

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота (проект)
другий (магістерський) рівень
(рівень вищої освіти)

на тему Дослідження можливостей управління станом повітря у приміщенні та розробка рекомендацій для проектних рішень

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1512д
спеціальності 151 Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології
(код і назва спеціальності)

спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)

освітньої програми Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології
(назва освітньої програми)

Гальченко А.В.
(ініціали та прізвище)

Керівник к.т.н., доцент, Баріщенко О.М.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент І.А. Курілець
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНИ

Кафедра _____ електричної інженерії та кіберфізичних систем
 Рівень вищої освіти _____ другий (магістерський) рівень
 Спеціалізація _____ 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(код та назва)
 Освітня програма _____ Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри В.Л. Коваленко
 « _____ » _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ) СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)
Гальченко Андрію Віталійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) Дослідження можливостей управління станом повітря у приміщенні та розробка рекомендацій для проектних рішень

керівник роботи _____ Барішенко Олена Миколаївна, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від « 01 » травня 20 23 року № 639-с

2. Строк подання студентом роботи магістра _____ 10.03.2024

3. Вихідні дані кваліфікаційної роботи магістра Стандарти оцінки якості повітря на основі індексу AQI

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) огляд методів і засобів оцінки якості повітря у світі; 2) огляд математичних методів оцінки якості повітря та можливість їх автоматизації; 3) побудувати прототип системи оцінки якості повітря у приміщеннях; 4) розробити рекомендації, які дозволять удосконалити та актуалізувати проведення досліджень з даної теми.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

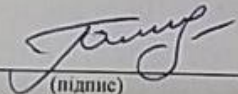
6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Барішенко О.М., к.т.н., доцент	30.09.2023	01.10.2024
Розділ 2	Барішенко О.М., к.т.н., доцент	01.10.2024	01.01.2024
Розділ 3	Барішенко О.М., к.т.н., доцент	01.01.2024	01.02.2024
Розділ 4	Барішенко О.М., к.т.н., доцент	01.02.2024	01.03.2024

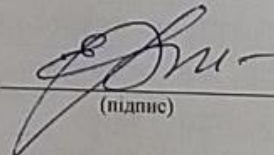
7. Дата видачі завдання 21.04.2023

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Призначення керівника та затвердження теми роботи	30.09.2023	виконано
2	Огляд інформації про стан забруднення повітря	01.10.2024	виконано
3	Огляд способів і методів оцінки якості повітря	01.01.2024	виконано
4	Розробка прототипу системи автоматизованої оцінки якості повітря у приміщенні	01.02.2024	виконано
5	Розробка рекомендацій щодо автоматизованого управління якістю повітря	01.03.2024	виконано
6	Надання роботи до рецензії. Нормоконтроль	10.03.2024	виконано
7	Прилюдний захист роботи	14.03.2024	виконано

Студент

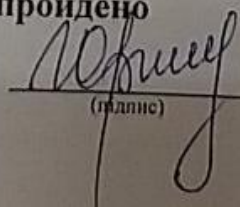

 (підпис)
Гальченко А.В.
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту)


 (підпис)
Барішенко О.М.
(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер


 (підпис)
І.А. Овчинникова
(ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Гальченко А.В. Дослідження можливостей управління станом повітря у приміщенні та розробка рекомендацій для проектних рішень.

Кваліфікаційна робота магістра на здобуття вищої освіти за спеціальністю 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка», науковий керівник О.М. Барішенко, Запорізький національний університет, Інженерний науково-навчальний інститут ім. Ю.М. Потебні, кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем. Запоріжжя, 2024.

У роботі виконано комплекс досліджень, спрямованих на оцінку можливості та розробку рекомендацій, які необхідно впровадити для забезпечення комплексного моніторингу стану повітря у межах виділених приміщень.

Розроблено прототип системи автоматизованого управління якістю повітря на основі міжнародного індексу AQI та рекомендації, стосовно можливості покращення якості досліджень за вказаним напрямом та організації міжгалузевого співробітництва дослідників.

Ключові слова: АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ, ВЕНТИЛЯЦІЙНА СИСТЕМА, ВИДІЛЕНІ ПРИМІЩЕННЯ, ЗАБРУДНЕННЯ, ІНДЕКС ЗАБРУДНЕГО ПОВІТРЯ, МОНІТОРИНГ, СТАНДАРТ, ЯКІСТЬ

**ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ
КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ МАГІСТРА**

1. Гальченко А., Барішенко О. Автоматизація управління станом повітря у приміщенні. *Молода наука – 2023* : XVI Унів. науково-практ. конф. студентів, аспірантів, докторантів і молодих уч., м. Запоріжжя, 17–22 квіт. 2023 р. Запоріжжя, 2023. С. 274–276.

ABSTRACT

A.V. Halchenko Investigation of the air pollution automation and approaches development.

The final master's qualifying work for completion of the higher education in the specialty 174 «Automation, computer-integrated technologies and robotics», supervisor O.M. Barishenko, Zaporizhzhia National University, Engineering Research Institute, Department of Electrical Engineering and Energy Efficiency. Zaporizhzhia, 2024.

This paper is concerned with a set of studies aimed at assessing the feasibility and developing recommendations to be implemented to ensure comprehensive monitoring of the air condition within the dedicated premises.

A prototype of the automated air quality management system has been developed and based on the on the air pollution index usage. Recommendations on the possibility of improving the quality of research in this area and organizing interdisciplinary cooperation of researchers have been developed.

Keywords: ATMOSPHERIC AIR, VENTILATION SYSTEM, DEDICATED PREMISES, POLLUTION, AIR POLLUTION INDEX, MONITORING, STANDARD, QUALITY

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ВСТУП

РОЗДІЛ 1. ЗАБРУДНЕНЕ ПОВІТРЯ

- 1.1. Основні забруднювачі повітря
- 1.2. Вплив забрудненого повітря на здоров'я людини
- 1.3. Методи покращення якості повітря
 - 1.3.1. Інженерні заходи
 - 1.3.2. Технічні заходи
 - 1.3.3. Програмні заходи
 - 1.3.4. Організаційні заходи
- 1.4. Забруднення атмосферного повітря та повітря у приміщеннях
- 1.5. Висновки до розділу 1

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ОЦІНКИ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ У ПРИМІЩЕННІ

- 2.1. Оцінка потужності вентиляційної системи у приміщенні
- 2.2. Оцінка компонентів на якість повітря
 - 2.2.1. Способи вимірювання концентрації газів
 - 2.2.2. Вимірювання вологості повітря
 - 2.2.3. Способи вимірювання тиску
 - 2.2.4. Способи вимірювання температури
 - 2.2.5. Вплив температури та тиску на концентрацію газів
- 2.3. Вимоги до мікроклімату у виробничих і житлових приміщеннях
- 2.4. Обчислення показника якості повітря
- 2.5. Оптимізація енергоспоживання систем вентиляції повітря
- 2.6. Висновки до розділу 2

РОЗДІЛ 3. АВТОМАТИЗАЦІЯ ОЦІНКИ ЗАБРУДНЕНОГО ПОВІТРЯ У ПРИМІЩЕННЯХ

- 3.1. Система управління забрудненням повітря
 - 3.1.1. Контур вимірювання концентрації забруднення

- 3.1.2. Контур коригування концентрації забруднення
- 3.1.3. Контур оцінки якості повітря
- 3.1.4. Контур оцінки повітрообміну приміщення
- 3.1.5. Контур коригування повітрообміну приміщення
- 3.1.6. Контур формування сигналу керування вентиляцією
- 3.2. Система управління вологістю повітря
 - 3.2.1. Контур визначення вологості приміщення
 - 3.2.2. Контур визначення дефіциту вологи у приміщення
 - 3.2.3. Контур формування сигналу керування зволожувачем
- 3.3. Контур управління системою вентиляції і зволожувача
- 3.4. Висновки до розділу 3

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ПОВІТРЯ

ВИСНОВКИ

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Додаток А. Залежність густини насиченої водної пари від температури повітря

Додаток Б.1. Європейська шкала якості повітря

Додаток Б.2. Рівні концентрації забруднення для AQI Великобританії

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

AQI – Air Quality Index

ВООЗ – Всесвітня організація охорони здоров'я

Д – датчик (вимірювальний пристрій)

ДБН – державні будівельні норми (СНиП)

ДСП – деревно-стружкові плити

ІЧ – інфрачервоний

МК – мікроконтролер

ОУ – об'єкт управління

РО – регулюючий орган

ПУ – пристрій управління

Торр – одиниця виміру тиску (133,322 Па)

ВСТУП

Актуальність теми. За останні роки, зміни клімату та довкілля суттєво вплинули на здоров'я людини. Відповідно до звіту ВООЗ, щорічно 7% захворювань, а також і 3.2 мільйони смертей серед людей, є наслідком забруднення довкілля, зокрема повітря. Найпоширенішими забруднювачами є $PM_{2.5}$, PM_{10} , CO_2 , O_3 , NO_2 , SO_2 , NH_3 , Pb та сполуки на їх основі. Враховуючи те, що саме у замкнутому просторі людина перебуває 93% часу щоденно, можливо виділити наступні джерела шкідливих речовин: тютюнові вироби, побутові хімікати, будівельні матеріали з неякісних складових, не якісно організовані системи опалення та вентиляції, меблі з дешевих матеріалів, надмірна вологість, домашні тварини, не вентилязовані системи опалення і приготування їжі. Згідно з даними ВООЗ, рівень забруднення повітря у замкнених просторах у декілька разів вищий за рівень забруднення довкілля. Рівні концентрації вказаних речовин у довкіллі відстежується спеціалізованими установами. Найбільш поширеними параметрами управління кліматом є температура, тиск і рівень шуму, керування якими дозволяє забезпечити мінімальний рівень комфорту у приміщенні. Для роботи з іншими параметрами, такими як якість та хімічний склад повітря, необхідним є використання спеціалізованих методів і засобів дослідження, зокрема газоаналізаторів. Сучасні газоаналізатори вимірюють фізичні властивості та характеристики довкілля (електричну провідність, теплопровідність, оптичну щільність, коефіцієнт розсіювання), значення яких залежить від концентрації газу.

