систему керування, так і спростити процес її.

На основі моделі та методики, наведеної в роботі [17] та адаптованої під процес вентиляції приміщення, було проведено ряд аналітичних експериментів шляхом моделювання в середовищі MATLAB Simulink.

В самій роботі винесені лише ті результати, які безпосередньо ілюструють ті принципи, які реалізовані при розробці моделі процесу вентиляції приміщення та керування нею з урахуванням фактичної пропускної здатності каналу вентиляції. Також представлені лише ті результати, які підтверджують загальні принципи створеної у [17] методики зручного представлення адаптаційної характеристики для переведення опорного алгоритму керування до його представлення у дискретній реалізації для виконуючих пристроїв, здатних працювати за схемою «On/Off».

Що стосується більш практичної складової роботи то були зроблені наступні висновки;

- використання ПІ або ПІД закону регулювання в системі керування вентиляцією, здатною функціонувати лише в дискретному режимі, забезпечує стійкий перехідний процес за концентрацією газів у повітряній суміші;

- показники якості перехідного процесу за концентрацією повітря, з використанням ПІ або ПІД закону регулювання, в системі керування, реалізованій за архітектурою, описаною в роботі, мають значення, які відповідають загальноприйнятим нормам, а саме: статична похибка <1% та повна відсутність

коливальності, що наближує перехідний процес до аперіодичної ланки 2-го порядку;

- найменші енергетичні затрати на прокачку повітряної суміші, без втрати якісного перехідного процесу (див. попередній пункт) та стійкості, можна забезпечити з використанням пропорційно-інтегрального або пропорційно-інтегрального законів регулювання зі слабою диференційною складовою (долі відсотків від інтегральної складової);

- додатково доведено [17], що отримання адаптаційної характеристики значно спрощує процес розгортання та налаштування алгоритму керування в серверній частині системи керування;

- наведена в роботі модель та методика отримання адаптаційної характеристики підтверджує зручність архітектури системи керування типу «сервер - виконуючий пристрій зі зворотнім зв'язком на основі спільної інформаційно-керуючої мережі». Вчергове доказано, що важливим фактором, який обов'язково потрібно врахувати при проектуванні та реалізації, є використання протоколів, здатних забезпечити високий рівень достовірності даних, які передаються.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Z. Aslam, W. Khalid, T. Ahmed and D. Marghoob, "Automated control system for indoor air quality management," 2017 International Conference on Energy Conservation and Efficiency (ICECE), Lahore, Pakistan, 2017, pp. 85-88, DOI: 10.1109/ECE.2017.8248834.
2. Yao D. J. A gas sensing system for indoor air quality control and polluted environmental monitoring //2009 9th IEEE Conference on Nanotechnology (IEEE-NANO). – IEEE, 2009. – С. 806-811.
3. T. H. Nasution, A. Hizriadi, K. Tanjung and F. Nurmayadi, "Design of Indoor Air Quality Monitoring Systems," 2020 4rd International Conference on Electrical, Telecommunication and Computer Engineering (ELTICOM), Medan, Indonesia, 2020, pp. 238-241, doi: 10.1109/ELTICOM50775.2020.9230511.
4. K. A. Sudama, M. Rivai, D. Aulia and T. Mujiono, "Electronic Nose Based on Gas Sensor Array and Neural Network for Indoor Hydrogen Gas Control System," 2022 1st International Conference on Information System & Information Technology (ICISIT), Yogyakarta, Indonesia, 2022, pp. 187-192, doi: 10.1109/ICISIT54091.2022.9872796.
5. Saini, J.; Dutta, M.; Marques, G. Indoor Air Quality Monitoring Systems Based on Internet of Things: A Systematic Review. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2020, 17, 4942. <https://doi.org/10.3390/ijerph17144942>
6. R. K. Kodali and S. C. Rajanarayanan, "IoT based Indoor Air Quality Monitoring System," 2019 International Conference on Wireless Communications Signal Processing and Networking (WiSPNET), Chennai, India, 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/WiSPNET45539.2019.9032855.
7. S. Faiazuddin, M. V. Lakshmaiah, K. T. Alam and M. Ravikiran, "IoT based Indoor Air Quality Monitoring system using Raspberry Pi4," 2020 4th International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA), Coimbatore, India, 2020, pp. 714-719, doi: 10.1109/ICECA49313.2020.9297442.



8. A. A. raj and J. Vijila, "Design of Indoor Air Quality Monitoring System to Ensure a Healthy Universe," 2020 International Conference on Smart Electronics and Communication (ICOSEC), Trichy, India, 2020, pp. 1123-1127, doi: 10.1109/ICOSEC49089.2020.9215297.
9. Nicholas D., Ackley R., Phillips N. G. A simple method to measure methane emissions from indoor gas leaks //Plos one. – 2023. – Т. 18. – №. 11.
10. Parvez Mahbub, Ansara Noori, John S. Parry, John Davis, Arko Lucieer, Mirek Macka, Continuous and real-time indoor and outdoor methane sensing with portable optical sensor using rapidly pulsed IR LEDs, Talanta, Volume 218, 2020, 121144, ISSN 0039-9140, <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2020.121144>.
11. A. Bushnag, "Air Quality and Climate Control Arduino Monitoring System using Fuzzy Logic for Indoor Environments," 2020 International Conference on Control, Automation and Diagnosis (ICCAD), Paris, France, 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICCAD49821.2020.9260514.
12. Lebel E. D. et al. Methane and NO<sub>x</sub> emissions from natural gas stoves, cooktops, and ovens in residential homes //Environmental science & technology. – 2022. – Т. 56. – №. 4. – С. 2529-2539.
13. Яремчук О.М., Яремчук Б.О. Застосування детектору витоків побутового газу для моніторингу повітря / Екологічні науки : науково-практичний журнал / Головний редактор Бондар О.І. – К. : ДЕА, 2023. – № 1 (46). – С. 92 – 97. DOI: 10.1109/ELIT53502.2021.9501109.
14. Furuta, D., Wilson, B., Presto, A. A., and Li, J.: Design and evaluation of a low-cost sensor node for near-background methane measurement, Atmos. Meas. Tech., 17, 2103–2121, <https://doi.org/10.5194/amt-17-2103-2024>, 2024.
15. Yan H. H., Rahayu Y. Design and development of gas leakage monitoring system using arduino and zigbee //1st International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics 2014. – Institute of Advanced Engineering and Science, 2014.
16. Дворніченко А. В. Автоматизоване керування побутовим газовим котлом в умовах ресурсозбереження: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня магістр :

спец. 151 – автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / наук. кер. А. В. Павлов. Суми : СумДУ, 2023. 72 с.

17. Ноздренков В. С., Павлов А. В., Олексієнко Г. А. Журавльов О. Ю., Журавльов Ю. О. Програмна адаптація опорного алгоритму для дискретного регулювання / Збірник наукових праць Національного авіаційного університету «Проблеми інформатизації та управління» - К.:, 2024. - № 2 (78) . – С. 52-60.

DOI: <https://doi.org/10.18372/2073-4751.78.18961>

18. Яковенко Ю. М. Автоматизована система керування параметрами мікроклімату сонячного вегетарію: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня магістр : спец. 151 – автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / наук. кер. А. В. Павлов. Суми : СумДУ, 2023. 73 с.