

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
_____ 2024 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 рівня загазованості приміщення з
промисловим газовим обладнанням»

Здобувача групи СУ.мдн-31п

Кардаш Вікторії Олександрівни

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

(підпис)

Вікторія 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

_____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра здобувачу вищої освіти

Кардаш Вікторії Олександрівні

1. Тема кваліфікаційної роботи: Система автоматичної корекції рівня загазованості приміщення з промисловим газовим обладнанням затверджена наказом ректора СумДУ № 1096 – VI від “25” жовтня 2024р.
2. Термін здачі студентом закінченої роботи " 15 " грудня 2024 р.
3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: наукові публікації, статті, технічні вимоги до системи, технічна документація та літературні джерела з матеріалом про подібні системи.
4. Зміст кваліфікаційної роботи (питання, що підлягають розробленню):, опис об'єкта автоматизації, розробка функціональної схеми автоматизації, вибір засобів автоматизації, розробка структурної схеми та опис адресного простору блоку «ВАРТА 2-03А + інтерфейсний модуль + IoT-модуль», апаратна реалізація інтерфейсного модуля-перетворювача, опис структури коду прошивки інтерфейсного модуля-перетворювача, опис організації інформаційно-керуючої взаємодії в системі керування, моделювання процесу керування витяжною вентиляцією промислового приміщення з газовим обладнанням.
5. Перелік графічних матеріалів: функціональна схема автоматизації, структурна схема спорідненого блоку ВАРТА 2-03А + інтерфейсний модуль + IoT-модуль», схема підключення сигналізатора ВАРТА 2-03А до відладочної плати ESP8266 12F, структурна схема інформаційно-керуючої мережі для керування та корекції

якості повітря у промисловому 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. Огляд літературних джерел. Аналіз існуючих систем контролю загазованості промислових приміщень	14.10.24- 23.10.24
2	Опис об'єкта автоматизації	24.10.24- 27.10.24
3	Розробка функціональної схеми автоматизації, вибір засобів автоматизації	28.10.24- 31.10.24
4	Розробка структурної схеми та опис адресного простору блоку «ВАРТА 2-03А + інтерфейсний модуль + IoT-модуль»	01.11.24- 09.11.24
5	Апаратна реалізація інтерфейсного модуля-перетворювача	10.11.24- 22.11.24
6	Опис структури коду прошивки інтерфейсного модуля-перетворювача	23.11.24- 30.11.24
7	Опис організації інформаційно-керуючої взаємодії в системі керування	01.12.24- 04.12.24
8	Моделювання процесу керування витяжною вентиляцією промислового приміщення з газовим обладнанням	05.12.24- 14.12.24

7. Дата видачі завдання " 14 " жовтня 2024 р.

Керівник роботи:

ст. викладач, к.т.н., доцент

Олександр ЖУРАВЛЬОВ

Здобувач:

студент групи СУ.мдн-31п

Вікторія КАРДАШ

АНОТАЦІЯ

Кардаш Вікторія Олександрівна. Система автоматичної корекції рівня загазованості приміщення з промисловим газовим обладнанням. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістр. Сумський державний університет. Суми, 2024.

Робота містить 7 розділів та висновки в основному тексті, загальним обсягом 80 сторінок, 32 рисунки, 6 таблиць, 16 джерел інформації, 4 додатки.

Метою роботи є розробка системи автоматичної корекції рівня загазованості приміщення, в якому встановлене газове обладнання. Це забезпечується постійним моніторингом стану повітря робочого середовища на вміст чадного та природного газу, управлінням виконавчими механізмами з метою підтримування параметрів у заданих межах. Передбачено систему протипожежного захисту.

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

Розроблена структурна схема та опис адресного простору спорідненого блоку «ВАРТА 2-03А + інтерфейсний модуль + ІоТ-модуль», описана апаратна реалізація інтерфейсного модуля-перетворювача, структура його коду прошивки, розроблена схема організації інформаційно-керуючої взаємодії в системі керування.

Проведено моделювання процесу керування витяжною вентиляцією промислового приміщення з газовим обладнанням.

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

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	4
ВСТУП.....	5
1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	9
2 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ ЗАГАЗОВАНOSTІ ПРОМИСЛОВИХ ПРИМІЩЕНЬ	20
2.1 Загальна характеристика промислових систем контролю загазованості	20
2.2 Типи газових первинних перетворювачів.....	24
2.3 Аналіз існуючих систем контролю загазованості промислових приміщень....	26
3 ОПИС ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	37
4 РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	40
4.1 Формування загальних вимог до системи автоматизації.....	40
4.2 Розробка схеми автоматизації.....	42
4.3 Вибір засобів автоматизації.....	44
5 ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕРФЕЙСНОГО МОДУЛЯ-ПЕРЕТВОРЮВАЧА ТА СИГНАЛІЗАТОРА «ВАРТА 2-03А» У ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТАХ.....	53
5.1 Структурна схема та адресний простір спорідненого блоку «ВАРТА 2-03А + інтерфейсний модуль + IoT-модуль»	54
5.2 Апаратна реалізація інтерфейсного модуля-перетворювача.....	55
5.3 Структура коду прошивки інтерфейсного модуля-перетворювача	57
6 ОРГАНІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧОЇ ВЗАЄМОДІЇ В СИСТЕМІ КЕРУВАННЯ	60
7 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ ВИТЯЖНОЮ ВЕНТИЛЯЦІЄЮ ПРОМИСЛОВОГО ПРИМІЩЕННЯ З ГАЗОВИМ ОБЛАДНАННЯМ.....	65
7.1 Опис причино-наслідкових зв'язків в об'єкті керування.....	65
7.2 Структурна схема підсистеми вентиляції зони промислового приміщення....	66
7.3 Загальний опис роботи системи вентиляції в дискретному (трьохпозиційному) режимі.....	69

7.4 Моделювання процесу керування вентиляцією у зоні промислового приміщення в середовищі MATLAB	70
7.5 Основні висновки за результатами моделювання процесу керування концентрацією повітря у побутовому приміщенні в середовищі MATLAB.....	73
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	76
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	79
ДОДАТОК А. Список команд, що подаються на технологічний роз'єм «XP4» сигналізатора «ВАРТА 2-03А» для отримання інформації про стан сигналізатора та структура пакета даних.....	81
ДОДАТОК Б. ІОТ – МОДУЛЬ.....	83
ДОДАТОК В. ОСНОВНА ЧАСТИНА КОДУ для ІоТ-модуля з розширеним функціоналом.....	86
ДОДАТОК Г. ОСНОВНА ЧАСТИНА КОДУ ІНТЕРФЕЙСНОГО МОДУЛЯ.....	91

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)

ВСТУП

До газонебезпечних промислових об'єктів відносяться ті об'єкти, в яких існує або не виключена можливість потрапляння горючих газів в робоче середовище.

Говорячи про горючий газ, перш за все мається на увазі природний газ, і основна її складова – метан. Цей газ не має кольору і часто не має запаху. З метою надання природному газу запаху на газорозподільчих станціях до газу додають одорант. Проте, це стосується більше побутових споживачів, в промислових об'єктах в більшості випадків використовується неодорований газ.

Концентрація метану в повітрі в обсязі 4-16 % від об'єму робочого середовища здатна створювати вибухонебезпечну суміш, а від 15% до 80 % - горючу суміш.

Крім того, наявність газу в повітрі робочого середовища здатна викликати отруєння або задуху обслуговуючого персоналу при несправній або неналежним чином працюючій системі вентиляції.

Іншим шкідливим чинником, що необхідно контролювати в робочому середовищі при використанні газового обладнання, є окис вуглецю (чадний газ).

Подібно до метану, цей газ також є безбарвною речовиною, без запаху. Отруйний газ, який утворюється при неповному згорянні природного газу.

За наявності чадного газу в робочому середовищі з концентрацією усього 0,01% людина може втратити здатність орієнтації в просторі та втратити свідомість. Отруєння чадним газом може призвести до смертельних випадків.

Одним з видів промислових приміщень, в яких необхідно вести постійний контроль на наявність та концентрацією газу в робочому середовищі, є приміщення котелень.

Згідно ДБН В.2.5-77:2014 "Котельні" приміщення котелень має бути обладнаним системами контролю та сигналізації вмісту шкідливих речовин (оксиду вуглецю) та системами контролю та сигналізації загазованості паливним газом.

Сигналізатори шкідливих газів мають спрацьовувати при досягненні об'ємної частки оксиду вуглецю в робочому середовищі рівня 0,005%.

Сигналізатори довибухонебезпечних концентрацій повинні спрацьовувати при досягненні вмісту газів у повітрі робочого середовища, що становить 20% нижньої концентраційної межі розповсюдження полум'я, тобто 1% від об'єму повітря робочого середовища.

У відповідності до нормативних документів, система контролю загазованості необхідно встановлювати в кожному приміщенні, в якому сумарна потужність газових приладів становить більше 60кВт.

Дані правила розповсюджуються і на інші об'єкти промислового призначення.

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

Встановлення систем контролю загазованості промислового приміщення здійснюється згідно технічних вимог та правил відносно застосування сигналізаторів довибухонебезпечних концентрацій використовуваних газів, а також чадного газу в робочому середовищі приміщень промислового використання, 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».

Відповідно до вимог даного нормативного документу в приміщеннях, де встановлене газове обладнання з відведенням в димохід продуктів згорання, обов'язкове встановлення сигналізаторів контролю довибухонебезпечних концентрацій газу та мікроконцентрацій чадного газу.

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.

Актуальність теми. Експлуатація газового обладнання, особливо у промислових умовах, пов'язана з низкою небезпечних умов для людини, тому створення ефективних систем своєчасного виявлення відповідних ризиків та попередження їх впливу на людину є вкрай актуальною задачею у будь-який час.

Мета дослідження. Виявлення ключових особливостей процесу керування параметрами якості повітря у промисловому 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 трьохпозиційного дискретного керування приводом витяжної вентиляції у промисловому приміщенні з газовим обладнанням.

Предметом дослідження є вивчення можливості використання методу адаптаційних характеристик [16] для трьохпозиційного керування витяжною вентиляцією у промисловому приміщенні з газовим обладнанням.

Наукова новизна. В роботі описано реалізацію способу переходу від адаптаційних характеристик [16] для двопозиційного керування (принцип «On-Off») до трьохпозиційного дискретного керування приводом витяжної вентиляції у промисловому 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 mesh-мережі з використанням надійних інтерфейсів та протоколів передавання інформації значно спрощує структуру системи, що може надати ряд переваг, таких як: можливість якісно вплинути на структуру відповідних складових підсистем; можливість позитивним чином вплинути економічно та ергономічно за рахунок спрощення різних фізичних трасувань та спрощення системи і підсистем живлення; можливість спростити організацію резервувань та моніторингу станів, як у серверній частині, так і у частині об'єкту керування.

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

Багато публікацій пов'язано з контролем стану повітря в робочому середовищі. Авторами проводяться різноманітні дослідження, направлені на визначення в повітрі вмісту пилу, диму, різноманітних газів, що характеризують стан робочого повітря, і, як наслідок – пропонують свої методи та способи вимірювання параметрів стану, а також шляхи щодо надання повітрю робочого середовища значень, регламентованих нормативними документами, тобто корекції стану останнього.

Це відбувається шляхом використання виконавчих пристроїв, що забезпечують вентиляцію, фільтрування повітря, зволоження, озонування, тощо.

Якість повітря відіграє важливу роль у продуктивності людини, особливо в закритому середовищі, де вкрай важливо мати систему управління та контролю якості повітря, впроваджену в місцях з високою відвідуваністю, таких як школи та багатоповерхові офіси чи будівлі.

Робота [1] модифікує існуюче обладнання для управління якістю повітря, яке вже розміщене в промислових підприємствах та офісах з високою відвідуваністю.

Модифікована система є економічно ефективною, але з тими самими результатами та часом відгуку проти комерційними системами. Крім промисловості, її можна використовувати у домашніх господарствах чи магазинах.

Основна мета статті – розробити автономну систему для виявлення диму, оксиду вуглецю та інших токсичних газів у закритих дверях з високою відвідуваністю.

Небезпечні гази, такі як скраплений нафтовий газ, метан, оксид вуглецю, пропан і дим, на додаток до перегріву, були виявлені і безперервно відображені на РК-дисплеї, і буде згенерований спливаючий сигнал тривоги, якщо будь-який із зазначених елементів перетне зазначені діапазони. На додаток до цього,

інформація також передається до центру управління та контролю бездротового зв'язку, де генерується сигнал тривоги.

Перевага запропонованої системи автоматичного виявлення та реагування порівняно з традиційною схемою полягає у швидкій реакції з точним розпізнаванням у разі виникнення надзвичайної ситуації, що може допомогти швидко розрядити серйозну ситуацію, якщо вона виникне.

Зроблено висновок, що такий тип пристроїв вкрай необхідний з точки зору безпеки, так і продуктивності. Крім того, центральні системи вимагають певного рівня повітрообміну, оскільки втрата охолодженого повітря безпосередньо пов'язана із втратою енергії в будівлі, тому належний моніторинг вищезгаданих газів є дуже важливим.

Метою роботи [2] є розробка мініатюрного електронного носа (E-nose) для виявлення отруйних органічних парів у приміщенні.

Було розроблено та випробувано нові біохімічні поверхневі акустичні хвильові ґрати з мультиплексованим осцилятором та зчитуючою електронікою.

Сенсорні ґрати були виготовлені на чутливій підкладці $128^\circ \text{YX LiNbO}_3$. На поверхні цієї підкладки був виготовлений зустрічно-штирьовий перетворювач з плівкою Cr/Au як металева структура. Центральна частота чутливих чіпів була спроектована лише на рівні 99,8 МГц. Сім полімерів, полі-4-вінілфенол, полівінілацетат, полі-N-вінілпіролідон, поліетиленгліколь, полістирол, полістирол-комалеїновий ангідрид і полісульфон були нанесені на чутливу область поверхні Au між центром IDT.

Не суцільний масив SAW 2×2 можна було контролювати за допомогою техніки мультиплексування, а сигнали давачів були отримані за допомогою електроніки, що зчитує, з мікропроцесором 89C51.

П'ять різних органічних пар були прийняті як зразки для тестування розробленої системи. Були виміряні зрушення частоти (Δf), і стабільний стан становив близько 1 кГц.

Для аналізу виміряних даних використовувався двосторонній кластерний ієрархічний аналіз. Він показав, що на основі методу аналізу газів та полімери зі схожими хімічними властивостями були згруповані в одне сімейство.

Результати показують, що розроблений мініатюрний електронний ніс і метод аналізу, що застосовується, перспективні для практичного застосування у виявленні та розпізнаванні газів.

Якість повітря в приміщенні - це проблема, яка потребує уваги, оскільки вона впливає на здоров'я людини. Для підтримки якості повітря у приміщенні необхідно регулярно контролювати кілька параметрів, які можуть впливати на якість повітря.

Розробка сенсорних та моніторингових технологій на основі IoT (Інтернет речей) дуже допомагає у проектуванні пристроїв моніторингу автоматично та періодично.

Це допомагає проводити дослідження з проектування пристрою, який може періодично контролювати умови якості повітря у приміщенні.

У дослідженні [3] розроблена система моніторингу якості повітря, використовуючи ESP32 як контролер і кілька датчиків для вимірювання якості повітря.

Результатом є система, яка може контролювати температуру та вологість, частинки пилу та забруднюючі газів (H_2S , NH_3 , CO , NO_2 та SO_2).

Витіки водню в закритому приміщенні можуть становити небезпеку пожежі та поганої якості повітря. Концентрація водню в повітрі 4-75% легко спалахує і може призвести до вибухів.

Для виявлення витоків водню в приміщенні в роботі [4] була створена система «електронний ніс», що складається з масиву газових датчиків та нейронної мережі. Дані з кожного датчика використовуються як вхідні дані для класифікації газів у нейронній мережі.

Метод пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) застосовується для управління витяжним вентилятором з метою усунення витоків водню в

приміщенні. «Електронний ніс» та ПД-регулювання реалізовані на мікроконтролері Arduino Nano.

Результати експерименту показали, що ця система може класифікувати декілька газів, таких як водень, автомобільний дим та парфуми, з ймовірністю успіху 86,67%. ПД регулювання активується, коли класифікується водень з концентрацією вище 100 ppm.

Ці результати дозволяють мінімізувати та запобігати витоку водню та підтримувати хорошу якість повітря в приміщенні.

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 попередні п'ять років (2015–2020 рр.).

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 CO₂ та PM 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 статті [6] наведено рішення, яке дозволить користувачам вивчати повітря навколо них як у режимі реального часу, так і протягом певного періоду часу. Вимірюватимуться та інформуватимуться користувачі про різні концентрації забруднюючих речовин, попереджаючи їх тим самим про найбільш шкідливі концентрації забруднюючих речовин.

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 – давачом якості повітря v1.3, давачом якості повітря CO₂ CCS811, давачом температури та вологості DHT 11.

Зв'язок між давачом 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, CO₂, температура, вологість, витік газу, дим, давач 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.