Також встановлено, що для забезпечення якісного моніторингу за станом повітря, необхідно використовувати системні та безперервні спостереження за станом довкілля. Проте вказані заходи є досить коштовними та не мають попит серед юридичних і побутових споживачів. Аналіз ринку послуг управління кліматом демонструє, що вказані заходи часто реалізовані у будинках із системами автоматизованого управління життєдіяльності людини (розумний будинок). Окрім управління кліматом, вони надають можливість раціонального

використання освітлення та побутових приладів, функцій безпеки та медіа. З цією метою створено велику кількість пристроїв, сукупність яких утворює автоматизовану систему управління будинком (окремою квартирою). Їх використання разом із комп'ютерно-інтегрованими технологіями дозволяє збирати, накопичувати та аналізувати основні характеристики, хімічний склад повітря для створення мікроклімату приміщення. Перевагою подібних систем є автоматичність та безперервна робота, що у поєднанні з засобами очищення повітря та коштує відносно менше ніж подібні послуги від спеціалізованих організацій.

Мета дослідження. Огляд стану забезпечення якості повітря в Україні та світі. Пошук методів, способів і стандартів з оцінки якості повітря, які можливо використовувати як для моніторингу атмосферного повітря, так і для окремих приміщень, будівель.

Задачі дослідження. Розроблено та сформульовано такі задачі:

- аналіз стану системи моніторингу якості повітря у житлових приміщеннях;
- вивчення методів та засобів вимірювання показників оточуючого та навколишнього середовищ;
- підготовка математичного апарату, який можливо буде використати для автоматизованого оцінювання якості повітря у житлових приміщеннях на постійній основі;
- розробити прототип системи автоматизованого оцінювання якості повітря у приміщенні;
- розробити рекомендацій для подальшого дослідження та впровадження запропонованого прототипу, підвищення якості дослідження якості повітря з можливістю масштабування отриманих результатів.

Об'єкт дослідження. Методики визначення концентрації забруднення повітря у житлових приміщеннях, з можливістю кількісної оцінки його якості.

Предмет дослідження. Впровадження концепції «пасивного будинку» з метою підвищення рівня енергетичної ефективності на прикладі приватного домогосподарства за адресою: Вінницька обл., м. Іллінці, вул. Свободи, буд. 3.

Методи дослідження. Аналіз та дослідна експлуатація режимів функціонування споживачів теплової та електричної енергії у приватних житлових будинках, а також аналіз методів та засобів підвищення в них енергоефективності.

Наукова новизна одержаних результатів. Виконано огляд різних стандартів і нормативів, які використовуються для забезпечення мікроклімату у житлових приміщеннях. Розроблено власний підхід до оцінки якості повітря у приміщеннях; проведено ряд аналітичних експериментів, за результатами яких, запропоновано прототип системи автоматизованого управління якістю повітря та рекомендацій щодо можливості покращення досліджень з оцінки якості повітря на державному рівні. Автоматизація оцінки характеристик навколишнього та оточуючого середовищ дозволила застосувати вимоги міжнародного стандарту з оцінки якості повітря на практиці, в окремо взятому приміщенні без яких-небудь особливостей.

Практичне значення одержаних результатів. Отримані результати роботи мають практичне значення та можуть бути використані, при підготовці і провадження заходів із автоматизованого моніторингу якості повітря на державному рівні. Виконання запропонованих рекомендацій повинно покращити комунікацію між дослідниками різних галузей у напрямі досліджень за екологічною та технологічною тематиками.

Особистий внесок дослідника. Кваліфікаційна робота магістра є самостійною роботою автора, в якій узагальнені результати теоретичних і експериментальних досліджень, отриманих в ході виконання науково-дослідних робіт. Практична реалізація запропонованого автором підходу до оцінки якості повітря з використанням засобів автоматизації дозволить проведення оцінки концентрації забруднень у віддаленому режимі та використовувати отримані дані для моделювання різноманітних ситуацій.

Апробація результатів роботи. Основні положення і результати магістерської роботи доповідалися і обговорювалися на: I Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувач вищої освіти, аспірантів та молодих вчених «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України». Том I (19-21 жовтня 2021 року, м. Запоріжжя); доповідалися на науковому семінарі кафедри електротехніки та енергоефективності Інженерного науково-навчального інституту Запорізького національного університету (2021 р., м. Запоріжжя).

Публікації. Основні результати роботи викладені в збірці магістерських робіт і в тезах XVI Університетської науково-практичної конференції студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених «Молода наука – 2023»[54].

Структура та обсяг магістерської роботи. Кваліфікаційна робота магістра складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку джерел посилання з 54 найменувань, викладена на 91 сторінках машинописного тексту, включаючи 29 рисунків, 25 таблиць та 15 слайдів ілюстрованого матеріалу презентації.

РОЗДІЛ 1

ЗАБРУДНЕНЕ ПОВІТРЯ

Повітря є одним з найважливіших факторів, який у значній мірі впливає на якість життя людини, можливості її розвитку та навколишнє середовище, в якому вона перебуває.

1.1 Основні забруднювачі повітря

Забруднення повітря є лише однією з багатьох проблем, які негативно впливають на оточуюче середовище. Повна класифікація вказаних проблем та їх джерела наведено на рис. 1.1 [1]:

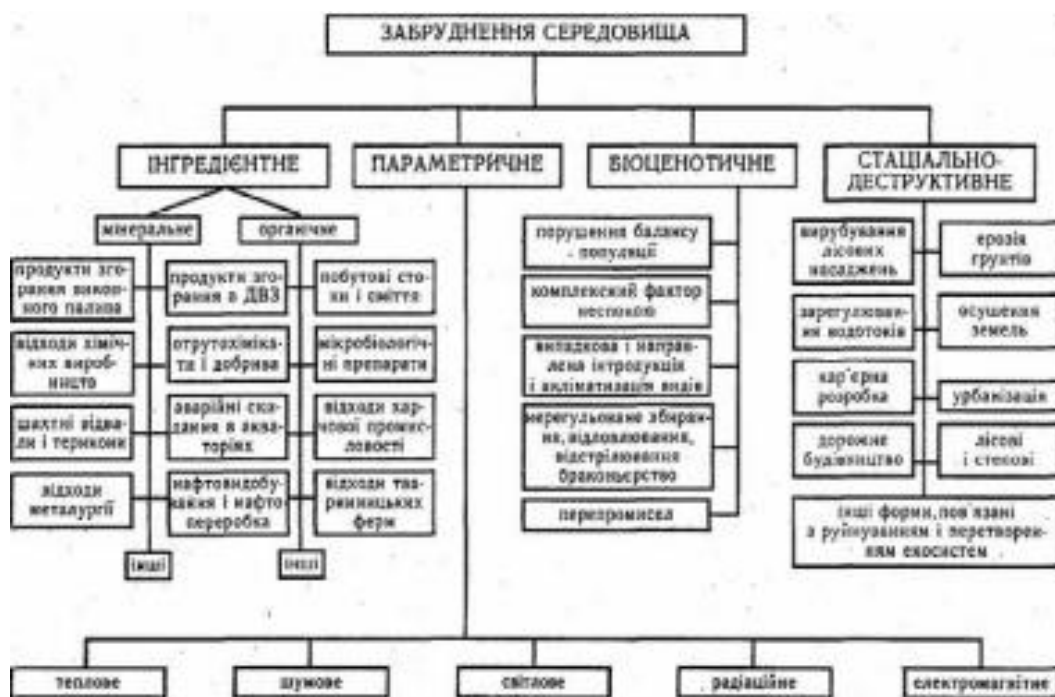


Рисунок 1.1 – Узагальнена класифікація забруднень навколишнього середовища

Відповідно до рис.1.1, усі види забруднень можливо поєднати у наступні групи:

- інгредієнтні, які кількісно та якісно представляють сукупність речовин негативно впливаючих на оточуюче середовище;
- параметричні, які пов'язані зі змінами в оточуючому середовищі;
- біоценотичні, результатом впливу яких є зміни у складі та структурі популяцій живих організмів;
- стаціонально-деструкційні, результатом впливу яких є зміна ландшафтів і екосистем внаслідок природокористування людиною.

Окрім того, забруднення можуть бути класифіковані за джерелом і типом походження. За джерелом, виділяють наступні типи забруднення: побутові (побутові миючі засоби, тощо), сільськогосподарські (пестициди, добрива, тощо), транспортні (викиди важких металів, вуглецю, тощо), а також найбільші за масштабом – промислові (сірководень, азот, тощо). Найбільш загальною є класифікація забруднень за типом джерел походження, серед яких виділяють:

- фізичні, в основі яких лежать антропогенні (зміна теплового, електричного, радіаційного, світлового поля, тощо) та техногенні (шум, вібрація, гравітаційна сила, тощо) зміни.
- механічні, які ґрунтуються на потраплянні твердих часток і фізичних предметів непридатних для подальшого використання
- хімічні, особливістю яких є порушення кругообігу речовин і енергій у навколишньому середовищі за рахунок направлення газоподібних, рідких, твердих речовин, хімічні елементи і сполуки яких мають штучне походження;
- біологічні, відмінністю яких є походження внаслідок життєдіяльності людини (зміна місць існування тварин і рослин, їх катастрофічне розмноження, створення вірусів, хвороб, зброї масового ураження, тощо).

Використовуючи вище вказані класифікації, можна зробити висновок, що забрудненням повітря є інгредієнтно-параметричним типом забруднення оточуючого середовища, особливістю якого є потрапляння у повітря речовин фізичного та механічного походження, які з'явилися внаслідок життєдіяльності.

1.2 Вплив забрудненого повітря на здоров'я людини

Відповідно до [2], під час дослідження атмосферного повітря можливо виділити наступний перелік найбільш поширених забруднювачів: зола (2-100мкм), пил, оксид вуглецю або чадний газ (CO), оксиди сірки (SO₂ або SO₃), оксиди азоту (NO₂), озон (O₃), бенз (а) пірен, сажа (чистий вуглець), сірководень (H₂S), свинець (Pb), ртуть (Hg). Однак станом на 2021 рік, згідно з даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) [3], до переліку найбільш поширених небезпечних для людини речовин необхідно відносити:

- дрібнодисперсні частинки (PM_{2.5}, PM₁₀);
- озон (O₃);
- діоксид азоту (NO₂);
- діоксид сірки (SO₂);
- чадний газ (CO).

Встановлено, що станом на 2016 рік [4] бездіяльність або недостатня кількість заходів щодо зменшення викидів і контроль за вказаними заходами у 2016 році коштувало життя для 4.2 млн людей.

Проте вищевказані дані стосуються лише забруднення атмосферного повітря. Тим не менше, вплив забрудненого повітря всередині приміщень є не меш шкідливим для здоров'я людини. Окрім вищевказаних речовин до переліку необхідно включити [5]: вуглекислий газ (CO₂), фенол, формальдегід, радон і цвіль. Враховуючи це, загальна кількість смертей внаслідок впливу забрудненого повітря на організм людини становить 7 млн життів щорічно [6] та згідно з оновленими прогнозами ВООЗ, у наступні 25 років, збільшуватиметься на 250 тис смертей щорічно.

Встановлено, що вказані показники пов'язані з легкістю потрапляння небезпечних речовин до організму. Згідно з результатами останніх досліджень [6], виявлено та доведено прямий зв'язок між інтенсивністю забруднення

середовища існування людини та виникненням у неї хронічних неспецифічних захворювань. До них можливо віднести респіраторні захворювання, катарі верхніх дихальних шляхів, ларингіт, ларинготрахеїт, фарингіт, бронхіт, бронхіальна астма.

Окрім того, забруднене повітря є збудником захворювань серцево-судинної системи та великої кількості мутагенних, канцерогенних, тератогенних захворювань, які проявляються лише з часом.

1.3 Методи покращення якості повітря

Проблема забрудненого повітря отримала значного поширення через велику кількість хвороб і смертей. Враховуючи той факт, що близько 90% свого життя людина перебуває у замкнутих приміщеннях [8], у даній роботі пропонується розглянути методи і засоби покращення якості повітря всередині приміщень. До них можуть бути віднесені інженерні, технічні, програмні, організаційні. Для їх коректної інтерпретації необхідно зазначити основні джерела забруднення повітря всередині приміщень [9]:

- люди і тварини, які внаслідок своєї життєдіяльності постачають до повітря вуглекислий газ (CO_2), водяну пару, а також різноманітні біологічні речовини;
- засоби побутової хімії, які використовуються у побуті для догляду за поверхнями та видалення неприємних запахів;
- вироби домашнього текстилю, до яких можливо віднести оббивку меблів і стін, штори, ковдри, скатертини та килими;
- меблі і будівельні матеріали;
- тютюновий дим, який фактично є джерелом інгредієнтних забруднень, які налічують тисячі надзвичайно шкідливих речовин включаючи нікотин, НРА, CO , CO_2 , оксиди азоту, акролеїн, формальдегід, ціаністий водень, тощо;

- продукти згоряння, які є наслідком роботи будь-якого пристрою призначеного для спалювання речовин у приміщеннях з поганою вентиляцією (кухонні плити, духовки, сушильні машини, холодильники, тощо);
- системи вентиляції повітря, які не потребують технічного обслуговування;
- гази природного походження (наприклад, радон).

1.3.1 Інженерні заходи

У порівнянні з заходами управління якістю атмосферного повітря, у приміщеннях можливо впроваджувати інженерні заходи з більшою ефективністю. До інженерних заходів можливо віднести [10]:

- впровадження системи кондиціонування повітря (важливо, з можливістю технічного обслуговування);
- покращення герметичності приміщень (заміна вікон, утеплення поверхонь);
- засоби очищення повітря (пасивна фільтрація часток).

Використання систем кондиціонування є основним засобом управління мікроклімату приміщень. Його мелізми ґрунтуються на підтримці температури, вологості, чистоти, складу, швидкості руху повітря у замкнених приміщеннях. Саме вказані показники у значній мірі впливають на здоров'я людини.

Класифікацію сучасних систем вентиляції здійснюють за наступними ознаками:

- ступінь забезпеченості метрологічних вимог під час експлуатації приміщення (виділено 3 класи систем);
- призначення приміщення (технологічні, побутові);
- наявність джерел виділення тепла і холоду (*автономні, ручні системи*);
- принцип розміщення системи вентиляції по відношенню до місця встановлення (центральні та місцеві);
- сумарна кількість приміщень (моно- та мультизональні);

– тип приміщення (побутові, напівпромислові та промислові).

На практиці під час вибору систему вентилявання особливу увагу звертають на виконання метрологічних вимог і клас енергоефективності.

Системи вентилявання, які відносяться до першого класу, використовуються для забезпечення повітрообміну під час протікання технологічних процесів. Параметри їх побудови та використання повинні відповідати вимогам діючих нормативних документів. Головним показником щодо параметрів і умов використання для систем другого класу є санітарно-гігієнічні або технологічні норми. Використання систем вентилявання третього класу допускається у теплий час для приміщень, якщо не виникає потреби у додатковому охолодженні повітря.

Для забезпечення автономності системи вентиляції оснащуються повним спектром обладнання, якого повинно вистачати для обробки повітря у відповідності до діючих вимог з осушення, очищення, зволоження, нагрівання, охолодження, переміщення, розподілу повітря у приміщеннях. Окрім того, їх обов'язковим атрибутом є засоби автоматизованого та дистанційного управління. Єдиним недоліком вказаних рішень є значні витрати електроенергії. До них можливо віднести наступні прилади:

- віконні (моноблочні) кондиціонери;
- кондиціонери для розміщення у шафах;
- спліт-системи.

На відміну від них, неавтономні системи позбавлені джерел теплової енергії та холоду. Вони використовуються у якості центральних систем і розміщуються поза приміщеннями. Основним завданням таких систем є підготовка повітря до його потрапляння у приміщення.

Місцеві системи вентилявання повітря створюються на базі обох варіантів і призначені для встановлення у технічних приміщеннях.

Однак вентилявання не забезпечує повний спектр захисту приміщення від зовнішніх факторів, які проникаючи у приміщення зовні впливають на

здоров'я людини, а також власне на самі системи кондиціонування. Від так для побудови чистих приміщень та підтримки показників мікроклімату на постійному рівні, виконують процедуру герметизації стиків у приміщеннях.

Основними способами герметизації є:

- використання гумових або силіконових ущільнювачів у місцях стикування склопакетів і віконних рам (подвійні та потрійні ущільнювачі мають той самий ефект, але забезпечують додатковий захист від проникнення повітря та вологи;

- використання спеціальних клейких засобів і ущільнювачів для заповнення невеликих щілин та тріщин навколо вікон, систем вентилявання;

- використання монтажною піни для заповнення великих щілин і порожнин у місцях стикування віконних рам зі стінами, будь-яких огорожувальних конструкцій;

- діагностика та обслуговування механізмів вікон та вентилявання для попередження їх передчасного зношування.

Організація якісної системи вентиляції та усунення протягів забезпечує дотримання оптимальних і допустимих вимог до мікроклімату приміщень. Однак вони не захищають від потрапляння забруднень зовні, а згідно з п.1.2, в атмосферному повітрі знаходиться велика кількість шкідливих речовин. На промисловому рівні для зменшення їх концентрації у повітрі використовують засоби фільтрації, які ґрунтуються на 5 типах очищення [12]:

- абсорбція, в основі якої лежить розчинення часток з використанням різноманітних розчинників;

- хемосорбція, в основі якої лежить об'єднання часток у згустки з використанням спеціальних хімічних речовин;

- адсорбція, в основі якої лежить поглинання газоподібних речовин з використанням твердих активних речовин;

- термічна нейтралізація, в основі якої лежить поглинання газів з використанням реакції каталітичного перетворення;

– поділ газоповітряної суміші на складові частини шляхом поглинання одного або декількох компонентів.

Проте на відміну від навколишнього середовища, вказані речовини потрапляючи всередину приміщень залишаються там, навіть при використанні коштовних засобів вентилявання. З часом їх концентрація зростає. Шкідливі речовини переміщують у повітрі та потрапляють до дихальних шляхів, накопичуються на предметах інтер'єру, шкірі, їжі, що подвоює їх сумарну концентрацію в організмі людини. Тому фільтрування припливного та видаленого повітря має не аби яку важливість як для людини, так і для оточуючого середовища.

Вибір певного матеріалу залежить лише від вимог до якості повітря на виході системи. Їх використання дозволяє у певній мірі очистити повітря від пилу та туману. Оскільки, механізм їх роботи ґрунтується на осадженні частинок під дією сил інерції, броунівської дифузії газів і ефектом дотику, то для більш якісного очищення використовують пористі фільтраційні матеріали:

- металева стружка;
- тканина;
- пориста кераміка;
- пористі метали;
- папір;
- повсть.

Таким чином, очищення повітря з концентрацією часток пилу до 10 мг/м^3 можливо виконати за допомогою чарункових фільтрів, в основі яких лежить каркасу з наповнювачем (металеві та пінопластові матеріали, пружне скловолокно, тощо).

Тим не менш, будь-який фільтр має строк використання, що суттєво обмежує строк їх використання. Тому в наразі широкого поширення набули фільтри з опцією самоочищення. До них можна віднести масляні фільтри, в

основі яких лежить використання металевих сіток. Їх очищення здійснюється лише за допомогою розчину соди.