У роботі [8] було показано, що якість повітря в приміщенні (IAQ) значно впливає на здоров'я, комфорт і продуктивність способу життя людей. Поточні досягнення в галузі Інтернету та інформаційних технологій передбачають інтеграцію всіх інтелектуальних пристроїв у наше повсякденне життя.

Пропонована сенсорна мережа та система на основі IoT надають можливість безкоштовної та довгострокової інформації про якість повітря в приміщенні (IAQ) для добра. х зацікавлених сторін, які роблять свій внесок у визначення контексту для промисловості 4.0.

Масив давачів підключений до контролера для обробки даних та надсилання їх на канали Thingspeak.com.

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 фут³ СН₄ день⁻¹ (0,4–10,3 г СН₄ день⁻¹) із середнім значенням 0,14 фут³ СН₄ день⁻¹ (2,8 г СН₄ день⁻¹).

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.

У роботі [10] описана розробка простої, портативної, недорогої та легкої системи на основі недисперсійної інфрачервоної спектроскопії безперервного дистанційного зондування атмосферного метану (СН₄) з імпульсними світлодіодами ближнього інфрачервоного діапазону на 1,65 мкм.

Використання мікроконтролера з програмованою користувачем вентиляційною матрицею дозволяє здійснювати потокову передачу та обробку великих потоків даних (~2 Гбіт/с) на льоту та бездротовій мережі.

Досліджувана система виявлення забезпечує сприятливі межі виявлення 300 ppm ($\pm 5\%$) СН₄.

Всі згенеровані необроблені дані автоматично оброблялися на льоту і передавалися через бездротову мережу через мережне з'єднання.

Сенсорний пристрій було розгорнуто для портативного зондування атмосферного СН₄ на місцевому полігоні, що призвело до кількісної концентрації в межах відбору проб (близько 400 м²) в діапазоні 0,5%-3,35% СН₄.

Ця сенсорна система на основі світлодіодів пропонує просте недороге рішення для безперервного реального часу, кількісного і прямого вимірювання концентрацій CH_4 в приміщеннях і на відкритому повітрі, але з гнучкістю, що надається програмним забезпеченням. Вона має майбутній потенціал для віддаленого моніторингу газів безпосередньо з мобільних платформ, таких як смартфони та безпілотні літальні апарати (БПЛА).

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.

Газові плити у понад 40 мільйонах житлових будинків у США виділяють метан (CH_4) — потужний парниковий газ — через витік після лічильника та неповне згоряння.

У статті [12] проведено оцінку викидів метану в 53 будинках на всіх етапах використання плити: стійкий стан вимкнення (прилад не використовується), стійкий стан включення (під час горіння) та перехідні періоди займання та гасіння.

Підраховано, що газові плити виділяють 0,8–1,3% використовуваного ними газу у вигляді незгорілого метану, а загальні викиди плит у США становлять 28,1 Гг CH_4 на рік.

Понад три чверті викидів метану, які були виміряні, виникли під час сталого стану вимикання.

Використовуючи 20-річний часовий інтервал для метану, річні викиди метану від усіх газових плит у будинках у США впливають на клімат, який можна порівняти з річними викидами вуглекислого газу 500 000 автомобілів.

Крім викидів метану, супутні викиди шкідливих для здоров'я забруднюючих речовин, таких як оксиди азоту (NO_x), потрапляють у повітря вдома і можуть викликати респіраторні захворювання.

Дані статті свідчать про те, що сім'ї, які не використовують витяжки або мають погану вентиляцію, можуть перевершити національний стандарт NO_2 за 1 годину (100 ppb) протягом декількох хвилин використання плити, особливо на невеликих кухнях.

В статті [13] подані результати досліджень, що спрямовані на створення системи виявлення присутності та визначення концентрації метану у робочому середовищі, яка покликана інформувати споживача про наявність витоку газу у вигляді, зручному для сприйняття.

Авторами розроблена комплексна система неперервного виявлення газу на базі мікроконтролера ATMEGA 8 та давача концентрації газу MQ-4. Розроблений алгоритм роботи приладу, та його програмне забезпечення.

Система здатна реєструвати значення вимірюваних величин та представляти їх значення у вигляді, зручному для користувача.

В системі передбачена функція самоперевірки наявності зв'язку з розробленим приладом, що покликане підвищити надійність системи виявлення витоків газу.

Для перевірки працездатності розробленого приладу було складено та просимульовано експериментальну модель розробленої схеми приладу в системі автоматизованого проектування Proteus.

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

Було розгорнуто прототип давача 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 давача, а потім підганяючи відгук метану з відхилення давача від базового рівня.

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

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

Витік газу в промисловій зоні викликає багато проблем зі здоров'ям. Таким чином, щоб запобігти таким катастрофам, необхідно регулярно контролювати атмосферу на робочому місці, щоб підтримувати чистоту повітря.

Проте зусилля щодо контролю якості промислового повітря ускладнюються відсутністю науково обґрунтованих підходів до визначення та оцінки якості атмосферного повітря та рівня небезпечного газу.

Тому необхідно розробити систему моніторингу для виявлення витоків газу.

Для розробки цієї системи у роботі [15] використовувався давач пального газу (MQ9) для виявлення присутності метану (CH_4) та чадного газу (CO).

Цей давач визначає концентрацію газу відповідно до вихідної напруги давача і працює в системі сигналізації, автономній системі управління та системі моніторингу, використовуючи Arduino Uno як мікроконтролер для всієї системи.

У той час як Zigbee відправляє дані, які зчитуються з давача газу, в систему моніторингу, яка відображається на графічному інтерфейсі користувача (GUI) LabVIEW. Крім того, користувач може зробити негайні дії при виникненні витоку, в іншому випадку подача газу та система автоматично відключаться протягом 10 хвилин, щоб запобігти погіршенню ситуації.

2 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ ЗАГАЗОВАНOSTІ ПРОМИСЛОВИХ ПРИМІЩЕНЬ

2.1 Загальна характеристика промислових систем контролю загазованості

Підприємства промислового значення досить часто використовують різні горючі гази для різних процесів виробництва. Проте вони можуть становити велику загрозу безпеці промислового об'єкта. Для забезпечення обслуговуючого персоналу і самого технологічного об'єкта необхідне використання системи контролю загазованості промислових горючих газів.

Відповідно до вимог ДБН В.2.5-20-2001 «Газопостачання» в приміщеннях, де встановлене газове обладнання з відведенням в димохід продуктів згоряння (Рисунок 2.1), обов'язкове встановлення сигналізаторів контролю довибухонебезпечних концентрацій газу та мікроконцентрацій чадного газу.

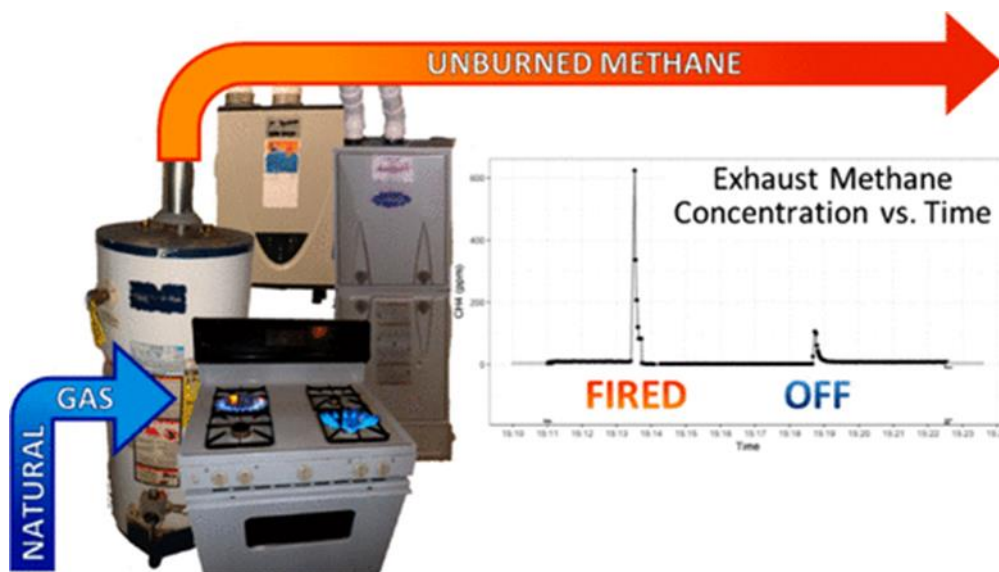


Рисунок 2.1

Ця система зазвичай складається з панелі керування, сигналізації та первинних вимірювальних пристроїв. Первинні вимірювальні пристрої проводять виявлення небезпечних концентрацій газів, а панель керування здійснює

сповіщення персоналу про потенційну небезпеку. Дані первинні перетворювачі відповідають за виявлення в робочому середовищі горючих газів.

На ринку представлені різні типи первинних перетворювачів. До них відносяться каталітичні, інфрачервоні, електрохімічні давачі.

Давачі, принцип дії яких заснованої на каталітичному ефекті, виявляють гази шляхом вимірювання тепла, яке виділяється під час горіння.

Інфрачервоні давачі проводять виміри поглинання світла на певних довжинах хвиль, електрохімічні давачі вимірюють кількість горючих газів шляхом зміни електропровідності.

Вибір типу первинного перетворювача багато в чому залежить від його конкретного застосування. Тут необхідно підібрати давач, що вимірює потрібний параметр робочого середовища.

Сигналізація в системі контролю загазованості промислового типу має вирішальне значення щодо сповіщення робочого персоналу стосовно виникнення потенціальних безпек. Сигналізація існує у таких формах: візуальна, звукова та вібраційна крапка

Суть візуальної сигналізації у використанні миготливих світильників, які здатні попередити робочий та обслуговуючий персонал про небезпеку.

Звукова сигналізація забезпечує гучний шум, щоб попередити і привернути увагу обслуговуючого персоналу.

Зазвичай на об'єкті встановлюється декілька типів сигналізації, що забезпечує сповіщення обслуговуючого персоналу незалежно від місця їх знаходження.

Контрольна панель є основним складником системи контролю загазованості. Панель управління отримує дані від первинних перетворювачів і активує сигналізацію, коли виявлено небезпечні концентрації газів.

Промислові системи загазованості працюють в досить в досить широкому діапазоні застосувань. Дані системи використовують також і в замкнених просторах.

В будь-яких промислових об'єктах, де присутні горючі гази, система промислової сигналізації необхідна для забезпечення безпечних робіт обслуговуючого персоналу.

Термін загазованості визначається, як наявність небезпечної концентрації газу в робочому об'ємі приміщення.

Природний газ - це речовина, що не має кольору і запаху. Концентрація газу в робочому середовищі приміщення, яка перевищує границю межу гранично допустимої концентрації, може призвести до задухи або отруєння обслуговуючого персоналу, працюючого в цьому приміщенні.

Крім того перевищення концентрації газу в робочому середовищі може бути причиною пожежі або вибуху. Вибухонебезпечна концентрація газу в повітрі становить від 4 до 16%.

В промислових об'єктах до газів, які контролюються системами загазованості, відносять наступні: кисень, озон, водень, оксид та діоксид вуглецю, діоксид сірки, хлор, азот та окис азоту, діоксид азоту, аміак, сірководень, хлороводень, фтористий водень, метан, пропан, гексан, ацетилен, спирт, метанол, формальдегід, пари бензину, меркаптан, елєгаз, фреон.

Контроль загазованості здійснюється на об'єктах, де в технологічних приміщеннях використовуються різні гази, так і в приміщеннях, які знаходяться нижче рівня землі, і в яких наявна або не виключена можливість накопичення газів.

Контроль повітря в місцях де наявна або не виключена можливість появи газів, виконується за допомогою газоаналізаторів.

Для кожного газу визначена гранично допустима концентрація газу в повітрі, при перевищенні граничної концентрації газу роботи, які проводяться в даному приміщенні, повинні бути зупинені з негайним виведенням персоналу з робочої зони. Контроль загазованості необхідно проводити в тих місцях, де необхідно контролювати наявність горючих газів.

До таких приміщень відносяться котельні, газоперекачувальні станції.

Системи контролю загазованості зазвичай представляють собою мікропроцесорні пристрої, що контролюють рівень загазованості в промислових приміщеннях.

До таких приміщень також відносяться шахти, котельні, підвали різних будівель, підземні паркінги.

Системи контролю загазованості поділяються на індивідуальні, автоматичні, автономні.

Індивідуальний контроль загазованості проводиться в місцях можливого скупчення паливних газів. Це приміщення газових котелень, кухні з встановленими газовими приладами.

Первинний перетворювач загазованості видає сигнал про наявність небезпечної концентрації газу в повітрі, а обслуговуючий персонал повинен включити при цьому витяжну вентиляцію або забезпечити провітрювання приміщення. Якщо концентрація газу надалі збільшується, необхідно перекрити подачу газу, вимкнути обладнання та з'ясувати причини появи загазованості.

Автоматичний контроль загазованості використовують в разі необхідності постійного, без участі людини, моніторингу концентрації робочого середовища. Набір пристроїв автоматичного моніторингу включає газоаналізатори, світлове та звукове сповіщення про перевищення гранично допустимої концентрації газу, приймально - контролюючий прилад. Цей прилад автоматично включає вентиляцію.

Якщо концентрація газу надалі збільшується, дана система видає керуючий сигнал на закриття клапану подачі газу.

Система при цьому передає сигнал на пульт диспетчера. Зазвичай в системі загазованості перший сигнал передається, як попереджувальний, а другий сигнал є аварійним.

Автономний контроль загазованості містить те ж обладнання, що і системи автоматичного контролю, проте сигнал на пульт диспетчера не передається, а обмежується лише автоматичним управлінням в границях конкретного

приміщення або будинку. При цьому сигналізація про стан загазованості покликана привернути увагу людей, що знаходяться в даному приміщенні.

2.2 Типи газових первинних перетворювачів

Відомо про вісім різних технологій, які покладені в основу давачів газу, що використовуються для моніторингу та контролю рівня загазованості. Детектор газу можливо охарактеризувати згідно з механізмом його роботи, так як різні промислові використання частіше за все вимагають унікальних систем виявлення газу.

Одним з таких різновидів є портативні газові детектори. Вони використовуються для аналізу робочого середовища персоналу. Часто портативні детектори попереджають людину звуковими, вібраційними та світловими сигналами в разі появи небезпечної концентрації газів.

Стаціонарні газові детектори встановлюються частіше всього поблизу технологічної робочої зони, поблизу приміщення диспетчерської чи в зонах, які потребують захисту. Дані детектори газу зазвичай видають попередження щодо виявлення небезпечних концентрацій газів і контролюють рівні декількох газів.

Існує декілька видів газових детекторів: електрохімічні; фотоіонізаційні, інфрачервоні, каталітичні кулькові.

Електрохімічні газові сенсори вимірюють концентрацію газу шляхом окислення чи відновлення газу до електрода, генеруючи при цьому негативний чи позитивний струм.

Каталітичні газові сенсори в основному використовуються для вимірювання газів, які становлять вибухонебезпеку, коли концентрація газів знаходиться в межах між нижньою і верхньою границями вибухонебезпечності. Дані сенсори засновані на принципі виділення тепла внаслідок окислення газу і перетворення зміни температури через схему мостового типу Вітстона.

Одна кулька каталітичного давача є каталізатором, що сприяє окисленню, інша ж кулька використовується для пригнічення окислення.

Струм проходить через котушки до 500° С (температура окислення), збільшуючи при цьому опір котушки з платини, що викликає дисбаланс моста. Зміна опору моста пов'язана з концентрацією газу в робочому середовищі, що і відображає показник загазованості робочого середовища.

Інфрачервоні сенсори використовуються при відсутності кисню або в тих випадках, коли вимірюється високі концентрації вуглецевого газу. Принцип дії заснований на поглинанні світла.

Зміна інтенсивності поглиненого світла вимірюється щодо еталонної довжини хвилі. Різниця між поглиненим та еталонним світлом визначає концентрацію газу в середовищі.

Фотоінізаційний сенсор газу заснований на використанні джерела ультрафіолетового світла з метою іонізації газів до позитивних та негативних іонів, який ідентифікуються за допомогою детектора. Іонізація відбувається в той момент, коли молекула поглинає енергію світла газу. Фотонізація визначає заряд іонізованих газів для легких органічних сполук, що знаходяться в атмосфері.

Існують два різновиди газових детекторів: одногазові та мультигазові. Одногазові детектори відносяться до засобів індивідуального захисту, що призначені для визначення одного цільового газу.

Існують приміщення, які вимагають контролю лише одного цільового газу. Проте більшість промислових приміщень вимагають контролю наявності декількох токсичних та горючих газів. Мультигазові детектори зазвичай обладнані для моніторингу рівня кисню, при цьому здатні виявляти наявність токсичних і горючих газів в робочому середовищі.

2.3 Аналіз існуючих систем контролю загазованості промислових приміщень

2.3.1 Промисловий газоаналізатор Testo 350

Газоаналізатор Testo 350 (рисунок 2.2) використовується для котлів димових газів та контролю промислових викидів.



Рисунок 2.2 - Газоаналізатор Testo 350

Даний газоаналізатор оснащений системою самодіагностики, термозахистом датчиків, герметичним корпусом. Даний промисловий газоаналізатор повністю відповідає найвищим вимогам для вимірювання промислових викидів. Використовується для вимірювання викидів промислових двигунів, викидів на газових турбінах, вимірювання викидів у теплових процесах.