Відмінністю вихрових пиловловлювачів від циклонів є наявність додаткового потоку повітря. Їх використання забезпечує осадження шкідливих речовин у спеціальному резервуарі перед направленням відпрацьованого повітря в оточуюче середовище.

Використання жалюзійних пиловловлювачів призначене для видалення з повітря часток значного розміру, під час їх проходження трубопроводами назвні. Тому на виході з них, повітря потребує додаткового очищення з використанням циклонів.

Застосування ротаційних пиловловлювачів дозволяє видалити з повітря тверді та рідкі частинки використовуючи центр обіжну силу, яка створюється під час обертання ротора. Їх конструкція нагадує відцентровий вентилятор, під час обертання якого частки пилу осідають на внутрішній поверхні та накопичуються у секції для пиловловлювання.

Особливої уваги потребують речовини, які поширюються у повітрі у вигляді туману. Для їх очищення використовують фільтри типу ротоклони, які мають декілька ступенів очистки – використання фільтруючого матеріалу для часток до 18-20 мкм, уловлювання бризок до 60-70 мкм.

1.3.2 Технічні заходи

У своїй якості, інженерні заходи виконують функції пасивного захисту. Їх використання не дозволяє визначати кількість та концентрації забруднення, виконувати їх інтелектуальну оцінку. Вказані задачі можливо виконати за рахунок провадження технічних заходів у середині приміщень. До них можна віднести:

- індикацію наявності забруднення;
- визначення концентрації, типу та джерело забруднення;

– вплив на склад повітря з використанням різноманітних технічних засобів.

Основним завданням засобів індикації є повідомлення користувача про факт забруднення за допомогою світлових і звукових сигналів. Часто вони є частиною складних технічних комплексів і використовуються для оперативного оповіщення про виникнення змін у навколишньому/оточуючому середовищі. Приклад таких засобів наведено на рис. 1.2 [13]:



а)



б)

Рисунок 1.2 – Засоби оповіщення: а) звукового, б) світлового

Визначення концентрації забруднювачів здійснюється за допомогою спеціалізованих пристроїв, в основі яких лежать уловлювачі часток для певних типів забруднення. Однак на практиці, забруднення являють собою суміш з декількох речовин, які тісно переплетені між собою на молекулярному рівні. Для таких випадків використовують комбіновані датчики або мережу датчиків, які призначені для одночасного аналізу однієї сполуки. Окрім того, використання групи датчиків дозволяє не лиш виконувати комплексний аналіз забруднень, але й виконувати пошук їх джерел. Приклади таких датчиків наведені на рис 1.3.

Для вимірювання тиску повітря рекомендовано використання пристроїв з функцією барометра-анероїда [14]. Вони портативні та досить зручні для проведення гігієнічних досліджень. Головною частиною пристрою є порожня

тонкостінна металева коробка, з гофрованим дном і кришкою у вигляді підкови. Вказаний резервуар дозволяє вмістити розріджене повітря з тиском до 50-60 мм рт. ст. Результатом роботи вказаного пристрою є фіксація коливань атмосферного тиску шляхом стискання стінок коробки, згинання/розгинання кінців трубки. За допомогою системи важелів вказані зміни відображаються на циферблаті. Шкала вимірювання пристрою градується міліметровими та напів міліметровими поділки. В сучасних датчиках, вказані процеси дещо оптимізовані та подають на виході інформації у вигляді електричних сигналів заданої величини, проте викладені процеси збереглись, хоч і вимагають спеціальних способів доставки речовини. Приклад такого пристрою наведений на рис. 1.3в.



а)



г)



б)



д)



в)



е)

а) для простих забруднень, б) для сумішей, в) датчик тиску, г) датчик температури, д) датчик вологості, е) для групи датчиків

Рисунок 1.3 – Датчики визначення концентрації забруднення

Вимірювання температури оточуючого середовища (рідинного, газоподібного, твердого) здійснюється за допомогою термометру [15]. На практиці можливо виділити термометри, які використовують для дослідження газу, оптичні та інфрачервоні спектри, рідини, електричні та механічні закони. Приклад такого пристрою наведений на рис. 1.3г.

Оцінка поточної вологості повітря виконується з використанням гігрометрів [16], які включають у себе два однакових термометра призначених для вимірювання температур «сухого» і «вологого» повітря. Принцип його роботи ґрунтується на вимірюванні температури повітря із використанням вказаних термометрів, при цьому резервуар одного з них зволожений дистильованою водою. Вмонтована шкала оцінки з'єднана зі скляним резервуаром, який живить фітіль термометра «вологого». Стале показання такого термометру можливо визначити динамічною рівновагою між рівнем вологості фітеля та вологістю повітря у навколишньому середовищі. Оцінка різниці вологості виконується за допомогою даних психрометричної таблиці для повітряних потоків зі швидкістю 0,5-1 м/с. Отриману величину називають відносною вологістю повітря у приміщеннях, при вказаній та температурі. Приклад такого пристрою наведений на рис. 1.3д.

Для моніторингу концентрації забруднення всередині приміщень використовують спеціальні пристрої – газоаналізатори [17]. Їх основним і єдиним завданням є визначення концентрації шкідливих речовин в оточуючому повітрі. Вони набули широкого використання як засоби вивчення складу повітря у задачах з підвищення безпеки технологічних процесів, вивчення якості, ефективності та моніторингу шкідливих речовин. Однак найбільшого використання вони набули саме у промисловості (нафтопереробка, хімія, фармацевтичні засоби, виробництво добрив, нагрівальних засобів, переробки сміття, тощо). У більшій кількості випадків газоаналізатори є складними комплексами аналізу повітря, які представлені у вигляді електрохімічних,

парамагнітних, теплових, інфрачервоних, пропорційно-інтегрально-диференційних регуляторів, фотоіонізаційних датчиків.

Більш простим пристроєм для контролю забруднень у приміщеннях є датчик диму [18]. Він хоч і не дозволяє вимірювати точну дозу викидів, але спроможний фіксувати їх наявність у приміщенні. Окрім того, він оснащений засобами оповіщення (рис. 1.2), які інформують користувачів про виявлення джерел вогню у приміщеннях. Так він є досить важливою частиною не лише системи моніторингу якості повітря, а також і системи пожежної охорони.

Механізми роботи датчиків руху [19] ґрунтуються на тих самих принципах, що датчики диму. Вони є складними пристроями, які дозволяють фіксувати перебування та переміщення об'єктів оснащених джерелами теплової енергії, сповіщати автоматизовані системи керування для вжиття відповідних заходів.

Видалення забруднень не єдина проблема під час управління якості повітря. Наступним кроком є регенерації повітря у приміщенні для підтримки оптимальних умов мікроклімату [20]. Для вказаного завдання використовуються озонатори, які генерують молекули озону O_3 з кисню O_2 . Фізика процесу така, що при значній концентрації озон знищує шкідливі мікроби і віруси як у повітрі, так і на предметах інтер'єру. У кінці реакції він розпадається на молекули кисню, яким насичується повітря у приміщенні. Однак озон також входить до переліку, шкідливих речовин, тому використання вказаних пристроїв передбачає відсутність людини у приміщенні та використання додаткових засобів контролю за його рівнем.

Так само як і температура, рівень вологості повітря суттєво впливає на організм людини, оточуюче середовище, у випадках його відхилень від норм. З метою регулювання рівня вологості повітря використовують зволожувачі [21] та осушувачі повітря [22].

Кліматичний пристрій, який дозволяє підвищити рівень вологості повітря у приміщенні може бути присутнім у складних вентиляційних системах.

Додатково, але не обов'язково, зволожувачі можуть бути оснащені додатковими опціями:

- нагрівання та/або охолодження повітря;
- очищення повітря від шкідливих речовин і насичення повітря корисними частинками;
- зберігання рівня вологості повітря на фіксованому рівні.

У теперішній час, виділяють 3 групи зволожувачів повітря: ультразвукові, парові, традиційні та імпелерні.

Значне відхилення вологості може негативно сказатися на здоров'ї людини, а також зіпсувати конденсатом предмети оточуючого середовища. Зволожувачі можуть лише збільшувати рівень вологості повітря, але не зменшувати його. Для компенсації цього, разом зі зволожувачами можливо використовувати осушувачі повітря. Побутові осушувачі повітря призначені для використання у квартирах, приватних будинках, котеджах, санвузлах і інших приміщеннях зі значних рівнем вологості повітря.

Для управління одним із основних параметрів якості клімату у приміщенні використовують терморегулятори для системи опалення [23]. Вони дозволяють не лише підтримувати фіксовану температуру у приміщенні, а також у поєднанні з вищевказаними датчиками та пристроями впливу забезпечувати виконання вимог стандартів щодо підтримки оптимального мікроклімату всередині приміщень.

Використання технічних і інженерних засобів потребує значних витрат часу та енергії, що суттєво впливає на їх остаточну вартість. Для попередження значних витрат та збільшення ефективності внаслідок їх впровадження використовуються засоби управління енергоживленням. Найпростішим і доступним серед них є електромагнітне реле [24]. У поєднанні з іншими датчиками та спеціальними програмними засобами воно дозволяє керувати різними електроприладами, з будь-якого місця вручну або автономно.

1.3.3 Програмні заходи

У порівнянні з інженерними та технічними, програмні заходами мають найбільше значення, при побудові систем автоматизованого управління, зокрема якістю повітря. Основним завданням таких систем є:

- безперервний збір даних;
- оперативне реагування на погіршення стану повітря;
- інформування людини про погіршення стану повітря різними шляхами;
- інтеграція із зовнішніми інформаційними/автоматизованими системами.