В комплект газового аналізатора Testo 350 входять встановлені датчики кисню, оксиду вуглецю, оксиду азоту та оксиду сірки. Додатково може бути встановлено ще п'ять будь-яких датчиків за вибором. Всього з приладом можуть

використовуватись до 10 різних давачів. Управління аналізатором відбувається за допомогою керуючого модуля. Також керуючий модуль може бути оснащений модулем Bluetooth для здійснення дистанційного керування вимірювань на великих промислових системах. Результати вимірювань можуть відразу передаватись на принтер для роздрукування даних про місце проведення вимірювань а також для аналізу даних на персональному комп'ютері. До 16 блоків газоаналізаторів за допомогою шини даних можна об'єднати в вимірювальну систему. Обмеження довжини шини даних становить 800 м.

До переваг газоаналізатора Testo 350 відносяться наступні:

герметичний корпус - прилад захищений від потрапляння бруду та пилу а також вологи під час експлуатації; швидке оновлення сенсорів - на підготовку до роботи газоаналізатору потрібно 30 секунд; захист від ударів корпусу забезпечує гумова захисна накладка на корпус. А також те, що кріплення керуючого модуля здійснюється дисплеєм всередину.

Аналізатор оснащений інтелектуальним меню, що дозволяє вибрати налаштування для різних видів вимірювань.

Газоаналізатори Testo 350 сертифіковані відповідно до технічних регламентів України.

Технічні характеристики газоаналізаторів Testo 350 наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 -Технічні характеристики газоаналізаторів Testo 350

Робоча температура	-5...+45°C
Температура зберігання	-20...+50°C
Елемент живлення	Через вбудований блок живлення (90 В... 260 В, 47-63 Hz) або від вбудованих акумуляторів
Пам'ять	250000 параметрів
Матеріал корпусу	ABS
Габарити	395x275x95 мм
Вага	3200 г
Вимірювання температури газу	

Діапазон вимірювань	-40...+1200°C
Похибка	±0,5 °С (-40...+99,9°C); ±0,% від змін. знач. (+100...+1200°C);
Дискретність	0,1°C
Вимірювання O ₂	
Діапазон вимірювань	0...+25 об.% O ₂
Похибка	±0,2 об.%
Дискретність	0,1 об.%
t90	20 с
Вимірювання CO	
Діапазон вимірювань	0...+100 ppm CO
Похибка	±0,5 від змін. зн. (+100...+2000 ppm CO); ±10% від змін. зн. (+2001...+10000 ppm CO); ±10% ppm CO (0...+99 ppm CO);
Дискретність	1 ppm CO
t90	40 с
Вимірювання CO низьке	
Діапазон вимірювань	0...+500 ppm CO
Похибка	±0,5% від змін. зн. (+40...+500 ppm CO); ±2% ppm CO (0...+39,9 ppm CO);
Дискретність	0,1 ppm CO
t90	40 с
Вимірювання NO	
Діапазон вимірювань	0...+3000 ppm NO
Похибка	±5% (+100...+1999,9 ppm NO); ±10% від змін. зн. ppm NO (+2000...+3000 ppm NO); ±5 ppm NO (0...+99 ppm NO);
Дискретність	1 ppm NO
t90	30 с

Вимірювання NO (низьке)	
Діапазон вимірювань	0...+300 ppm NO
Похибка	±5% від змін. зн. (+40...+300 ppm NO); ±2 ppm NO (0...+39,9 ppm NO);
Дискретність	0,1 ppm NO
t90	30 с
Вимірювання NO ₂	
Діапазон вимірювань	0...+500 ppm NO ₂
Похибка	±5% від змін. зн. (+100...+500 ppm NO ₂); ±5 ppm NO (0...+99,9 ppm NO ₂);
Дискретність	0,1 ppm NO ₂
t90	40 с
Вимірювання SO ₂	
Діапазон вимірювань	0...+5000 ppm SO ₂
Похибка	±5% (+100...+2000 ppm SO ₂); ±10%. від змін зн. ppm SO ₂ (+20001...+5000 ppm SO ₂); ±5 ppm NO (0...+99 ppm SO ₂);
Дискретність	1 ppm SO ₂
t90	30 с
НС модуль	
Діапазон вимірювань	0.01...4% (метан); 0,001...2.1 (пропан), 0,01...1.8% бутан
Похибка	<400 ppm (100...400 ppm); <10% від змін зн.
Дискретність	10 ppm
t90	<40 с
Вимірювання CO ₂	
Діапазон вимірювань	0...50 об. % CO ₂
Похибка	±0,3 об. %+1% від вимір. зн. (0...25 об.% CO ₂);

	$\pm 0,5$ об. % + 1,5% від вимір. зн. (25...50 об. % CO ₂);
Дискретність	0,01 об. % (0...25 об. %); 0,1 об. % (25...50 об. %);
t90	<10 с

2.3.2 Багатоканальна система загазованості Дозор-С

Призначенням багатоканальної системи загазованості Дозор-С (рисунок 2.3) є безперервний автоматичний контроль довибухонебезпечних концентрацій горючих газів, парів та їх сукупностей у повітрі робочого середовища та інших об'єктів, а також для підключення зовнішніх приладів при перевищенні граничних меж загазованості.

Горючі гази, що визначаються цим приладом: метан, пропан, бутан, гексан, окис вуглецю, вуглекислий газ, хлор, кисень, водень, сірководень, оксид азоту, діоксид азоту, аміак, сірчастий газ.

Також є можливість підключення давачів температури, тиску та рівня рідини.

Газоаналізатор Дозор-С випускається в корпусі «BOPLA» зі ступенем захисту IP-65, що дозволяє захистити прилад від пилопроникності та потраплянні на нього струменів води.

Вибухозахищене виконання давачів 1Exib IIBT4.

Стаціонарні газоаналізатори Дозор-С містять інтерфейс RS-232 для видачі цифрових сигналів на інші вимірювальні пристрої.

Володіють функцією архівування вимірюваних даних в режимі реального часу.



Рисунок 2.3 - Багатоканальна система загазованості Дозор-С

Кожний окремий канал вимірювання міститься в автономному, функціонально закінченому модулі. Модулі є універсальними та взаємозамінними. Кожен модуль має:

- мікропроцесорну систему обробки сигналу та цифровий пристрій відліку;
- систему безперебійного живлення в разі зникнення основного кола;
- функції блокування відключення об'єкту без відключення системи вентиляції на час проведення перевірки та технічного обслуговування;
- можливість наростити кількість каналів до 64;
- універсальне основне та резервне живлення постійного або змінного струму 24В/ 220В;
- дворівневу або трьохрівневу сигналізацію перевищення гранично допустимих концентрації.

Кожен модуль зберігає свою працездатність в разі відмови суміжних модулів чи блоку керування. Можливий одночасний контроль декількох газів що містяться в робочому середовищі двокрапка:

- кисень;
- сірководень;

- оксид вуглецю;
- метан.

Технічні характеристики системи загазованості Дозор-С представлені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2. Технічні характеристики системи загазованості Дозор-С

Кількість вимірювальних каналів	1...64
Діапазон робочих температур	-40°C...+70°C
Живлення <ul style="list-style-type: none"> – основне – резервне 	~220 В, ±220 В, ±24 В, ±24 В, ~220 В
Границі включення сигналізації: <ul style="list-style-type: none"> – попереджувальна – попередня сигнал відмова	Поріг 1 Поріг 2
Вихідні сигнали: <ul style="list-style-type: none"> – керування виконавчими пристроями сухий контакт реле – струмовий вихід – цифровий вихід 	2 А, 220 В 4-20 мА RS-485
Потужність на канал	6 Вт
Лінія зв'язку БПС - давач	3-х провідна, завадозахищена, до 1200 м
Габаритні розміри <ul style="list-style-type: none"> – БПС – давач 	450x176x310 мм 91x105x60 мм

Виробником даного газоаналізатора є НВП «Оріон». Дані газоаналізатори внесені до державних реєстрів України, мають свідоцтва про вибухозахищеність, дозволи на застосування «Управління Держпраці» України.

2.3.3 Промислові газоаналізатори Варта 1-03

Промислові газоаналізатори Варта 1-03 (рисунок 2.4, 2.4) використовуються для автоматичного неперервного контролю температури робочого середовища, довибухонебезпечних концентрацій пропану, метану, а також мікроконцентрації окису вуглецю в робочому середовищі промислових споживачів газу.



Рисунок 2.4 – Промисловий газоаналізатор Варта 1-03



Рисунок 2.5 – Первинні перетворювачі Варта 1-03

Даний сигналізатор представляє собою чотирьохканальний електронний прилад, здатний працювати з давачами кількістю до чотирьох. Давачі сигналізатора мають рівень вибухозахищеності 2ExdellAT6.

Давачі встановлюються у вибухонебезпечних зонах приміщень, в яких не виключена можливість утворення вибухонебезпечних сумішей газу з повітрям. Блок управління встановлюється поза межами вибухонебезпечних зон.

Сигналізатори Варта 1- 03 можуть працювати з любыми типами відсічних клапанів, а також сигнальних пристроїв на 12 В постійного струму або 220 В змінного струму.

Технічні характеристики: поріг спрацьовування

- контрольований компонент – метан: поріг 1-% НКПР 10 ± 5 , поріг 2%- НКПР ± 5 ;
- контрольований параметр - пропан поріг 1-% НКПР 10 ± 5 , поріг 2%- НКПР ± 5 ;
- контрольований компонент - окис вуглецю: поріг 1- об'ємна частка % $0,05 \pm 002$, поріг 2 - об'ємна частка % $0,01 \pm 0002$;
- контрольований параметр – температура: поріг спрацьовування $70 \text{ }^\circ\text{C}$;
- час спрацьовування на метан 60 с;

- час спрацьовування на пропан 60 с;
- час спрацьовування на чадний газ 180 секунд.

Напруга живлення ~220 В 50 Гц, 12 В постійного або змінного струму
потужність 10 Вт.

Габаритні розміри 170 x 190 x 90 мм.

В разі перевищення заданих значень концентрації контрольованих газів у робочому середовищі та температури повітря робочого середовища блок керування забезпечує видачу звукової та світлової сигналізації, а також видачі електричних сигналів на виконавчі пристрої та комутацію зовнішніх електричних кіл

Використовується для автоматичного неперервного контролю довибухонебезпечних концентрацій горючих газів у приміщенні, а також об'ємної частки окису вуглецю в робочому середовищі приміщення та для видачі електричних сигналів на входи зовнішніх пристроїв і комутації зовнішніх електричних кіл при перевищенні встановлених значень об'ємної долі контрольованих газів та температури.

Сигналізатор використовується для контролю загазованості робочого середовища в котельнях, в громадських будівлях та спорудах.

Особливістю газоаналізаторів Варта 1-03 слід вважати наявність цифрового вихідного сигналу та підтримку промислового протоколу передачі даних DCON. Це забезпечує можливість підключення давачів до промислових контролерів за допомогою інтерфейса RS-485 або до комп'ютерів. Таким чином є можливість створення сучасних та ефективних систем контролю загазованості.

Один з можливих варіантів підключення первинних вимірювальних приладів до газоаналізатора Варта 1-03 представлений на рисунку 2.6.

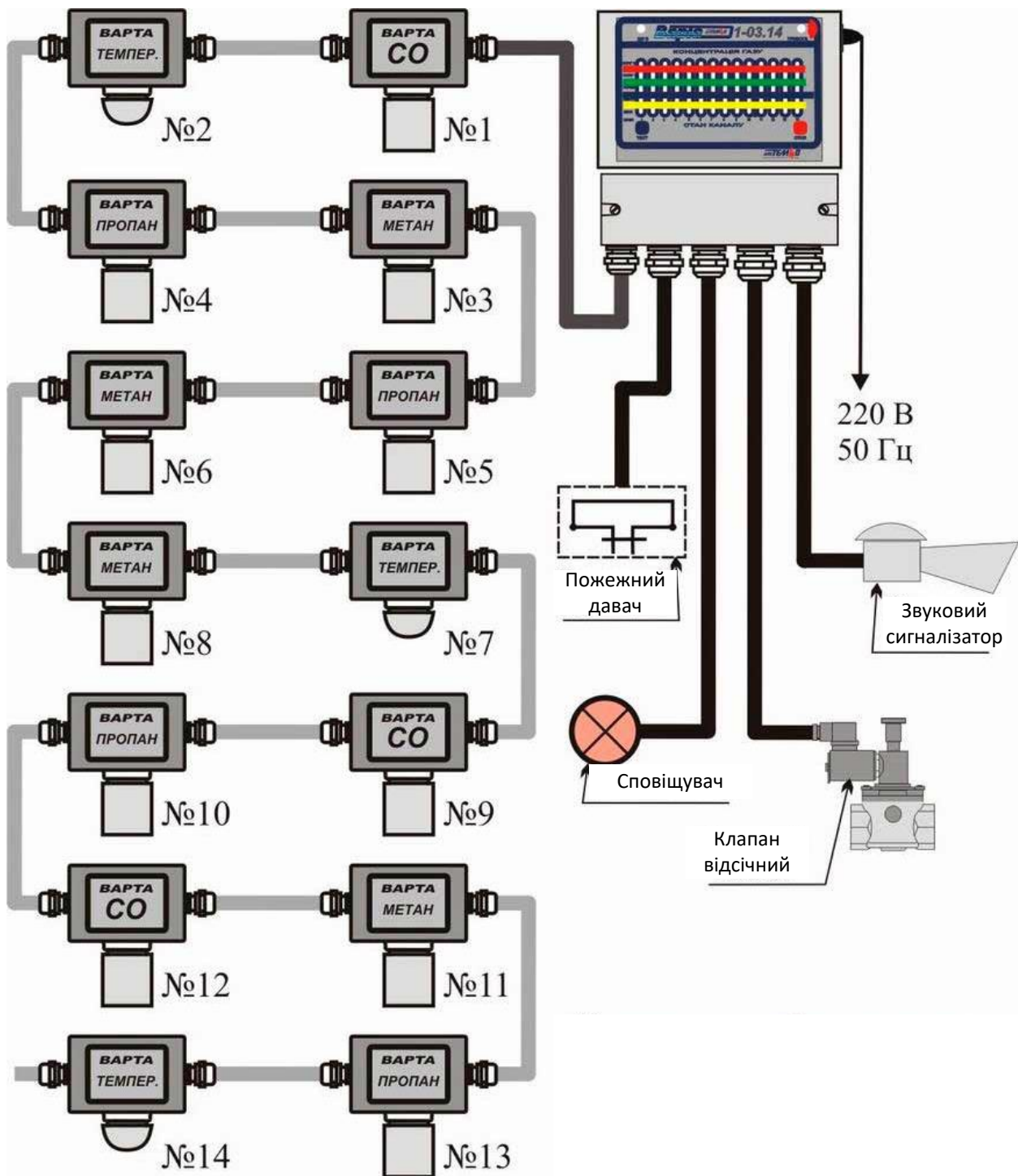


Рисунок 2.6 – Приклад підключення первинних вимірювальних приладів до газоаналізатора Варта 1-03.14

3 ОПИС ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

Об'єктом автоматизації в даній роботі обрано стан повітряного середовища промислового приміщення.

Промислові приміщення та побутові приміщення — дві різні категорії приміщень, що відрізняються за своїм функціональним призначенням та специфікою використання. У промислових приміщеннях здійснюється виробничий процес, зазвичай пов'язаний із виробництвом товарів або наданням послуг, у той час як побутові приміщення призначені для домашнього проживання та звичайних побутових потреб. Відмінності між цими двома типами приміщень стосуються їх розмірів, використання особливих технологічних систем та вимог безпеки, а також матеріалів та дизайну.

Характеристики промислових приміщень:

- Наявність спеціального обладнання та технологічного оснащення для здійснення виробничих операцій.
- Обмежений доступ для відвідувачів та фізична огорожа для забезпечення безпеки.
- Високі вимоги до контролю за станом обладнання та своєчасного його обслуговування.
- Можливість застосування спеціальних технічних регламентів та нормативних актів при проектуванні та експлуатації приміщення.
- Види виробничих приміщень:
 - Виробничі цехи та ділянки – приміщення, де здійснюється первинна обробка сировини та виробництво готових продуктів.
 - Склади сировини та матеріалів – приміщення для зберігання необхідних компонентів та елементів.
 - Лабораторії та випробувальні центри – приміщення, де здійснюється контроль якості та випробування готової продукції.

– Адміністративні приміщення та офіси – приміщення для організації управлінської діяльності та роботи працівників.

В якості прикладу промислового приміщення обрано приміщення газової котельні (фрагмент в якості зразка представлений на рисунку 3.1).

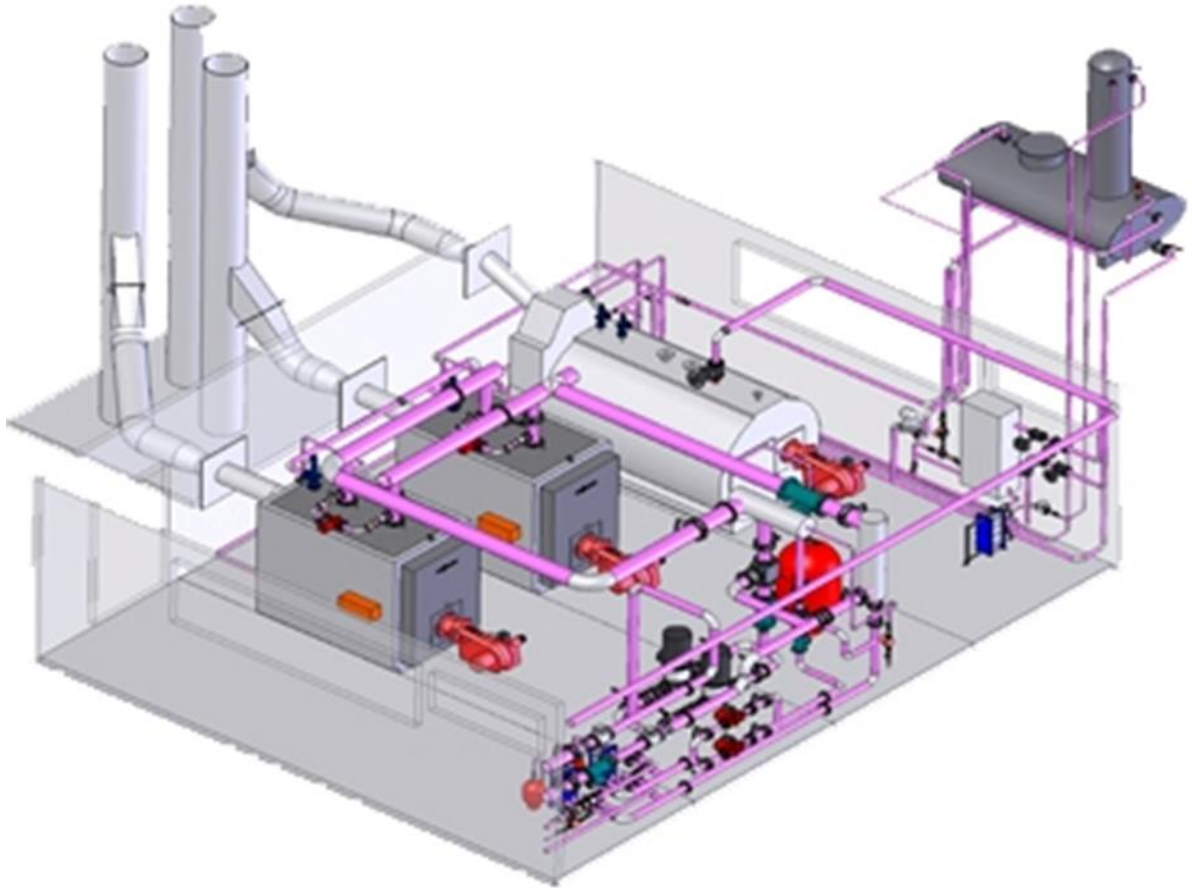


Рисунок 3.1 – Фрагмент газової котельні

Приміщення (в якості прикладу обране приміщення розміром $10 \times 10 \text{ м}^2$) умовно поділено на 9 робочих зон площею $\approx 11.1 \text{ м}^2$. В будь-якому місці даного приміщення можливе встановлення газового обладнання, наприклад – обладнання котельні, схема якої наведена на рисунку 3.2.

До шкідливих чинників, поява яких можлива в робочому середовищі, відносяться чадний газ CO, а також природний газ, переважну долю якого становить метан CH_4 . Вміст даних газів в повітрі приміщення негативним чином впливає на самопочуття та здоров'я обслуговуючого персоналу. До того ж

наявність даного газу в повітрі приміщення в певних концентраціях спроможна призвести до пожежі і навіть вибуху.

Таким чином, існує необхідність постійного моніторингу стану повітря на вміст вищезначених шкідливих чинників, 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, до яких відноситься обладнання природньої та примусової вентиляції приміщення.

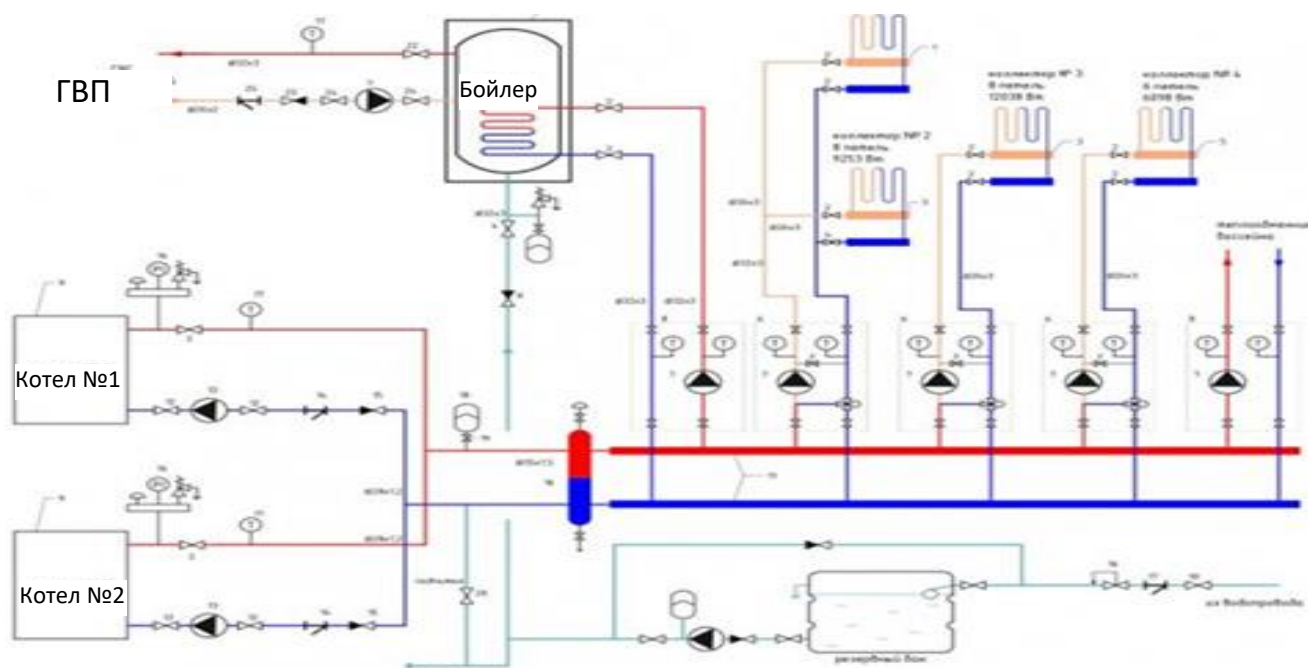


Рисунок 3.2 – Схема обладнання газової котельні

4 РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

4.1 Формування загальних вимог до системи автоматизації

Система автоматизації повинна забезпечувати (в кожній зоні, на які умовно поділене приміщення):

- контроль температури повітря в приміщенні;
- контроль полум'я всередині приміщення (виявлення пожежі);
- контроль рівня чадного газу CO в повітрі приміщення;
- контроль рівня природного газу CH₄ 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 CH₄ 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 запірного газового клапана виконуються сигналізатором Варта-2.03А, який встановлюється в кожній зоні приміщення (9 одиниць).

Натомість визначення пожежі, керування виконавчим механізмом пожежогасіння, витяжною вентиляцією, алгоритм роботи якої пов'язаний з наявністю або відсутністю пожежі, покладено на IoT – модулі, які також встановлюється в кожній зоні приміщення (9 одиниць).

Більш детально дані вимоги сформовані в таблиці 4.1

Таблиця 4.1 – 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 кожній зоні, 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 ₄ в повітрі приміщення, в кожній зоні, верхній частині приміщення, на висоті 180 см.	Контроль	Відображення, реєстрація, сигналізація,	Варта 2-03А, сервер
		Регулювання	Стабілізація	Вмикання штучної вентиляції, перекриття клапану подачі газу

4	Температура повітря всередині приміщення, в кожній зоні приміщення, в верхній частині приміщення, на висоті 180 см .	Контроль	Відображення, реєстрація, сигналізація	ІоТ – модуль, сервер
		Регулювання	Стабілізація	Вимикання штучної вентиляції, перекриття клапану подачі газу, вмикання системи пожежогасіння
5	Наявність полум'я всередині приміщення, в кожній зоні, в верхній частині приміщення.	Контроль	Відображення, реєстрація, сигналізація	ІоТ – модуль, сервер
		Регулювання	Стабілізація	Вимикання штучної вентиляції, перекриття клапану подачі газу, вмикання системи пожежогасіння

4.2 Розробка схеми автоматизації

Функціональна схема автоматизації представлена на кресленні (СУ.мдн-31п.174.02 С2). Елементи схеми представлені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Елементи функціональної схеми автоматизації

Номер на схемі	Позначення елемента	Найменування, функція
1,6,11,16,21,26, 31,36,41	TE	Первинний вимірювальний перетворювач, встановлений на місці, вимірювання температури всередині корпусу Варта-2.03А
2,7,12,17,22,27, 32,37,42	QE	Первинний вимірювальний перетворювач, встановлений на місці, вимірювання рівня чадного газу СО в повітрі приміщення (в складі Варта-2.03А)
3,8,13,18,23,28, 33,38,43	QE	Первинний вимірювальний перетворювач, встановлений на місці, природного газу СН ₄ в повітрі приміщення (в складі Варта-2.03А)
4,9,14,19,24,29, 34,39,44	TE	Первинний вимірювальний перетворювач, встановлений на місці, вимірювання температури всередині приміщення – контроль пожежі (в складі IoT – модуля)
5,10,15,20,25, 30,35,40,45	BE	Первинний вимірювальний перетворювач, встановлений на місці, контроль полум'я всередині приміщення – контроль пожежі (в складі IoT – модуля)
46	QSA	Пристрій світловий сигналізуючий (в складі Варта-2.03А)
47	QSA	Пристрій звуковий сигналізуючий (в складі Варта-2.03А)

48,51	NS	Пристрій включення – відключення примусової вентиляції (в складі IoT – модуля)
49,50	NS	Пристрій керування піротехнічним пускачем системи пожежогасіння (в складі IoT – модуля)
52	NS	Пристрій включення – відключення, відкриття-закриття запірною газового клапана (в складі Варта-2.03А)

4.3 Вибір засобів автоматизації

4.3.1 Давач температури DS18B20

Давач температури DS18B20 (рисунок 4.1) є цифровий клоном давача Dallas DS18B20 з повністю аналогічними параметрами.

Цифровий термометр DS18B20 забезпечує 9-бітові – 12-бітові вимірювання температури за Цельсієм та має функцію сигналізації з енергонезалежними програмованими користувачем верхніми та нижніми точками спрацьовування.

DS18B20 взаємодіє по шині 1-Wire, якій за визначенням потрібна лише одна лінія даних (і земля) для зв'язку з центральним мікропроцесором. Він має робочий діапазон температур від -55 °C до +125 °C та точність $\pm 0,5$ °C у діапазоні від -10 °C до +85 °C.

Крім того, DS18B20 може отримувати живлення безпосередньо від лінії даних («паразитне живлення»), виключаючи необхідність у зовнішньому джерелі живлення.

Кожен DS18B20 має унікальний 64-бітовий послідовний код, який дозволяє кільком DS18B20 працювати на одній і тій же шині 1-Wire. Таким чином, просто використовувати один мікропроцесор для керування безліччю DS18B20, розподілених за великою площею.

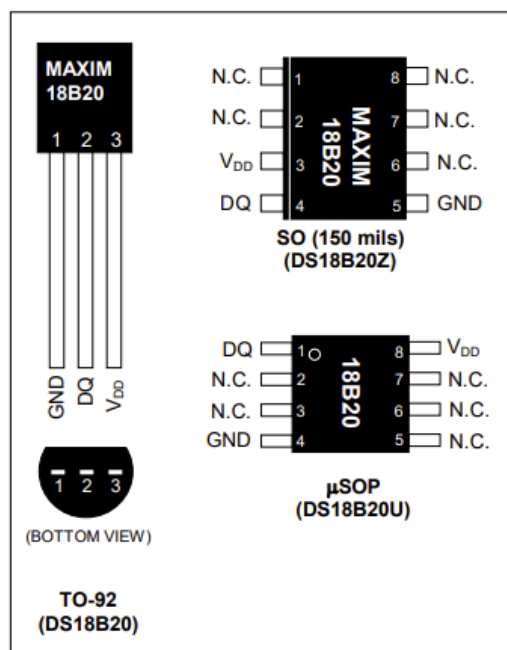


Рисунок 4.1 - Конфігурації контактів датчик температури DS18B20

Програми, які можуть отримати вигоду з цієї функції, включають HVAC контроль докiлля, системи монiторингу температури всерединi будiвель, обладнання або машин, а також системи монiторингу та управлiння процесами. До особливостей даного датчика слiд вiднести наступнi.

- Унiкальний iнтерфейс 1-Wire вимагає лише одного контакту порту для зв'язку
- Кожен пристрiй має унiкальний 64-бiтовий послiдовний код, що зберiгається у вбудованому ПЗУ
- Можливість багатоточкового пiдключення спрощує розподiленi програми для вимiрювання температури
- Не потребує зовнiшнiх компонентiв
- Може житися вiд лiнii передачi; дiапазон напруги живлення вiд 3,0 В до 5,5 В
- Вимiрює температуру вiд -55 °C до +125 °C (вiд -67 °F до +257 °F)
- Точнiсть $\pm 0,5$ °C вiд -10 °C до +85 °C
- Роздiльна здатнiсть вибирається користувачем iд 9 до 12 бiт

- Перетворює температуру на 12-бітове цифрове слово за 750 мс (макс.)
 - Визначаються користувачем енергонезалежні (NV) налаштування
 - сигналізації
 - Команда пошуку сигналізації ідентифікує та адресує пристрої, температура яких виходить за межі запрограмованих меж (умова сигналізації температури)
 - Доступний у корпусах 8-контактний SO, 8-контактний μ SOP та 3-контактний TO-92
 - Програмне забезпечення сумісне з DS18B22
 - Додатки включають термостатичні регулятори, промислові системи, споживчі товари, термометри або будь-які термочутливі системи
- Схема підключення DS18B20 наведена на рисунку 4.2.

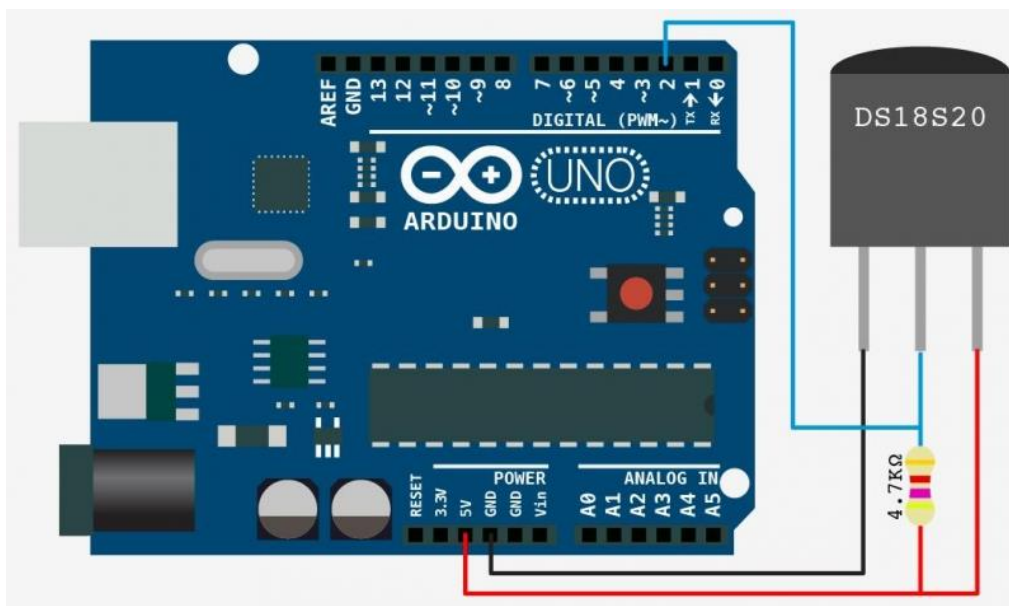


Рисунок 4.2 - Схема підключення DS18B20

4.3.2 Модуль давача полум'я KY-026

Модуль давача полум'я KY-026 (рисунок 4.3) реагує на інфрачервоне випромінювання (відкритий вогонь). Сприймаючим елементом давача служить фотодіод, найбільш чутливий до довжин хвиль від 760 нм до 1100 нм.

Напруга живлення (V_{cc}): 3.5 - 5.5 В;

Діапазон чутливості: 760 – 1100 нм;

Кут виявлення полум'я: 60°;

Сигнал на виході компаратора LM393: 15 мА;

Два виходи: DO цифровий (0 або 1) та АО аналоговий;

Розміри: 36 x 16 мм.