У теперішній час додатки даного класу досить специфічні та створюються під конкретний об'єкт нагляду. Особливості їх роботи є комерційною таємницею, тому інформації щодо їх можливостей та особливостей роботи досить мало. Окрім того, функціональність вказаних додатків суттєво залежить від технічних обмежень та особливостей імпантованих систем управління приміщеннями. Щоб розглянути приблизний функціонал, який може бути реалізований у вказаних додатках, розглянуто роботу автоматизованих систем спостережень і контролю за атмосферним повітрям АСКНС-АГ [25].

Основним призначенням додатку є безперервний контроль змін характеристик забруднення та погодних умов земної атмосфери. Він включає наступні опції:

- управління процесом відбору проб забруднюючих речовин;
- спостереження та фіксування концентрацій забруднюючих речовин в автономному режимі;
- аналітика для отриманих даних для визначення фактичного рівня забруднення повітря та його прогнозування;
- проведення та коригування розрахункових даних;
- формування рекомендацій щодо покращення стану атмосферного повітря;

– взаємодія зі спеціальними засобами впливу для зменшення рівня забруднення атмосфери.

В залежності від конкретного завдання вказана система повинна бути готова для масштабування для інтеграції з подібними системами:

а) інтеграція на промисловому рівні для управління викидами, ступенем забруднення промислових майданчиків і прилеглих до них територій;

б) інтеграція з міськими системи для управління рівнем шкідливих речовин у повітрі міст, які надходять з підприємств, транспорту (з урахуванням погодних даних):

1) 1-й рівень інтеграції передбачає вимірювання концентрацій шкідливих речовин і погоди з подальшим перетворенням, накопиченням даних на машинних носіях і формуванням повідомлень щодо необхідності вжиття тих чи інших заходів;

2) 2-й рівень інтеграції передбачає використання пересувних постів спостереження для обробки результатів на місцях.

г) інтеграція з регіональними системи передбачає агрегації даних щодо стану забруднення на місцях, їх подальшої статистичної обробки і аналізу даних на значних територіях для розробки науково обґрунтованих рекомендацій щодо захисту довкілля;

д) інтеграція із загальнодержавними системи моніторингу передбачає агрегацію регіональних даних, їх коригування з використанням супутників Землі та космічних орбітальних станцій;

є) інтеграція з глобальними системи для досліджень атмосферних змін на міжнародному рівні.

1.3.4 Організаційні заходи

Організаційні заходи із забезпечення моніторингу якості повітря є додатковим засобом моніторингу якості повітря. Він дозволяє об'єднати

інженерні, технічні та програмні засоби для побудови ефективного технологічного рішення. Основними завданнями є:

- формування переліку шкідливих речовин, які підлягають моніторингу;
- формування гранично допустимих концентрації шкідливих речовин;
- формування процедур моніторингу шкідливих речовин;
- формування критеріїв гнучкої оцінки впливу забруднення на людину та середовище її існування;
- формування заходів для попередження та покращення стану оточуючого середовища.

Перелік забруднень, який приведено у п.1.2, є загальним на міжнародному рівні. Він може уточнюватися та доповнюватися в залежності від норм законодавства кожної країни окремо [26].

Наступним кроком у побудові системи моніторингу є визначення гранично допустимих значень (ГДЗ) забруднювальних речовин у атмосфері певної місцевості [27]. Їх розробка потребує врахування особливостей місцевості, зокрема переліку промислових підприємств, які складають економічну базу регіону. ГДЗ формуються виходячи з особливостей функціонування організму людини, біологічних процесів навколишнього середовища. В подальшому вони використовуються та уточнюються для кожного підприємства окремо, особливо під час будівництва, розширення, реконструкції з урахуванням наявних і нових стаціонарних джерел забруднення атмосфери для дотримання вимог стосовно якості, визначення критичних навантажень на екологію. Оновлені дані ВООЗ щодо ГДЗ визначених категорій шкідливих речовин наведені у табл. 1.1:

Таблиця 1.1 - Оновлені рекомендації ВООЗ щодо ГДЗ забруднення у 2021 році

Шкідливі речовини	2005 рік	2021 рік
PM _{2.5}	25 мкг/м ³	15 мкг/м ³
PM ₁₀	50 мкг/м ³	45 мкг/м ³
O ₃	100 мкг/м ³	100 мкг/м ³
NO ₂	-	25 мкг/м ³
SO ₂	20 мкг/м ³	40 мкг/м ³

CO	-	4 $\text{мкг}/\text{м}^3$
----	---	---------------------------

Таким, чином станом на 2021 рік, ВООЗ у деякій мірі посилило контроль за концентраціями викидів шкідливих речовин до атмосфери. Але у порівнянні з даними табл. 1.1, ГДЗ для вказаних речовин в Україні не відповідають світовим нормам або не регламентуються на законодавчому рівні [26, 28]: $\text{PM}_{2.5}$ (не наведено), PM_{10} ($0,15 \text{ мкг}/\text{м}^3$), O_3 ($0,03 \text{ мкг}/\text{м}^3$), NO_2 ($0,04 \text{ мкг}/\text{м}^3$), SO_2 ($0,05 \text{ мкг}/\text{м}^3$), CO ($3 \text{ мкг}/\text{м}^3$).

Після визначення ГДЗ шкідливих речовин та їх вимірювання, для і з метою виявлення та попередження критичних ситуацій, які негативно впливають на здоров'я людей і оточуюче середовище, необхідно організувати систематичне спостереження за станом повітря [30].

В Україні моніторинг стану атмосферного повітря регулюється згідно з Законом України «Про охорону атмосферного повітря» [31]. Передбачені ним заходи вимагають організувати спостереження за концентрацією шкідливих речовин, наслідками їх згубного впливу на природне середовище. Вони включають наступні етапи:

- встановлення мети та вибір об'єкту нагляду;
- проведення спостережень за джерелами забруднення;
- визначення переліку основних видів забруднення і відповідних речовин;
- дослідження впливу шкідливих речовин на навколишнє середовище;
- прогнозування імовірних змін у середовищі через забруднення атмосфери;
- розробку заходів для прийняття управлінських рішень щодо збереження якості повітря на належному рівні.

На міжнародному рівні, ВООЗ рекомендовано проведення активних заходів щодо захисту атмосферного повітря для забезпечення економічного та соціального блага населення, без шкоди для довкілля [32]. До них відносять:

- організаційні заходи, які призначено для створення спеціальних санітарно-захисних зон на території підприємств (зонування територій, використання екологічних засобів пересування, озеленення та виділення зон із джерелами забруднень);

- соціальні заходи, основним завданням яких є забезпечення контролю за технічним станом транспортних засобів, складових палива та утилізацією відходів виробництва;

- нормативно-правові заходи спрямовані на розробку нормативів, стандартів і прийняття відповідних законів;

- економічні заходи, спрямовані на використання екологічних фільтрів, абсорбентів, перегляд процесів утилізації речовин, впровадження безвідходних технологічних процесів на промислових підприємствах.

1.4 Забруднення атмосферного повітря та повітря у приміщеннях

Забруднення атмосферного повітря здійснюється з використанням природних та антропогенних чинників. До природних можливо віднести – бурі з пилом, лісові та степні пожежі, руйнування гір, виверження вулканів, забруднення з космосу [33]. Однак найбільшої шкоди екології завдає саме діяльність людини:

- вирубування лісів (з часом призводить до руйнування гірських порід і масивів);

- виснаження родючих ґрунтів (провокує спустошення землі та появу пилових штормів);

- спалювання побутових і виробничих відходів (створюються умови для виникнення масштабних пожеж)

- проведення випробовувань з використанням ядерної зброї (провокує зміни у земній корі та виверження вулканів);

– космічні подорожі (забруднення верхніх шарів атмосфери, яке з часом опускається у нижні шари).

У контексті вищевказаного, забруднення приміщень має більш катастрофічних характер [5]. Проблема досить складна. Можливість її вирішення залежить від устоїв кожної країни.

Так в Україні існують проблеми пов'язані з застарінням і місцями невідповідністю систем місцевої вентиляції вимогам діючих санітарно-епідеміологічних норм. Їх наслідком іноді є повне відключення систем вентиляції приміщень задля уникнення додаткових витрат тепла та електроенергії.

Також у замкненому приміщенні зосереджені джерела антропогенного впливу, які у незначній мірі впливають на стан довкілля, але концентрація яких досить різко зростає у замкненому просторі. Основними забруднювачами повітря у приміщенні можуть бути:

– вуглекислий газ, який виділяють мешканці та тварини під час свого перебування всередині приміщень (концентрація газу при кожному видиху зростає до 15 разів), а також прилади генерації тепла);

– органічними сполуки фенолу та формальдегіду, джерелом яких є різні фанери, деревно-стружкові плити (ДСП), фарби, клеї, гуми, пластики, синтетичні тканини і вироби з них, тютюновий дим (їх концентрація в повітрі інколи може перевищувати ГДЗ у декілька разів);

– пил $PM_{2.5}$, який формується з будь-яких твердих частинок розміром до 2.5 мкм (досить легко переміщуються у повітрі та накопичуються у дихальних шляхах живих організмів).

Таким чином, навіть при організації ефективної системи вентиляції приміщень, на незначний проміжок часу стає можливим покращити якість повітря у приміщенні. Однак в результаті цього, до атмосферне повітря надходять вищевказані шкідливі речовини у досить високих концентраціях.

Додатково слід звернути увагу на природні забруднювачі повітря у приміщеннях, до яких відносять радіоактивний інертний газ радон і спори цвілі.

Радон важчий за повітря та накопичується у приміщеннях досить швидко, тому його видалення засобами вентиляції досить складне. Окрім того, вказаний забруднювач може постачатися до організму разом із водою, джерелом якої є артезіанські свердловини. А враховуючи те, що навіть незначні концентрації цього газу можуть стати причиною для розвитку онкологічних захворювань, безпечного ГДЗ для даного забруднювача не існує.