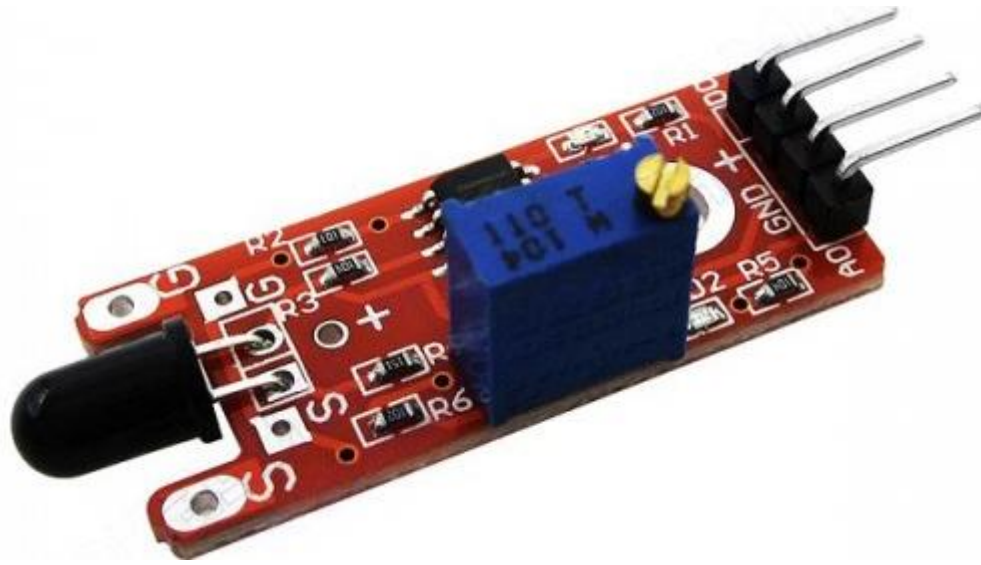


Рисунок 4.3 - Модуль давача полум'я KY-026

Давач чутливий до звичайного світла. Відстань тестування 80 см, щоб не пошкодити давач, чим більше полум'я, тим більше має бути відстань

Давач має два виходи: АО (аналоговий) та DO (цифровий) і легко підключається до плат Arduino.

Як пороговий елемент цифрового виходу використаний компаратор LM393. На платі є 2 світлодіоди – індикації живлення та індикації виходу з компаратора при виявленні вогню.

Регулювання порога перемикання цифрового виходу здійснюється підстроювальним резистором на платі давача.

Позначення виводів давача:

Вивід з міткою «АО» → аналоговий вихід (у режимі реального часу вихідна напруга сигналу реагує на тепловий опір);

Ввід із позначкою «G» → GND мінус живлення;

Вивід із міткою «+» → V_{CC} плюс живлення;

Вивід з міткою «DO» → цифровий вихід (коли температура досягає певного порога, спрацьовує вихід високого та низького порога, сигналізуючи про вогонь).

При використанні тільки цифрового сигналу (трьох контактів крім A0), що є найпростішим застосуванням, модуль давача полум'я з'єднують джгутом зі спеціальними модулями розширення Ардуїно, що містять орієнтовані на такі підключення групи контактів.

Це зручно під час відпрацювання складних схем. Модулі розширення вибираються відповідно до типу плати контролера.

Фотодіод з'єднаний із входом компаратора, виконаного на мікросхемі LM393. За допомогою підстроювального резистора виконується налаштування порога спрацювання компаратора. Так установлюється чутливість давача вогню. При виявленні полум'я яскравістю вище за встановлену при налаштуванні на виході D0 буде високий рівень напруги. Якщо вогню немає або його яскравість мала, то на виході D0 низький рівень. На аналоговий вихід надходить посилений сигнал фотодіода.

4.3.3 Вентилятор вибухозахищений Systemair DVS 400 DS Sileo

В якості витяжного вентилятора пропонується використання вибухозахищеного дахового вентилятора Systemair DVS 400 DS Sileo виробництва Швеції з трифазним електродвигуном (рисунок 4.4), технічні характеристики якого наведені нижче.

До переваг даного вентилятора слід віднести:

- Має сертифікат відповідності вимогам директиви АТЕХ 94/9/ЕС;
- Клас вибухозахисту Ex e (підвищена надійність);
- Регулювання швидкості;
- Вертикальний потік повітря;
- Вбудовані термістори;
- Клас ізоляції F;

- Захист двигуна U-EK230E;
- Сертифікат SP 07ATEX3129X;
- Вибухозахищене виконання II 2G с Ex e IIB T3.



Рисунок 4.4 - Вентилятор вибухозахищений Systemair DVS 400 DS Sileo

Характеристика продуктивності даного вентилятора наведені на рисунку 4.5.

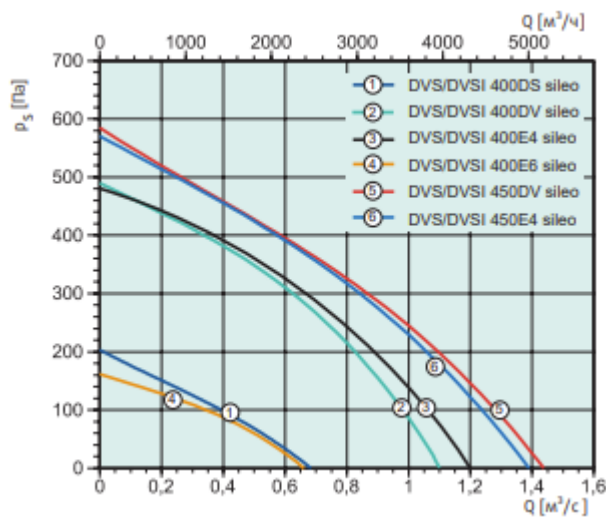


Рисунок 4.5 – Графік продуктивності вентилятора DVS 400 DS Sileo (1)

Технічні характеристики:

Напруга, В: 400;

Потужність, Вт: 129;

Сила струму, А: 0,255;

Фазність: 3;

Продуктивність, м³/година: 2462;

Швидкість обертання, об/хв: 797;

Клас захисту пристрою, IP: 54;

Температура робочого середовища, °C: 60.

Для захисту електродвигуна служать вбудовані позистори спільно з пристроєм захисту.

Вентилятор обладнаний перемикачем швидкості Systemair S-DT2SKT Two Speed Switch Y/D для зміни швидкості 2-швидкісних трифазних електродвигунів зміною способу підключення трикутник / зірка перемиканням за схемою Даландера.

Вентилятори розраховані на умови, відповідні до температурних класів T1, T2 і T3. Крім цього, дані вентилятори підходять для видалення потенційно вибухонебезпечних газів в зоні 1 і 2, а також середовищ з вмістом речовин групи ПА і ПВ.

4.3.4 Клапан запірний M16/RM

Електромагнітний клапан серії M16/RM NC (рисунок 4.6) - 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.



Рисунок 4.6 - Клапан запірний MP16/RM

4.3.5 Система газового пожежогасіння "ІМПУЛЬС"

Автоматичні системи газового пожежогасіння складаються з одного або декількох модулів, підключених до розподільного трубопроводу з насадками. Побудова системи пожежогасіння ґрунтується на правильному розрахунку маси вогнегасної речовини, гідравлічних розрахунках (підтвердження подачі вогнегасної речовини в об'єм, що захищається менш ніж за 10 с), підборі компонентів (з'єднувач жорсткий, зворотний клапан, насадок газовий, колектор, кріплення балонів, сигналізатор тиску і обладнання для випробування розподільного обладнання).

Для правильного і точного вибору системи пожежогасіння з підбором супутніх компонентів необхідні максимально коректні вихідні дані: габарити захищуваного приміщення, місце для установки модулів, наявність фальш-стелі, фальш-підлоги, наявність/відсутність персоналу і т. д.

Системи "Імпульс" перекривають весь спектр нормативних вимог, особливості об'єктів різного призначення.

Модулі в складі системи газового пожежогасіння можуть бути оснащені пусками (рисунок 4.7):

РЕ - електричний з дублюючим ручним пускачем;

ПНРЕ - електричний і пневматичний з дублюючим ручним пускачем;

ПН - пневматичний;

Параметри електричного пуску:

Номинальна напруга В $24 \pm 2,0$

Номинальний струм А $0,5 + 0,2$

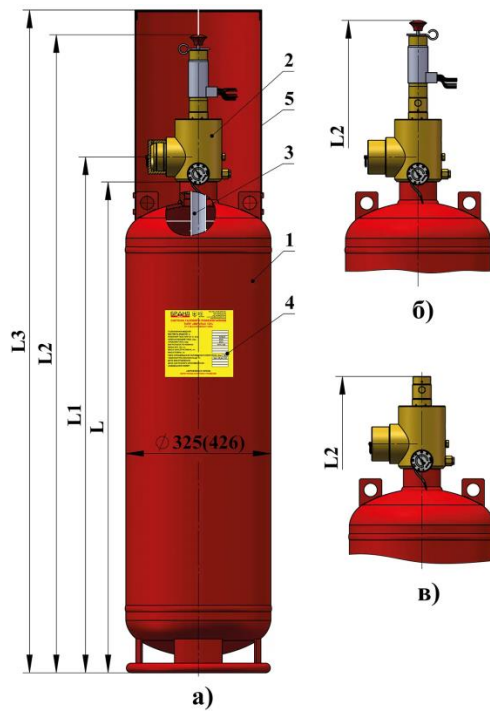


Рисунок 4.7 – Модуль із запірно-пусковим пристроєм: а) модуль з «РЕ» пускачем ЗПП; б) модуль з «ПНРЕ» пускачем ЗПП; в) модуль з «ПН» пускачем ЗПП

5 ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕРФЕЙСНОГО МОДУЛЯ-ПЕРЕТВОРЮВАЧА ТА СИГНАЛІЗАТОРА «ВАРТА 2-03А» У ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТАХ

Згідно з технічної документації на сигналізатор «ВАРТА 2-03А» його ключовими захисними та діагностичними функціями є наступні:

- Контроль значення концентрації угарного газу (CO) у приміщенні;
- Контроль значення концентрації метану (CH₄) 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.

Цей 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 сигналу для спрацювання відсічного клапана, а також сервісні данні миттєвого стану сенсорів приладу можна отримати безпосередньо з приладу, використавши його вбудований сервісно-технологічний роз'єм «ХР4» за протоколом DCON, таблицю ключових команд та структуру пакета даних якого наведено у додатку А.

Аналізуючи можливість використання зв'язки «ВАРТА 2-03А + інтерфейсний модуль» (мається на увазі інтерфейсний модуль розробки кафедри комп'ютеризованих систем управління Сумського державного університету) у промислових рішеннях, можна сформулювати ряд пунктів, враховуючи які відповідне використання можливе та має певний сенс:

1) Відповідна зв'язка повинна використовуватись за зонним принципом (зона охоплення $\sim 16 \text{ м}^2$), тому кількість сигналізаторів на приміщення більшої площі попередньо повинна бути розрахованою за пропорційною залежністю.

2) Реалізація протоколу DCON має ряд певних обмежень у промислових рішеннях (не має чіткого стандарту), тому код відповідного інтерфейсного модуля (мається на увазі інтерфейсний модуль розробки кафедри комп'ютеризованих систем управління Сумського державного університету), повинен бути доопрацьований під промислові стандарти, наприклад під протокол Modbus TCP.

3) Додатково підсилити функціональні можливості відповідної зв'язки в межах зони її впливу та діагностичних можливостей за рахунок спорідненого використання з IoT-модулем (розробка кафедри комп'ютеризованих систем управління Сумського державного університету, див. додаток Б).

4) IoT-модуль, у спорідненому блоці зі зв'язкою «ВАРТА 2-03А + інтерфейсний модуль», має бути вдосконаленим під можливість проведення аналогових вимірювань (для реєстрації наявності полум'я) та передачу отриманих даних за протоколом Modbus TCP до серверу.

5.1 Структурна схема та адресний простір спорідненого блоку «ВАРТА 2-03А + інтерфейсний модуль + IoT-модуль»

На структурній схемі нижче наведено взаємне розташування елементів спорідненого блоку з ілюстрацією інформаційно-керуючих взаємодій з зовнішніми елементами відповідної інформаційно-керуючої мережі.

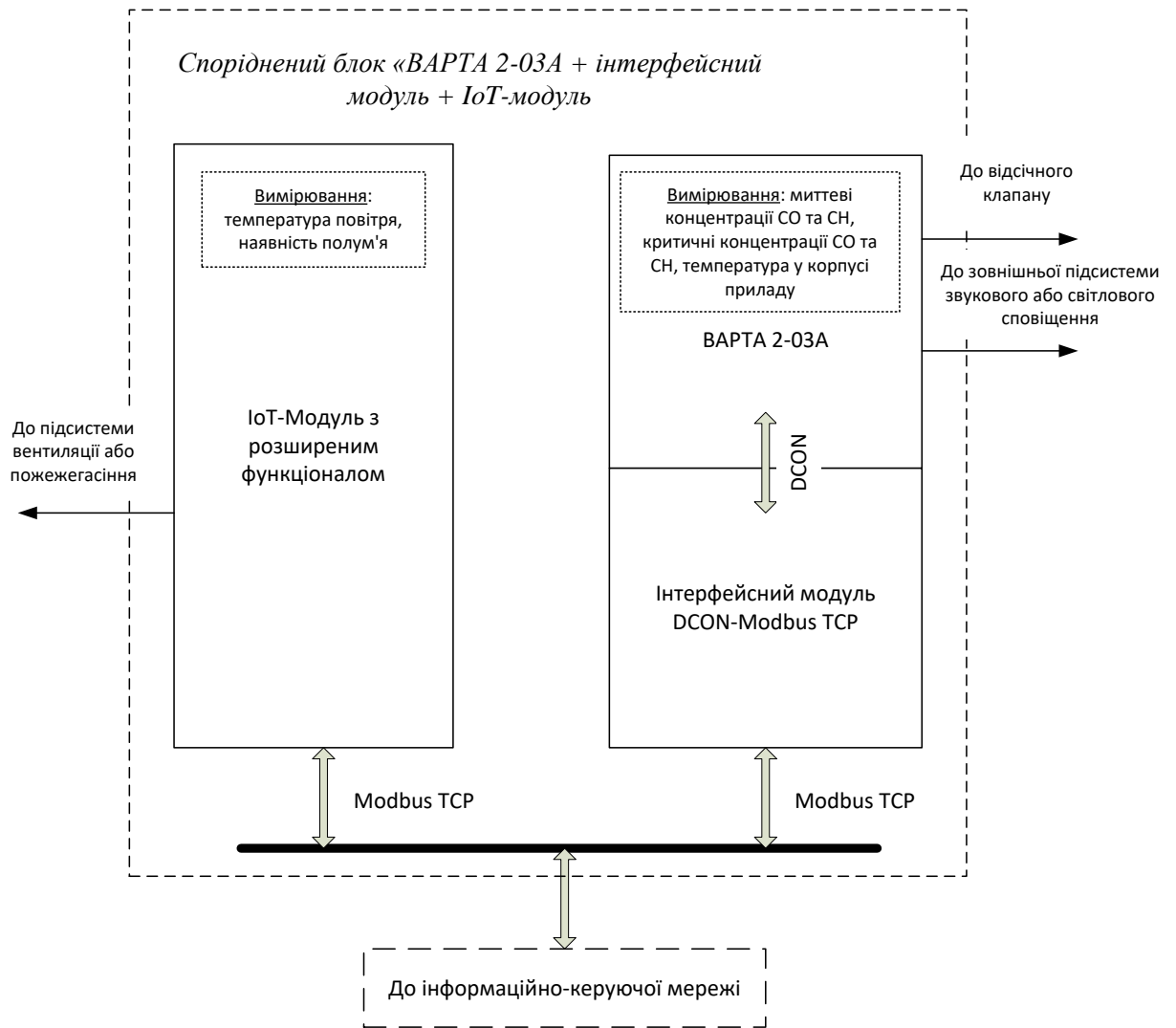


Рисунок 5.1 - Структурна схема спорідненого блоку «ВАРТА 2-03А + інтерфейсний модуль + IoT-модуль»

Відповідно, у подальшому, споріднений блок «ВАРТА 2-03А + інтерфейсний модуль + IoT-модуль» можна розглядати як окремий засіб системи керування (скорочено - «споріднений блок») якістю повітря відповідного промислового приміщення, с зоною охоплення $\sim 16 \text{ м}^2$ та певним адресним простором (таблицю буде наведено у подальшому).

5.2 Апаратна реалізація інтерфейсного модуля-перетворювача

Головною особливістю ключового пристрою системи керування рівня загазованості 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 (мультиплексується 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 5.2 .

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 протоколу Modbus TCP.
- 2) Функція отримання довідкової та сервісної інформації по послідовному UART інтерфейсу.
- 3) Функція швидкого пошуку модуля в мережі за протоколом DNS (Domain Name System).

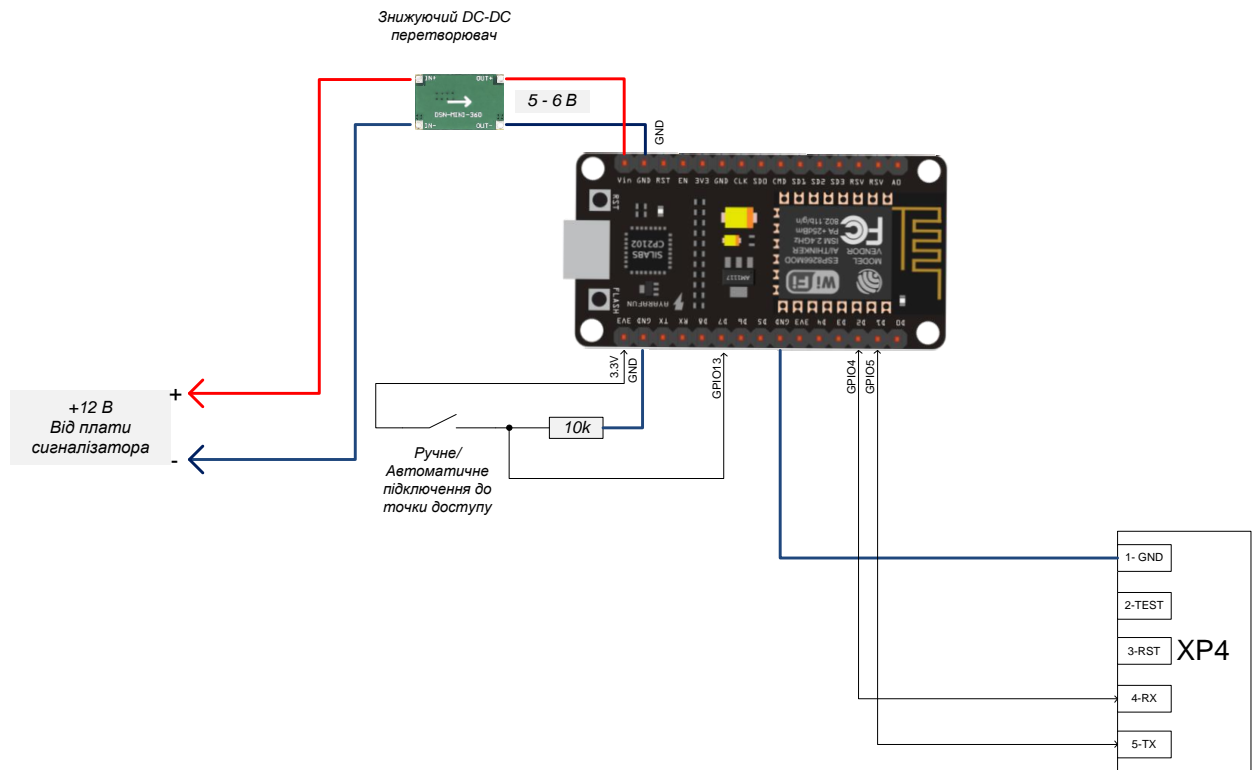


Рисунок 5.2 - Схема підключення сигналізатора ВАРТА 2-03А до відладочної плати ESP8266 12F NodeMCU

5.3 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 А.1.

3) Ручна реалізація функцій для роботи з фреймами протоколу Modbus TCP, частина сервісних повідомлень модуля за інтерфейсом UART.

Якщо проілюструвати перелічену вище функціональну структуру коду прошивки інтерфейсного модуля, то на рисунках 5.3-5.5 наведено скріншоти ключових елементів відповідної структури.

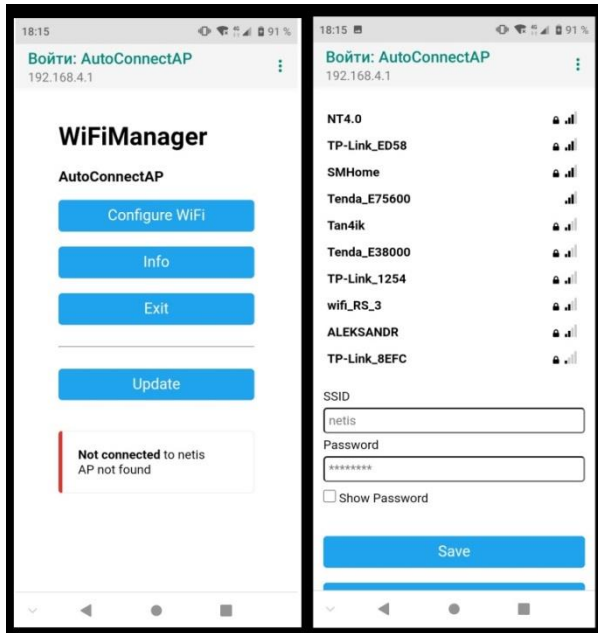


Рисунок 5.3- Web-оболонка інтерфейсного модуля

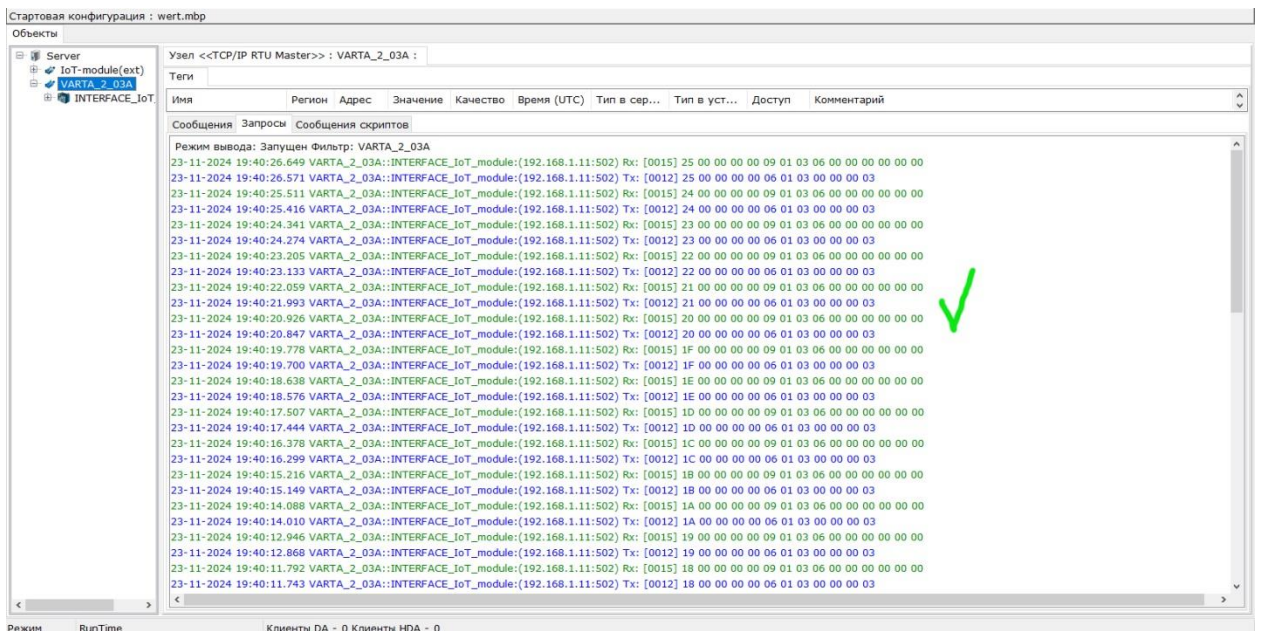


Рисунок 5.4 – Результат протокольного перетворення та редіректінга інтерфейсним модулем даних з сигналізатора «ВАРТА 2-03А» на зовнішній Modbus TCP-сервер (Master)

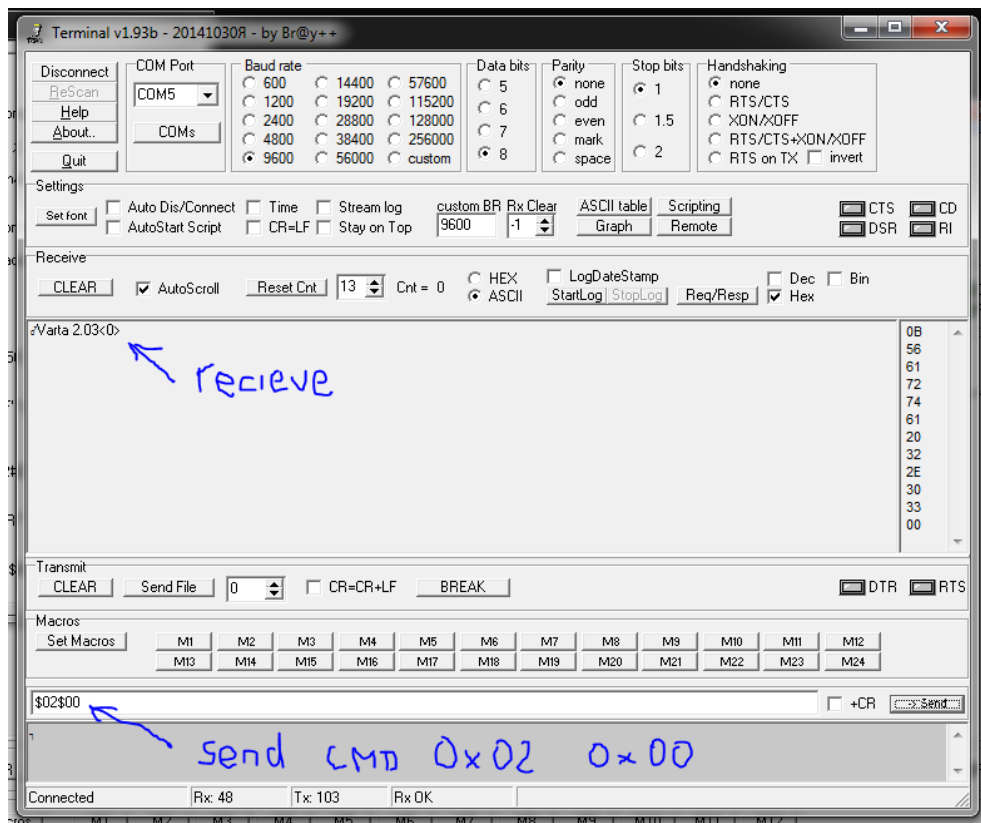


Рисунок 5.5 – Приклад формування сигналізатором «ВАРТА 2-03А» відповідей на команди інтерфейсного модуля за протоколом DCON

6 ОРГАНІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧОЇ ВЗАЄМОДІЇ В СИСТЕМІ КЕРУВАННЯ

Враховуючи, що подальше структурування системи керування відбуватиметься на основі зонного поділу площі приміщення з газовим обладнанням, причому ключовим засобом автоматизації у кожній зоні є окремий споріднений блок (опис наведено раніше), то обґрунтованим стає використання у якості спільної інформаційно-керуючої мережі бездротової mesh-мережі, здатної забезпечити необхідний ступінь резервувань по всім інформаційним каналам.

Mesh-системи відносяться до мережевих засобів з сучасною концепцією організації бездротової мережі, здатної самостійно організовувати, структурувати та масштабувати розподілену мережу за Wi-Fi та, що є вкрай важливим, кожен вузол якої є рівноправним та ідентичним сусідньому.

Головна перевага мережевої mesh-технології полягає в тому, що це є найпростішим способом розгортання швидкої Wi-Fi мережі на великих площах, який не вимагає прокладання кабелю та особливих знань. Все, що знадобиться, так це наявність електричних розеток для подачі живлення модулям маршрутизації та будь-який смартфон зі спеціальним додатком для початкового налаштування мережі.

Тоді, відповідно, структура інформаційно-керуючої мережі повинна відповідати такій, як наведено на рисунку 6.1.

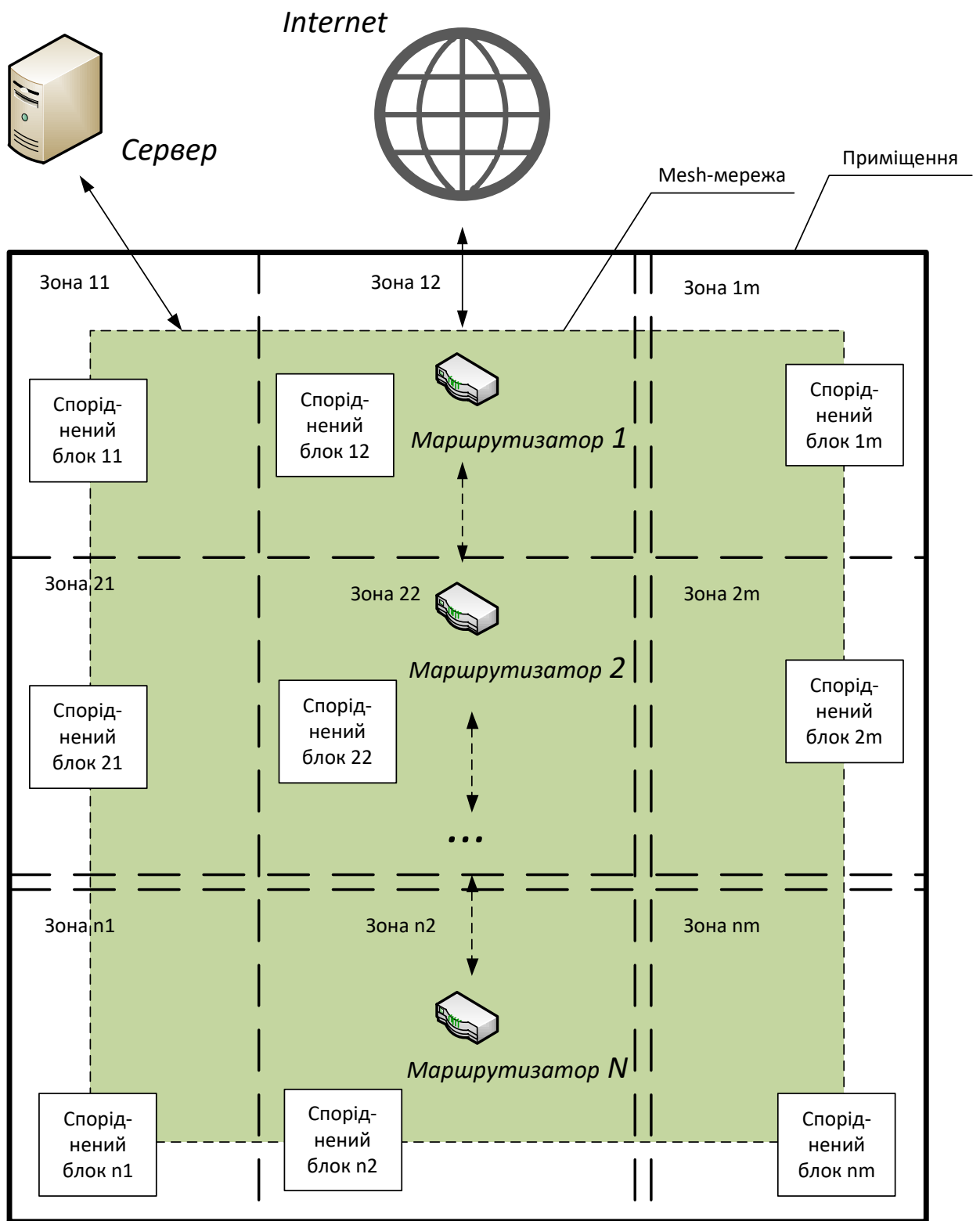


Рисунок 6.1 – Структурна схема інформаційно-керуючої мережі для керування та корекції якості повітря у промисловому приміщенні з газовим обладнанням

Адресний простір ключових елементів інформаційно-керуючої мережі для керування та корекції якості повітря у промисловому 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 6.1).

Таблиця 6.1

Протокол	Порт	Назва змінної	Тип змінної, адреса	Тип підпорядкування, ID
Зв'язка «ВАРТА 2-03А + інтерфейсний модуль». Споріднений блок nm				
ModBus TCP	502	Концентрація СН, Критична концентрація СН, Концентрація СО, Критична концентрація СО, Температура у корпусі приладу	INPUT REGISTER, 0-4	Slave, 1
DNS	80	Request	Request, <Chip_IP>	Station
IoT – пристрій з розширеним функціоналом. Споріднений блок nm				
ModBus TCP	502	Температура, Значення датчика наявності полум'я	INPUT REGISTER, 0-1	Slave, 1
ModBus TCP	502	Включення/виключення витяжної вентиляції або пристрою	COIL, 0	Slave, 1

		пожежегасіння		
TCP/IP	80	Update file	Binary	Client
mDNS	80	Request	Request, <Chip_ID>- esp8266.local/	Client

Всі споріднені блоки, а відповідно і їх складові, отримують різні IP-адреси при підключенні до mesh-мережі, чим саме і забезпечується інформаційна розгалуженість запитів з сервера.

Відповідно, схема інформаційних потоків у системі керування на основі складових споріднених блоків приєднаних до mesh-мережі повинна мати вигляд, наведений на рисунку 6.2.