Іншим забруднювачем, який неможливо видалити з приміщень засобами вентиляції є цвіль. Умовами для її появи є:

високий рівень вологості повітря з відсутністю прямого сонячного світла;
температура близько 20°C.

Цвіль хоч і в незначній мірі впливає на організм людини, але може нанести значної шкоди власне приміщенню, руйнуючи поверхні огорожувальних конструкцій.

1.5 Висновки до розділу 1

В даному розділі, були розглянуті питання, які стосуються стану екології і її впливу на людину, оптимальні умови для життєдіяльності людини, нормативні документи, які регулюють якість повітря у світі, способи оцінки якості повітря та її автоматизації. Встановлено, що:

– у разі погіршення екологічної обстановки та в залежності від умов перебування людини, питання стосовно якості повітря є досить актуальним для суспільства;

– моніторинг якості повітря є досить складним та потребує спеціальних підходів і засобів для забезпечення на постійній основі є досить актуальним питання для науковців різних галузей;

– оскільки однією з вимог забезпечення якісного моніторингу є його безперервність, то використання методів моделювання та засобів автоматизації є актуальним для фахівців у галузі автоматизації технологічних процесів.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИ ОЦІНКИ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ У ПРИМІЩЕННІ

Згідно з результатами розділу 1, проведення заходів із моніторингу якості повітря є досить складним для людини, а також будь-якої системи у цілому. Результати моніторингу залежать від великої кількості фізичних і технічних факторів, а також операторів вказаних систем. Впровадження засобів автоматизації дозволяє вирішити вказану проблему, але для отримання точних результатів та вжиття оперативних заходів потребує встановлення переліку вказаних факторів і їх залежність один від одного.

2.1 Оцінка потужності вентиляційної системи у приміщенні

У випадку необхідності забезпечення якості повітря у замкнутих приміщеннях, перш за все необхідно обстежити шляхи потрапляння повітря всередину та зовні приміщення.

Стандартні житлові приміщення відповідно до вимог будівництва [34] обладнані системами природної вентиляції, яка забезпечує пряме з'єднання між мікросередовищем приміщення та навколишнім середовищем за допомогою вентиляційних каналів будівлі. Оскільки вказаний механізм не лише не забезпечує приток необхідної кількості повітря, алей своєчасне видалення шкідливих речовин з повітря приміщення, то для вказаних цілей використовують примусову вентиляцію з використанням відповідних технічних засобів.

Розрахунок системи примусової вентиляції приміщення та вимоги до нього визначаються документом СНиП 2.04.05-91 [35]. Згідно з ним, під час розрахунку витрат припливного повітря L_{np} у майбутній системі вентиляції необхідно округляти значення у більшу сторону, для забезпечення та на виконання санітарно-гігієнічних норм.

Необхідна витрата припливного повітря визначається окремо для теплового, перехідного і холодного періоду року за наступними умовами [36]:

– за надлишками явної теплоти (2.1):

$$L = L_{WZ} + \frac{3,6 \cdot Q - c \cdot L_{WZ} \cdot (t_{WZ} - t_{in})}{c \cdot (t_i - t_{in})} \quad (2.1)$$

де L_{WZ} - витрати повітря у робочій зоні приміщення штатними засобами вентиляції, м³/год;

Q - надлишковий тепловий потік приміщення, Вт;

t_{WZ} – температура видаленого повітря штатними засобами вентиляції, °С;

t_{in} – температура припливного повітря, °С;

t_i – температура видаленого повітря за межами приміщення, °С;

$c = 1,2 \text{ кДж/м}^3\text{°С}$ - теплоємність повітря.

– за масою викиду речовин, які відносяться до класу шкідливих та вибухонебезпечних (2.2):

$$L = L_{WZ} + \frac{m_{PO} - L_{WZ} \cdot (q_{WZ} - q_{in})}{q_i - q_{in}} \quad (2.2)$$

де m_{PO} – маси кожної шкідливої речовини у приміщенні, мг/год;

q_{WZ} - концентрація шкідливої речовини у повітрі, яке видаляється з приміщення, мг/ м³;

q_{in} - концентрація шкідливої речовини у припливному повітрі, мг/м³.

У випадках коли приміщення може містити 2 та більше шкідливих речовин, необхідно враховувати ефект інтеграційної дії. Повітрообмін даного приміщення слід обчислювати сумуючи витрати повітря для кожної з речовин використовуючи надлишки вологи (2.3):

$$L = L + \frac{W - 1,2 \cdot (d_{wz} - d_{in})}{1,2 \cdot (d_i - d_{in})} \quad (2.3)$$

де W - надлишки вологи в приміщенні, г/год;

d_{wz} - вологовміст повітря, що видаляється з робочої, або зони, що обслуговується системами місцевих відсмоктувачів та на технологічні потреби, г/кг;

d_i - вологовміст повітря, що видаляється з приміщення поза межами робочої або зони, що обслуговується, г/кг;

d_{in} - вологовміст повітря, що подається в приміщення, г/кг.

Для випадків, коли є можливим виявити надлишок вологи у приміщенні, не обхідно попередити можливість виникнення конденсату на огорожувальних конструкціях, особливо у зимовий період. Для цього при розрахунку повітрообміну приміщення необхідно врахувати:

– нормовану кратність повітрообміну (2.4):

$$L = V_p \cdot n \quad (2.4)$$

де V_p – об'єм приміщення, м³ (для приміщень висотою бм і більше $V_p = 6 \cdot A$);

A – площа приміщення, м²;

n – нормована кратність повітрообміну (для житлових приміщень більше $n = 1$, виробничих $n = 2,4$), год⁻¹

– нормовану питому втрату припливного повітря (2.5):

$$L = A \cdot k = N \cdot m \quad (2.5)$$

де A – площа приміщення, м²;

k – норма витрат припливного повітря на м² площі приміщення (по підлозі), м³/(год·м²);

m – норма витрат припливного повітря для 1 людини, робочого місця, відвідувача, одиницю обладнання, м³/год.

– швидкість виділення вологи у приміщенні (2.6):

$$L = \frac{D}{\rho \cdot C_p \cdot (t_v - t_n)} \quad (2.6)$$

де D – кількість виділеної вологи у приміщенні, г/год;

t_v – кількість вологи забрудненого повітря, г/кг;

t_n – кількість вологи у припливному повітрі, г/кг;

ρ – густина повітря (при 20°C, складає 1,205кг/м³);

C_p – теплоємність повітря (при 20°C, складає 1,005кДж/(кг·К)).

Окрім того, є додаткові залежності які дозволяють параметризувати необхідний рівень повітрообміну приміщення в залежності від [37]:

– гранично допустимої концентрації шкідливих речовин у повітрі приміщення (2.7):

$$L = \frac{G_p}{Y_{ГДК} - Y_{пр}} \quad (2.7)$$

де G_p – фактична концентрація шкідливої речовини у приміщенні, л/год;

$Y_{ГДК}$ – гранично допустима кількість шкідливої речовини у повітрі приміщення, л/м³;

$Y_{пр}$ – кількість шкідливої речовини у припливному повітрі, л/м³

– потужності вентиляційної установки та різниці температури між приміщенням і оточуючим середовищем (2.8) [38]:

$$\Delta T = \frac{2,98 \cdot P}{L} \quad (2.8)$$

де ΔT – різниця температури на вході та виході вентиляційної установки, °С;

P – потужність вентиляційної установки, Вт;

L – рівень повітрообміну приміщення, м³/год.

Використання виразів (2.1) – (2.9) потребує доступ до певної кількості даних, як про приміщення, так і засоби його вентилявання. Використовуючи опис однією із доступних на ринку побутових систем рекуперації повітря (рис. 2.1, табл. 2.1), можливо виконати оцінку ефективності та обмежень щодо використання даного приладу (табл. 2.2):



Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд рекуператора PRANA 150 Standart M2023 [39]

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики

Параметри	Значення
Параметри електроживлення, Ф/В/Гц	1/230/50
Повітрообмін, м ³ /год.	5/14/21/32/52/70
Рівень шуму, дБ(А), 3м	від 8
Споживана потужність в режимі вентиляції, кВт	0.0032
Споживана потужність, кВт	0,0032 — 0,074
Управління	пульт ДУ, додаток Prana online

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики

L	2	14	21	32	52	70
$P_{\text{мін}}$	3,2					
$\Delta T_{\text{мін}}$	4,8	0,7	0,5	0,3	0,2	0,1

$P_{\text{макс}}$	74					
$\Delta T_{\text{макс}}$	110,3	15,8	10,5	6,9	4,2	3,2

Як видно з табл. 2.2, для забезпечення необхідного рівня повітрообміну приміщення об'ємом 20м^3 , використання вказаної установки є доцільним лише у весняно-літній період.

2.2 Оцінка компонентів на якість повітря

Системи вентилявання приміщень є штатним засобом впливу на стан повітря, які не вирішують проблеми з організацією та управлінням станом повітря у замкнутому приміщенні. Їх вартість є досить високою та потребує проведення значних інженерних заходів. Враховуючи те, що значне втручання у структуру будівель може призвести до їх руйнації і несе небезпеку не лише для користувачів, а й для оточуючих, їх проведення потребує обґрунтування та узгодження з відповідними установами. З метою обґрунтування необхідності їх використання та попередження вказаних ризиків, встановлено необхідність проведення обстежень у приміщеннях з використанням технічних засобів.