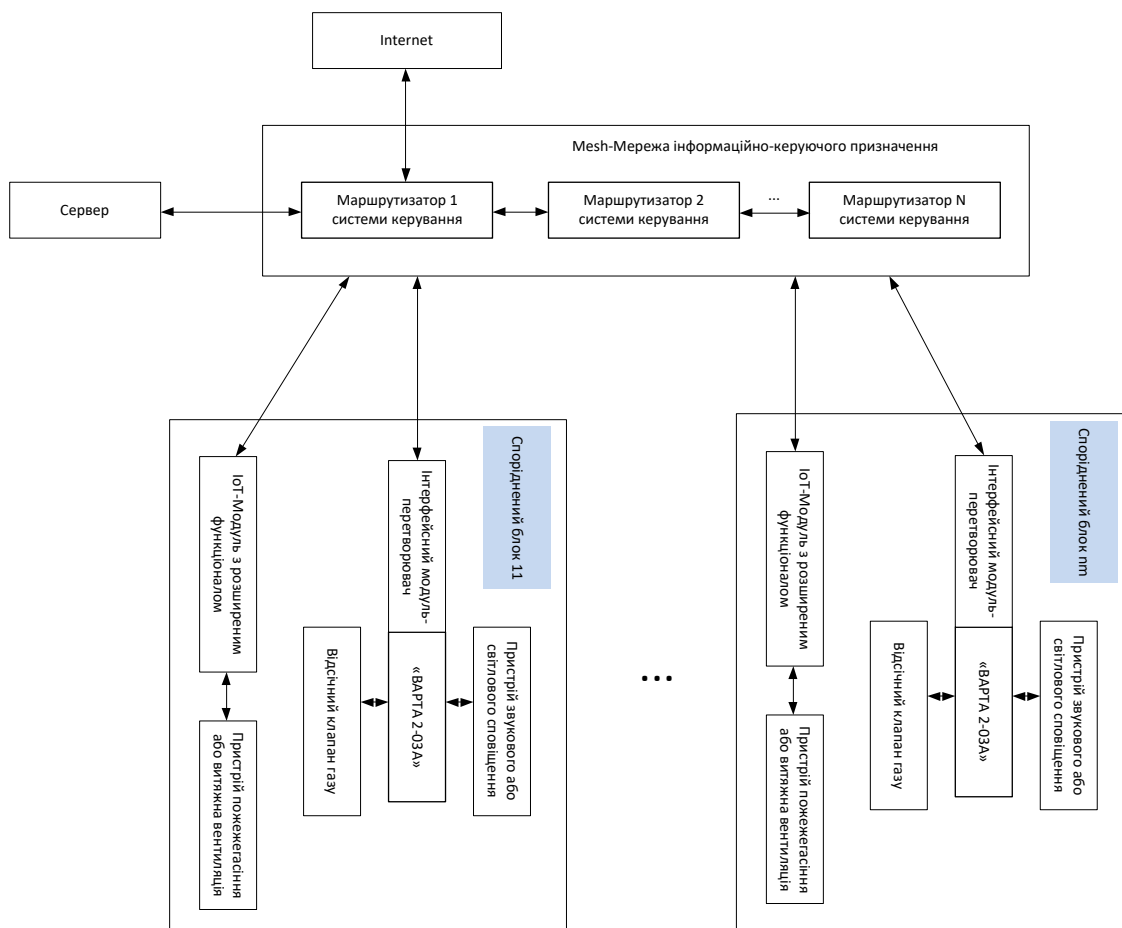


Рисунок 6.2 - Схема інформаційних потоків у системі керування та корекції якості повітря у побутовому приміщенні з газовим обладнанням

Узагальнюючи інформацію наведену в таблиці 6.1 та на рисунках 6.1 і 6.2 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 на основі його внутрішнього алгоритму. Всю миттєво отриману інформацію про стан повітря у приміщенні, а також про температурний стан самого приладу він передає через розроблений інтерфейсний модуль (через протокол Modbus TCP) до серверу для подальшого опрацювання. Іншого прямого впливу в системі керування на відсічний клапан не має жоден прилад. Керування витяжною вентиляцією від «ВАРТА 2-03А» не використовується.

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

- Наявність в приміщенні осередку локального займання або локальної загазованості негайно виявляється за значеннями температур, концентрацій газів, показів датчиків наявності полум'я виміряних та переданих до серверу зі споріднених блоків («ВАРТА 2-03А + інтерфейсний модуль + IoT-модуль»).

- Сервер (через вбудований веб-інтерфейс) здатний через глобальну мережу забезпечувати дистанційний моніторинг та контроль стану повітря у приміщенні, а також інформацію про зонну локалізацію загазованості та/або розрашування (за зонами) осередків займання у приміщення в реальному часі та передавати негайно зворотній вплив у систему керування.

7 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ ВИТЯЖНОЮ ВЕНТИЛЯЦІЄЮ ПРОМИСЛОВОГО ПРИМІЩЕННЯ З ГАЗОВИМ ОБЛАДНАННЯМ

7.1 Опис причино-наслідкових зв'язків в об'єкті керування

В даній роботі об'єктом керування зручніше взяти саме окрему зону промислового приміщення з точковим вентиляційним приладом та розглядати його на рівні відповідних причино-наслідкових зв'язків (рисунок 7.1) за методом, наведеним у роботі [17]. Враховуючи, що найбільш важливим (за відсутністю пожежонебезпечної ситуації) є контроль CH_4 , вхідними параметрами будуть:

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

Вихідними параметрами будуть:

- Концентрація CH_4 ;
- Кількість прокачаної повітряної суміші.

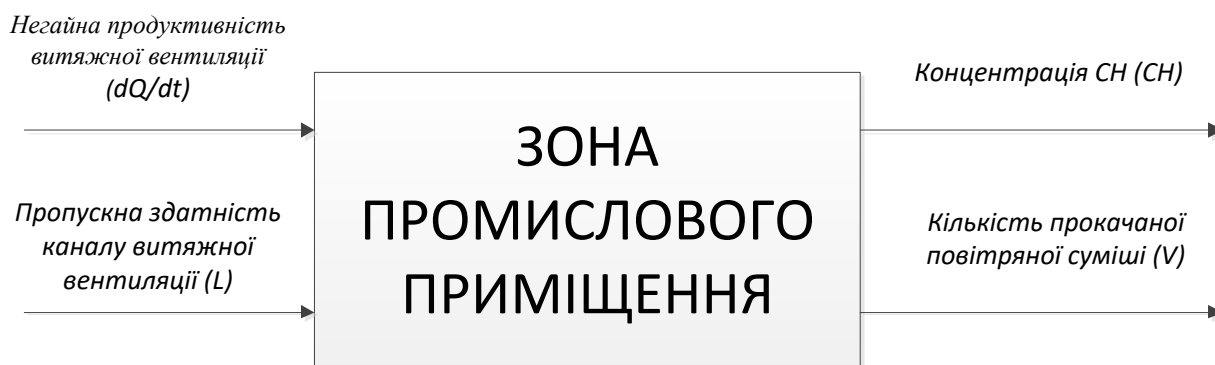


Рисунок 7.1 - Графічне представлення зони промислового приміщення та його вхідних і вихідних параметрів

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 CH_4 (V) до заданого значення концентрації (CH_4) 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 .

7.2 Структурна схема підсистеми вентиляції зони промислового приміщення

Враховуючи все наведене вище щодо формалізованого опису процесу керування якістю повітря у зоні приміщення, можна структурно представити відповідну підсистему у вигляді структурної схеми (рисунок 7.2).

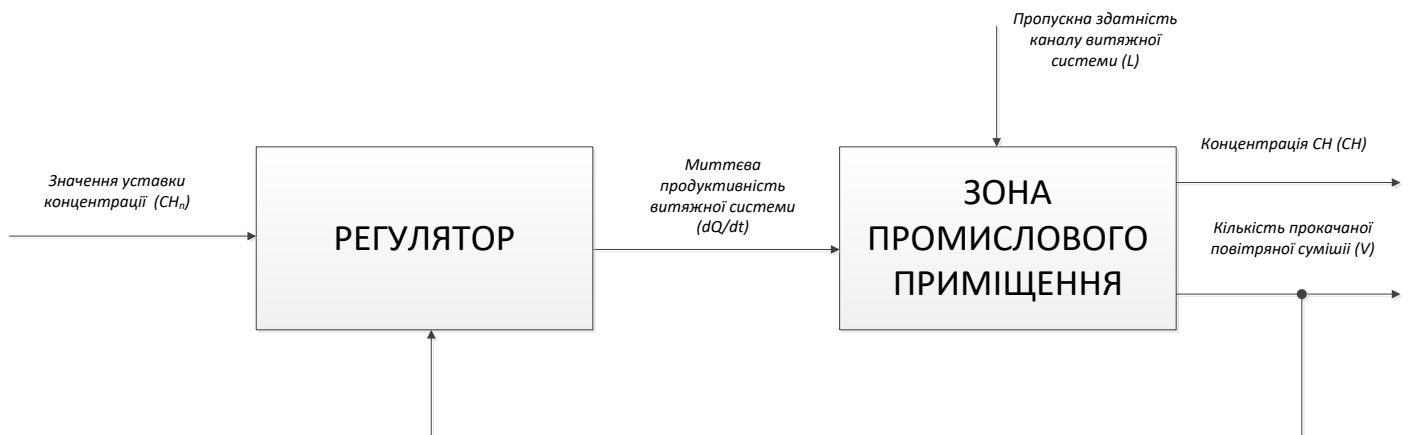


Рисунок 7.2 - Структурна схема контуру регулювання концентрації CH_4 у зоні приміщення

Головною особливістю практичної реалізації даної системи керування є те, що у якості основного виконуючого пристрою використовується система, побудована на основі асинхронного двигуна змінного струму, швидкість

обертання якого підлягає трьохпозиційному регулюванню («вимкнено-трикутник-зірка»), тому відповідне дозування кількості прокачаної повітряної суміші у часі можна реалізувати лише завдяки регламентованому повному включенню приводу (схему з'єднання обмоток «зірка»), переключенню його на схему з'єднання обмоток «трикутник» або повному відключенню відповідного двигуна.

Реалізація автоматичного керування буде здійснюватися шляхом використання описаного раніше IoT- пристрою з розширеним функціоналом (елементу спорідненого блоку). Цей пристрій має вбудовані функції для його інтеграції в локальну мережу приміщення, виміру температури та наявності полум'я за місцем, а також та релейного включення/виключення/переключення обкладинок доданого до нього асинхронного двигуна. Передавання та обмін даними з зовнішнім сервером або сервісом забезпечуватиметься за промисловим протоколом ModBus TCP .

Бажане рішення при керуванні можна реалізувати, якщо спочатку отримати адаптаційну характеристику для регулювання за принципом «On-Off» [16], а потім інтерпретувати її під трьохпозиційний варіант. У роботі планується використати варіант адаптаційної характеристики, наведений на рисунку 7.3.

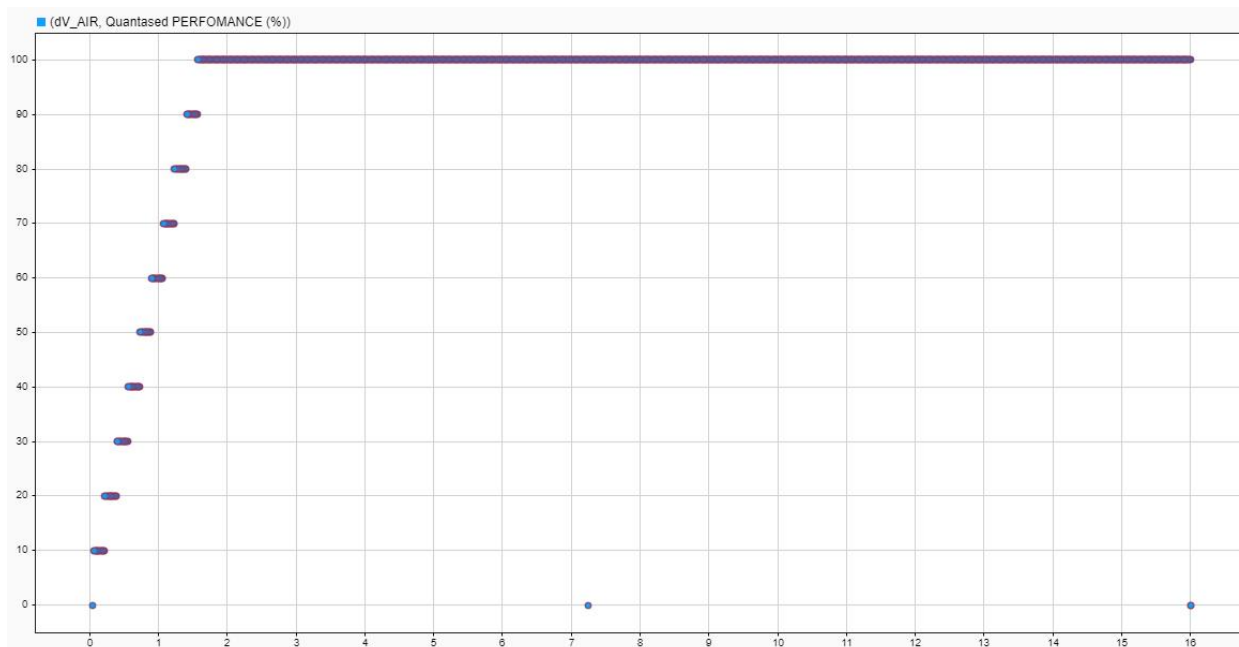


Рисунок 7.3 - Приклад адаптаційної характеристики для дискретного режиму роботи вентиляції при використанні у якості опорного алгоритму керування ПІД-регулятора з параметрами $P=12$, $I=12$, $D=0.1$, $N=200$

Цей варіант адаптаційної характеристики відповідає ПДД-алгоритму керування з параметрами, наведеними вище, а відповідну таблицю значень наведено нижче (див. таблицю 7.1).

Таблиця 7.1

Інтервал концентрації, %	відхилень значень	Потужність привода вентиляційної системи, %
	0 – 0.055	0
	0.055 – 0.222	10
	0.222 – 0.381	20
	0.381 – 0.550	30
	0.550 – 0.719	40
	0.719 – 0.888	50
	0.888 – 1.057	60
	1.057 – 1.227	70
	1.227 – 1.396	80
	1.396 – 1.565	90
	1.565 та більше	100

Розподіл керуючих функцій цієї системи (зона промислового приміщення) планується при реалізації зробити наступним чином:

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



Рисунок 7.4 - Структурна схема контуру регулювання CH_4 з адаптаційною характеристикою

7.3 Загальний опис роботи системи вентиляції в дискретному (трьохпозиційному) режимі

Для дозованої прокачки повітряної суміші в системі вентиляції, яка має можливість працювати лише в трьохпозиційному режимі, планується до реалізації наступний механізм. Саме з адаптаційної характеристики формується наступна режимність переключень:

- обирається безпечний часовий проміжок роботи системи вентиляції, на краях якого зміна робочого стану не є станом частого переключення (наприклад, 20 хв.);
- співставляються значення квантованої потужності адаптаційної характеристики за певним принципом режимам включення обмоток двигуна (100% - «зірка», 40-90% - «трикутник», 0 – двигун вимкнено);
- всі переключення відбуваються лише на краях технічно безпечного інтервалу часу.

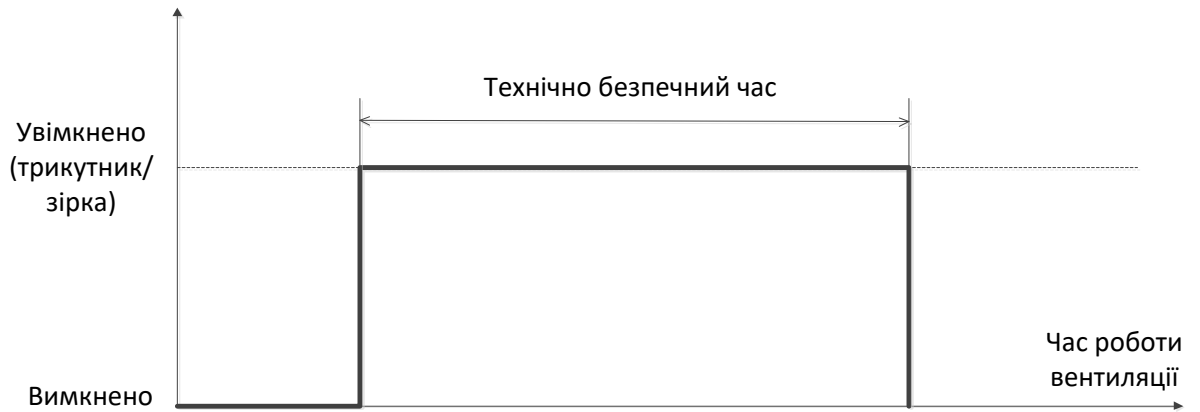


Рисунок 7.5 - Циклограма безпечної роботи вентиляції у дискретному режимі

7.4 Моделювання процесу керування вентиляцією у зоні промислового приміщення в середовищі MATLAB

Для моделювання процесу керування вентиляцією зони приміщення та аналізу ключових параметрів в середовищі MatLAB біла реалізована схема, що наведена на рисунку 7.6.