2.2.1 Способи вимірювання концентрації газів

Вимірювання концентрації шкідливих речовин, не є безпосереднім способом покращення якості повітря у приміщенні. Його використання дозволяє лише оцінити приблизну концентрацію тих, чи інших речовин використовуючи методи математичного моделювання та сповістити систему управління про необхідність вжиття відповідних заходів. Узагальнена класифікація методів вимірювання концентрації газів наведена на рис. 2.2 [40]:



Рисунок 2.2 – Класифікація засобів вимірювання концентрації газів

Згідно з даними розділу 1, на сьогодні особливої уваги потребує контроль за виникненням джерел і поширенням наступних газів: оксиди (NO , NO_2 , SO_2 , SO_3 , CO_2 , тощо), феноли, бензол, аміак і горючі і вибухонебезпечні гази (CO , CH_4 , тощо). Для оцінки їх концентрації використовуються спеціалізовані технічні засоби – газоаналізатори, в основу роботи яких покладено вказані вище методи аналізу. Так виділяють наступні класи даних пристроїв:

- хімічні (основним завданням є визначення хімічних властивостей молекул відповідного газу);
- теплові (робота яких ґрунтується на вивченні фізичних властивостей певного газу);
- магнітні (для аналізу наявності газів за допомогою магнітних полів);
- хроматографічні (ґрунтуються на оцінці адсорбційних властивостей молекул газу);
- оптичні (оцінюють можливість поглинання електромагнітних хвиль газами);
- спектрометричні (дозволяють оцінити спектральні властивості газу);

- ємнісні (досліджують діелектричну проникність оточуючого середовища);
- випарні (побудовані на основі оцінки ефекту випаровування, кипіння і конденсації рідин);
- іонізаційні (визначають наявність і особливості іонізації речовини).

Через простоту реалізації, гнучкість та мобільність, значного поширення набули оптичні газоаналізатори. Структура вимірювальних каналів і структурна схема газоаналізатора наведені на рис 2.2 і 2.3 [41]:



Рисунок 2.3 – Структура вимірювальних каналів газових сполук

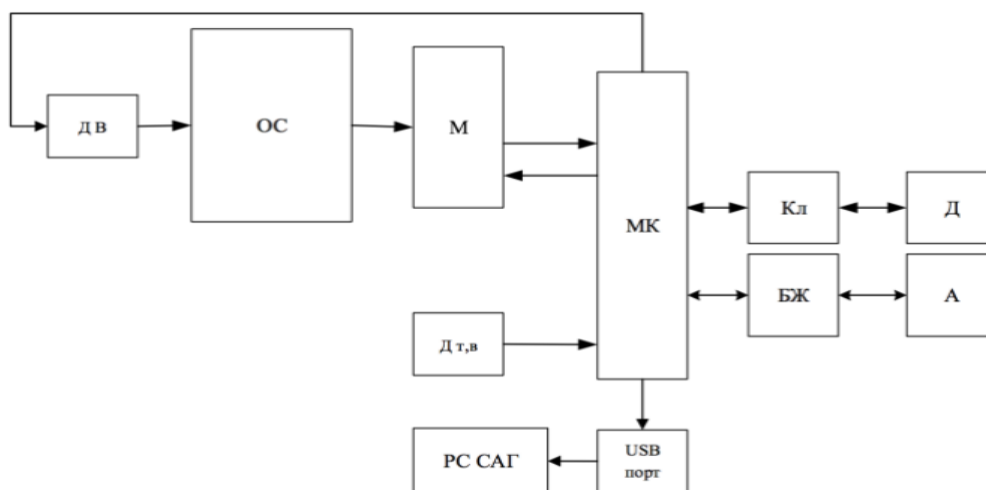


Рисунок 2.4 – Структурна схема газоаналізатора

До складу оптичного газоаналізатора входять: джерело ІЧ-випромінювання (ДВ); оптична система (ОС) з кюветою вимірювального каналу (К), основним і опорним приймачами інфрачервоного (ІЧ) випромінювання ($\Pi_{осн}$), опорний приймач ІЧ-випромінювання ($\Pi_{опр}$); мультиплексор (М); мікроконтролер (МК) з аналогово-цифровим перетворювачем (АЦП), аналоговим комутатором (АК) та USB контролером

(USB); датчик температури і вологості ($D_{T,B}$); живлення з блоком живлення (БЖ), акумулятором (А) та робоча станція (PC САГ) з клавіатурою (Кл), дисплеєм (Д), USB портом.

Математичну основу для оптичного дослідження газів складає вимірювання величини ослаблення потоку ІЧ-випромінювання, яке проходить через вимірювальну кювету з довільним газом та аналізується за законом Бугера-Ламберта-Бера (2.9) [42]:

$$\Phi_1 = \Phi_0 \cdot e^{-\alpha \cdot C \cdot l} \quad (2.9)$$

де Φ_0 і Φ_1 – величина світлового потоку ІЧ-випромінювання на вході та виході кювети;

α – коефіцієнт поглинання газу;

C – концентрація газу, що аналізується, кг/м^3 ;

l – довжина вимірювальної кювети, м.

Маючи можливість оцінки значення світлового потоку можливо обчислити концентрацію газу за допомогою методу диференційного оптичного поглинання (2.10) [43]:

$$C = \frac{P_n}{[\sigma(\lambda_2) - \sigma(\lambda_1)] \cdot l \cdot P(\lambda_2)} = \frac{P(\lambda_2) - P(\lambda_1)}{[\sigma(\lambda_2) - \sigma(\lambda_1)] \cdot l \cdot P(\lambda_2)} \quad (2.10)$$

де C – концентрація газу в повітряній суміші;

λ_1 – робоча довжина хвилі поглинання газу, мкм;

λ_2 – опорна довжина хвилі поза спектром поглинання газу, мкм;

$P(\lambda_i)$ – потужність на довжині хвилі λ_i , Вт;

$\sigma(\lambda_i)$ – переріз поглинання газу на довжині хвилі λ_i , Торр^{-1} .

Вищевказаний вираз є універсальним. Можливі деякі відмінності в залежності від елементної бази вимірювального пристрою та параметрів

оточуючого середовища (температура, вологість, тиск). Однак у залежності від умов вимірювання та оточуючого середовища можуть бути певні відмінності [43-45].

2.2.2 Вимірювання вологості повітря

Вологість повітря H характеризує кількість водяної пари у повітрі. Оптимальним значенням вологості є 40 – 60%. При появі відхилень, можливі наступні наслідки [46]:

- при $H < 30\%$, створюються умови для швидкого розвитку мікробів і вірусів, збільшується чутливість до респіраторних захворювань, призводить до появи сухості волосся та шкіри, зниження продуктивності у повсякденній діяльності;

- при $H \geq 60\%$, створює умови для появи цвілі та грибків, розвиток вірусів і бактерій, призводить до появи надмірного потовиділення та частого дихання, зменшення зносостійкості елементів інтер'єру.

Для попередження вищевказаних наслідків, використовують спеціальні методи та засоби управління даною величиною. Для визначення коректного рівня вологості повітря, необхідно врахувати наступні параметри оточуючого середовища:

- об'єм приміщення V_p ;
- оптимальні значення температури T_{opt} і вологості H_{opt} повітря у приміщенні;
- фактичні значення температури $T_{факт}$ і вологості $H_{факт}$ повітря у приміщенні;
- температура T_{oc} і вологість H_{oc} повітря у оточуючому середовищі;
- об'єм припливного повітря (2.1) – (2.8);
- сторонні фактори (кількість осіб, одиниць обладнання, особливості інтер'єру, тощо).

Розрахунковим параметром вологості є її дефіцит Q , який залежить від типу приміщення [47]:

– приміщення з припливною системою вентилявання (2.11):

$$Q = \frac{L \cdot 1,2 \cdot (\varphi_2 - \varphi_1)}{1000} + Y \quad (2.11)$$

де Q – дефіцит води, кг/год;

L – величина повітрообміну, м³/год;

φ_2 і φ_1 – найгірша та фактична абсолютна вологість повітря, г/кг;

Y – похибка для врахування сторонніх факторів

– приміщення без засобів вентилявання (2.12):

$$Q = \frac{V_p \cdot n \cdot 1,2 \cdot (\varphi_2 - \varphi_1)}{1000} + Y \quad (2.12)$$

де Q – дефіцит води, кг/год;

V_p – об'єм приміщення, м³;

n – нормована кратність повітрообміну (для житлових приміщень більше $n = 1$, виробничих $n = 2,4$), год⁻¹;

φ_2 і φ_1 – найгірша та фактична абсолютна вологість повітря, г/кг;

Y – похибка для врахування сторонніх факторів.

Для кількісного розрахунку абсолютної вологості повітря використовують вираз (2.13) і довідкову інформацію з Додатку А [48]:

$$\varphi_a = \frac{\varphi_v \cdot \rho_{H_2O}}{100} \quad (2.13)$$

де φ_a – абсолютна вологість повітря, г/м³;

φ_v – відносна вологість повітря, %;

ρ_{H_2O} – густина насиченої водної пари, мг/м³.

2.2.3 Способи вимірювання тиску

Розрахунки тиску повітря P є досить відносними, але впливають на різні фактори мікроклімату. Оптимальним тиском для атмосферного повітря є 760 мм ртутного стовпчика, однак для приміщень вказана величина складає 737 мм ртутного стовпчика. Перепад тиску складає близько 23 мм ртутного стовпчика або 3066,406 Па. Вказана величина є досить значною та може впливати на концентрацію газів у приміщенні.

Відповідно до закону Шарля [49], залежність між тиском газу P та його температурою можливо описати виразом (2.14):

$$P = P_0 \cdot \left(1 + \frac{T}{273}\right) \quad (2.14)$$

де P_0 – тиск газу (при $T=0^\circ\text{C}$), Па;

T – температура, К.

У залежності від розміщення об'єкта вимірювань тиск навколишнього середовища можливо оцінити виразом (2.15) [50]:

$$P = 10^{\lg(P_*) - \frac{g_c \cdot M_c}{\beta_* \cdot R_*} \cdot \lg\left(\frac{T_* + \beta_* \cdot (H - H_*)}{T_*}\right)} \quad (2.15)$$

де P_* – тиск у нижній межі поточного шару, Па;

g_c – прискорення вільного падіння, м/с²;

β_* – градієнт молярної температури, К/м;

R_* – універсальна газова константа (8314,32 Дж/(К·кмоль));

M_c – молярна маса (28,96442 кг/кмоль);

T_* – молярна температура у нижній межі поточного шару, К;

H_* – висота у нижній межі поточного шару, м.