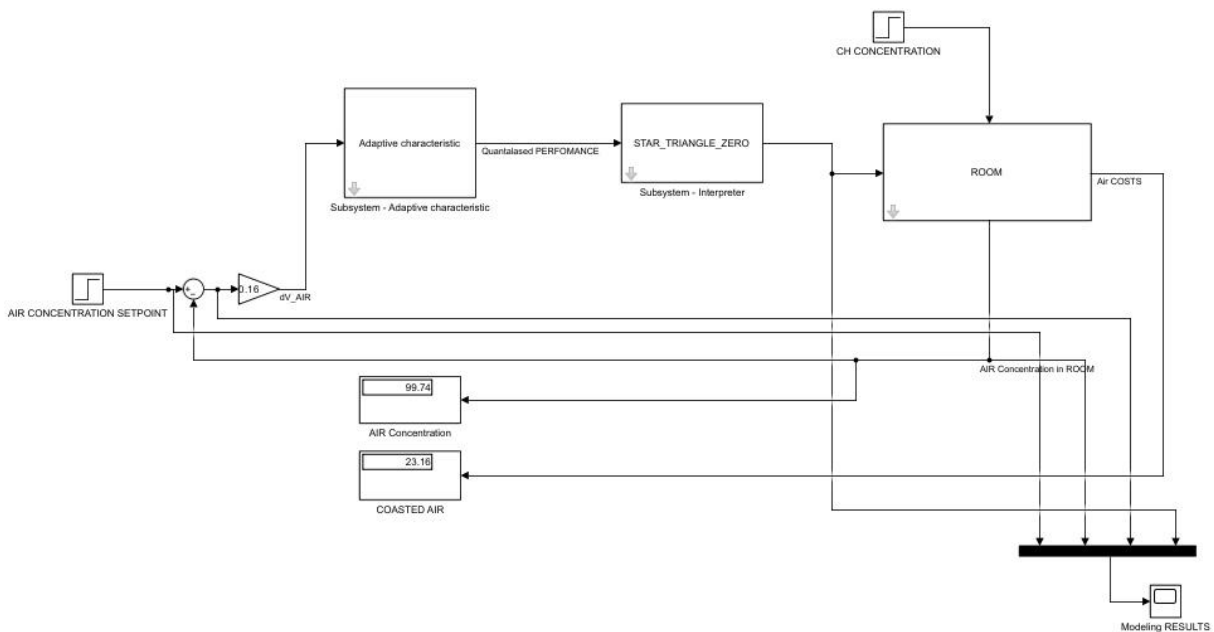


Рисунок 7.6 - Схема для моделювання процесу керування вентиляцією зони приміщення в середовищі MATLAB

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

- Підсистема приміщення («ROOM»);
- Підсистема адаптивної характеристики («Adaptive characteristic»);
- Підсистема інтерпретації адаптивної характеристики в трьохпозиційний сигнал керування («STAR_TRIANGLE_ZERO»).

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»).

Приклади результатів моделювання наведені нижче.

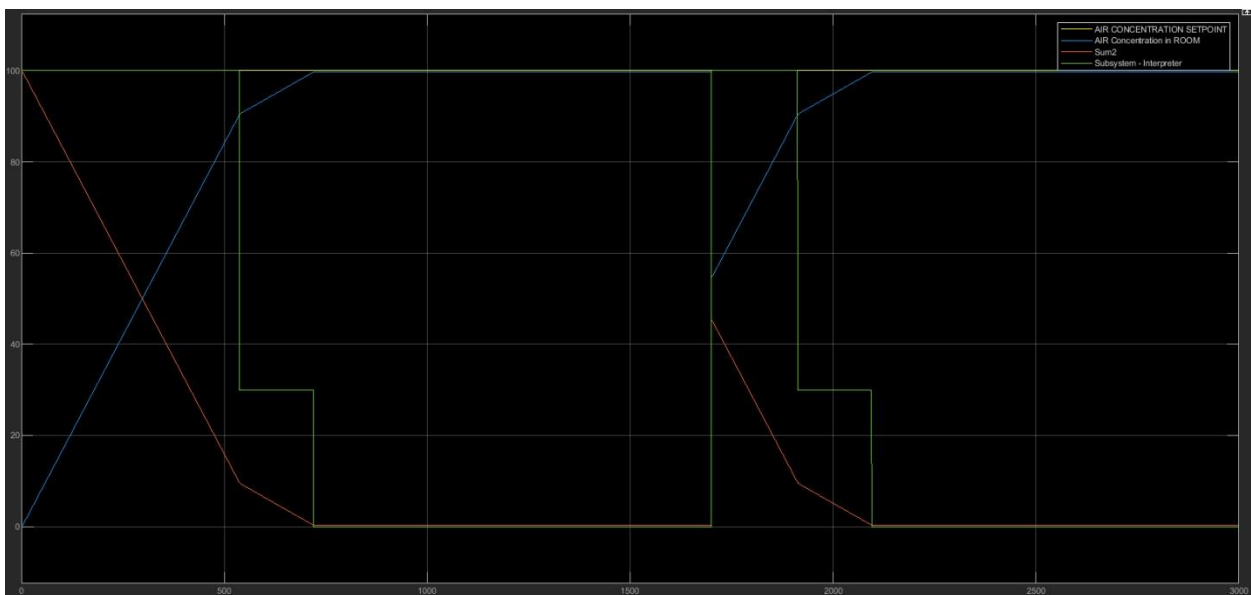


Рисунок 7.7 - Приклад перехідних процесів в системі при використанні у якості опорного алгоритму керування ПІД-регулятора з параметрами $P=12$, $I=12$, $D=0.1$, $N=200$ (інтерпретовано з адаптивної характеристики)

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

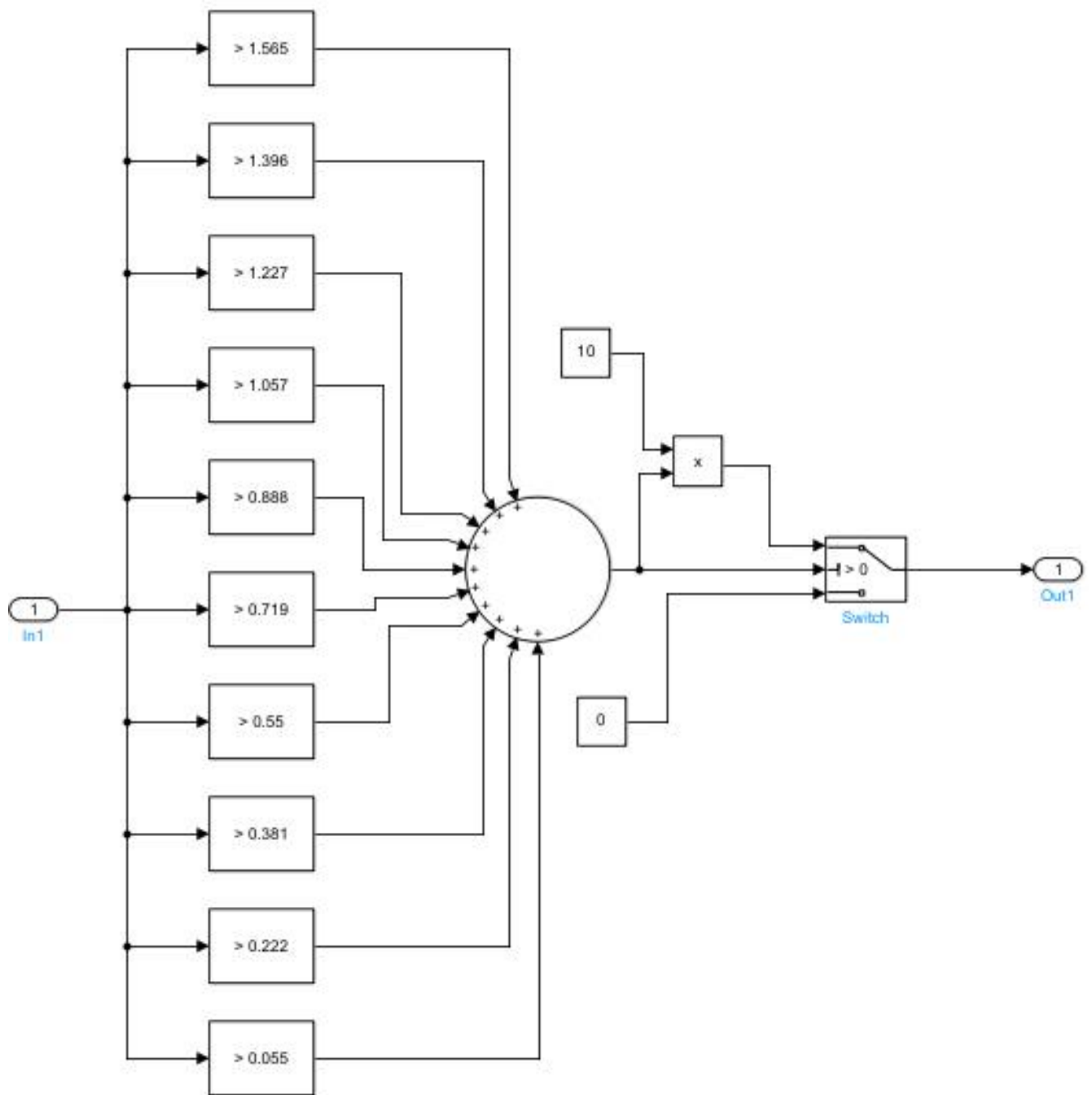


Рисунок 7.8 - Приклад реалізації підсистеми адаптивної характеристики («Adaptive characteristic»)

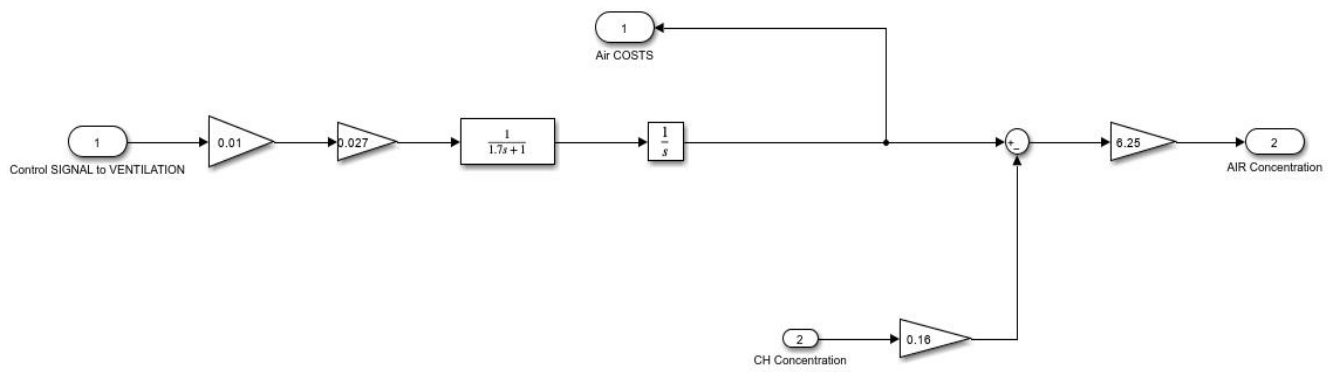


Рисунок 7.9 - Приклад реалізації підсистеми приміщення («ROOM»)

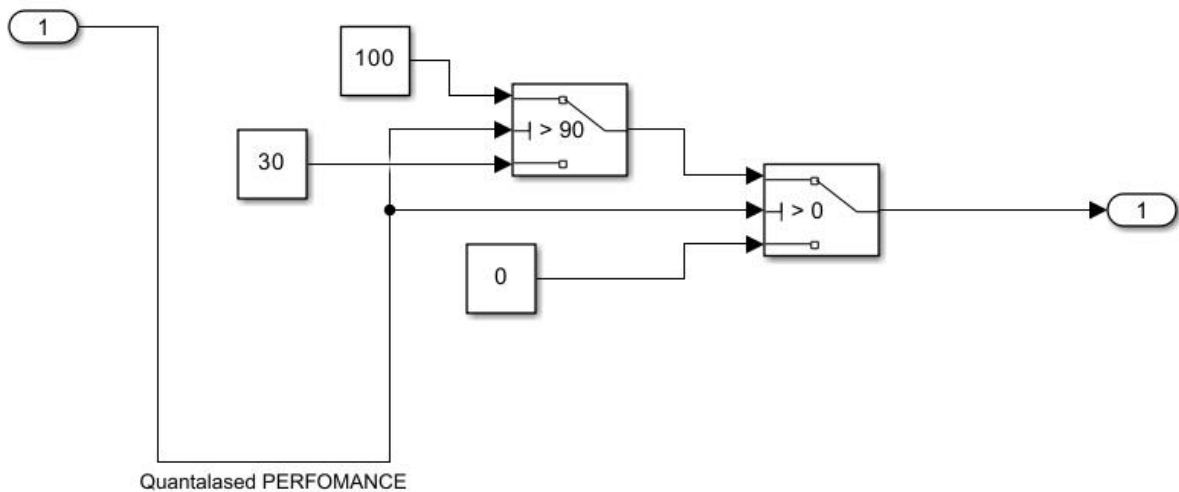


Рисунок 7.10 - Приклад реалізації підсистеми інтерпретації адаптивної характеристики в трьохпозиційний сигнал керування («STAR_TRIANGLE_ZERO»)

7.5 Основні висновки за результатами моделювання процесу керування концентрацією повітря у побутовому приміщенні в середовищі MATLAB

На основі моделі та методики, наведеної в роботі [16] та адаптованої під процес вентиляції зони промислового приміщення, було проведено ряд аналітичних експериментів шляхом моделювання в середовищі MATLAB

Simulink. В самій роботі винесені лише результати, які безпосередньо ілюструють ті принципи, які реалізовані при розробці моделі процесу вентиляції зони промислового приміщення та керування нею з урахуванням ключової специфіки трьохпозиційного регулювання потужністю вентиляції.

Також представлені лише ті результати, які підтверджують загальні принципи створеної у [16] 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» та подальшого переходу до трьохпозиційного варіанту.

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, реалізованою за архітектурою, описаною в роботі, мають значення, які відповідають загально прийнятим 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 [16], 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.

ЗАГАЛЬНІ 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 (трьохпозиційним) 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 та з одночасним підвищенням гнучкості;
- 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 (давачів, 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 (у нашому випадку mesh-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 синергетичність 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 [16] та адаптованої під процес вентиляції окремої зони промислового 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 зони промислового приміщення та керування нею з урахуванням можливості трьохпозиційного керування потужністю асинхронного приводу вентиляції. Також представлені лише ті результати, які підтверджують загальні принципи створеної у [16] 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» та подальшого переходу до трьохпозиційного керування.

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, реалізованою 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 [16], 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 доведено, 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. Zhao R. et al. Design of monitoring and control system for indoor flammable gas //2018 6th International Conference on Machinery, Materials and Computing Technology (ICMMCT 2018). – Atlantis Press, 2018. – pp. 86-89.
2. Guerrero-Ulloa, G.; Andrango-Catota, A.; Abad-Alay, M.; Hornos, M.J.; Rodríguez-Domínguez, C. Development and Assessment of an Indoor Air Quality Control IoT-Based System. *Electronics* 2023, 12, 608. <https://doi.org/10.3390/electronics12030608>
3. J. Li, J. Wall and G. Platt, "Indoor air quality control of HVAC system," Proceedings of the 2010 International Conference on Modelling, Identification and Control, Okayama, Japan, 2010, pp. 756-761.
4. Mukesh D. M., Akula S. K. Automated indoor air quality monitor and control //International Journal of Computer Applications. – 2017. – Т. 159. – №. 6. – pp. 0975-8887.
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. Biswal A., Subhashini J., Pasayat A. K. Air quality monitoring system for indoor environments using IoT //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing, 2019. – Т. 2112. – №. 1.
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. P. R. Meris et al., "IOT Based – Automated Indoor Air Quality and LPG Leak Detection Control System using Support Vector Machine," 2020 11th IEEE Control and System Graduate Research Colloquium (ICSGRC), Shah Alam, Malaysia, 2020, pp. 231-235, doi: 10.1109/ICSGRC49013.2020.9232472.

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. Furst, L.; Feliciano, M.; Frare, L.; Igrejas, G. A Portable Device for Methane Measurement Using a Low-Cost Semiconductor Sensor: Development, Calibration and Environmental Applications. *Sensors* 2021, 21, 7456. <https://doi.org/10.3390/s21227456>
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. Merrin Z., Francisco P. W. Unburned methane emissions from residential natural gas appliances //Environmental science & technology. – 2019. – Т. 53. – №. 9. – pp. 5473-5482.
13. Бондаренко М. О., Гурін М. Р., Ніконова З. А. РОЗРОБКА ДИСТАНЦІЙНОГО АНАЛІЗАТОРА ПОВІТРЯ //The 11 th International scientific and practical conference “Modern research in world science”(January 29-31, 2023) SPC “Sci-conf. com. ua”, Lviv, Ukraine. 2023. 1579 p. – 2023. – С. 347.
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. S. Karamchandani, A. Gonsalves and D. Gupta, "Pervasive monitoring of carbon monoxide and methane using air quality prediction," 2016 3rd International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom), New Delhi, India, 2016, pp. 2498-2502.
16. 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>

17. 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.

18. 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.