В залежності від ступеню герметичності приміщення, можливо може виникнути необхідність коригування величини повітрообміну для досягнення оптимального тиску всередині приміщення (2.16) [51]:

$$\Delta P = \frac{\rho}{2} \cdot \left(\frac{\Delta L}{F \cdot \mu} \right)^2 \quad (2.16)$$

де ΔP – різниця тиску між приміщенням і оточуючим середовищем, Па;

ρ – густина повітря, кг/м³;

ΔL – різниця між об'ємами видаленого і припливного повітря, м³/год;

F – площа витоку, м²;

μ – коефіцієнт витрати для вентиляційних систем ($\mu=0,72$).

2.2.4 Способи вимірювання температури

Температура повітря T є одним із головних факторів впливу на організм і фізичні процеси у приміщенні. Оптимальною температурою для навколишнього середовища є 15°C, для приміщень не менше 20°C. Її розрахункове значення може відрізнятись в залежності від зовнішніх факторів [50]. В залежності від висоти, значення температури можливо оцінити виразом (2.17):

$$T = T_* + \beta_* \cdot (H - H_*) \quad (2.17)$$

де β_* – градієнт термодинамічної температури враховуючи геопотенціальну висоту;

T_* – температура у нижньому шарі атмосфери, К;

H_* – висота у нижньому шарі атмосфери, м;

H – фактична висота вимірювань, м.

2.2.5 Вплив температури та тиску на концентрацію газів

Згідно з постулатами Гей-Люсака, Шарля та Бойля Маріота, а також використовуючи рівняння ідеального газу можливо встановити залежність між тиском, температурою та об'ємом газу за допомогою виразу (2.18) [49]:

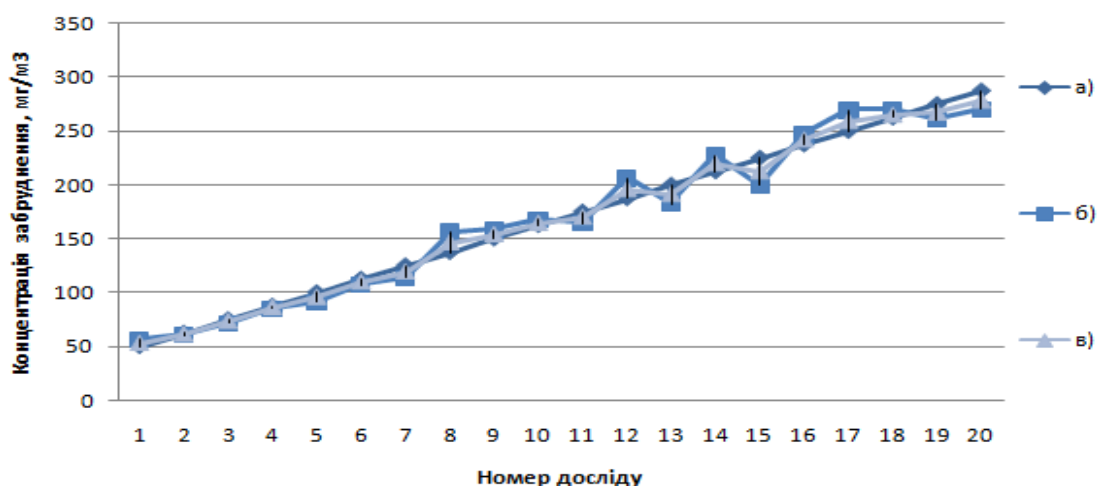
$$\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2} \quad (2.18)$$

Використовуючи вираз (2.19), стає можливим визначити похибку вимірної концентрації газу у приміщенні, а також врахувати вплив зовнішніх факторів на результати оцінки (2.19) і (2.20):

$$C_k = C_g \cdot \frac{P_1 \cdot T_2}{P_2 \cdot T_1} = C_g \cdot \frac{P_1 \cdot \left(1 + \frac{T_1}{273}\right) \cdot T_2}{P_2 \cdot \left(1 + \frac{T_2}{273}\right) \cdot T_1} \quad (2.19)$$

$$C_k = C_g \cdot \frac{P_1 \cdot \left(1 + \frac{T_1}{273}\right) \cdot T_2}{P_2 \cdot \left(1 + \frac{T_2}{273}\right) \cdot T_1} \quad (2.20)$$

На рис. 2.5 наведено графічне зображення вихідних і коригованих результатів вимірювання:



а) вихідні дані; б) кориговані дані (вираз 2.19) ; в) кориговані дані (вираз 2.20)

Рисунок 2.5 – Приклад оцінки концентрації забруднення у повітрі

Оцінка концентрації газу з використанням виразу (2.20) має похибку на 6% меншу, аніж результати для виразу (2.19).

2.3 Вимоги до мікроклімату у виробничих і житлових приміщеннях

Вимоги до параметрів мікроклімату досить різні для виробничих і житлових приміщень. Основними параметрами мікроклімату є: температура повітря T , відносна вологість повітря φ , швидкість руху повітря ν , інтенсивність теплового (інфрачервоного) опромінення I , температура поверхні T_n .

Згідно з діючими санітарно-гігієнічними нормами [52], наступні показники мікроклімату є оптимальними та допустимими для підтримки у виробничих (табл. 2.3) і житлових (табл. 2.4) приміщеннях:

Таблиця 2.3 – Умови мікроклімату виробничих приміщень

Параметр клімату	Оптимальні значення	Допустимі значення
T	17-21°C (у холодний час) 20-23°C (у теплий час)	13-24°C (у холодний час) 15-29°C (у теплий час)
φ	40-60%	65-70%
ν	0,2м/с 0,3м/с	0,3-0,4м/с 0,2-0,5м/с

Таблиця 2.4 – Умови мікроклімату житлових приміщень

Параметр клімату	Оптимальні значення
T	16-18°C (для комор) 24-26°C (для санвузлів) 21-25°C (для кімнат)
φ	40-60%
v	0,15-0,2м/с (у холодний час) до 0,3м/с (у теплий час)

2.3 Обчислення показника якості повітря

Відповідно до інформації розділу 1, безпека повітря для людини оцінюється за допомогою усереднення значень забруднення з використанням ГДЗ (1.1). Однак вказана методика досить обмежена і не дозволяє гнучко керувати якістю повітря і рівнем його забруднення. Для гнучкого управління вказаною величиною, ВООЗ розробило і затвердило використання кусково-лінійної функції, яка залежить від концентрації забруднення повітря. Результатом використання даного підходу є індекс AQI [29], який можливо оцінити за допомогою виразу (2.21):

$$AQI = \frac{I_{high} - I_{low}}{C_{high} - C_{low}} \cdot (C - C_{low}) + I_{low} \quad (2.21)$$

де I_{high} – точка зупинки індексу для C_{high} ;

I_{low} – точка зупинки індексу для C_{low} ;

C_{high} – концентрація зупинки (при $C \geq C_{high}$), мкг/м³;

C_{low} – концентрація зупинки (при $C < C_{low}$), мкг/м³;

C – концентрація шкідливої речовини, мкг/м³.

Використовуючи точки зупинки для визначених забруднювачів (Додаток Б.2), можливо виконати оцінку якості повітря, вживати відповідні заходи для управління нею та збереження здоров'я.

2.5 Оптимізація енергоспоживання систем вентиляції повітря

Згідно з рекомендаціями організацій охорони здоров'я, найбільш простим засобом підтримки чистоти повітря у приміщенні та попередження появи респіраторних захворювань є провітрювання приміщення на постійній основі. У залежності від розмірів приміщення, внутрішніх і зовнішніх факторів, цілодобове виконання вказаних вимог потребує значних витрат електроенергії.

З метою мінімізації витрат електроенергії, у роботі [53] встановлено залежність між величиною повітрообміну Q та потужністю системи вентиляції P , яка наведена на рис. 2..

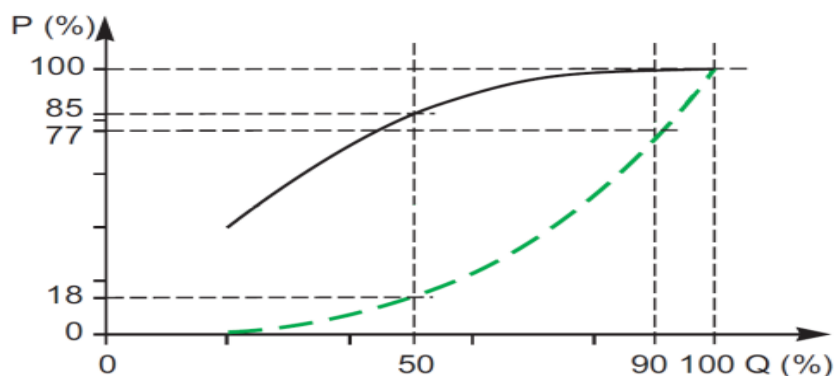


Рисунок 2.6 – Залежність величини повітрообміну Q від потужності P

Ідея підходу полягає в обмеженні потужності використання вентиляції для певних проміжків часу. Регулювання власне швидкості обертання вентилятора $\eta_{об}$ здійснюється за рахунок частотного перетворювача $\eta_{пер}$ (2.22):

$$P_{сер} = \frac{1}{24} \cdot \sum P_{кор,i} = \frac{1}{24} \cdot \sum \frac{P_{\%,i} \cdot t_{\%,i}}{\eta_{дв,\%}} \quad (2.22)$$

де $P_{\%,i}$ – потужність витрачена вентилятором в i -й проміжок часу, %;

$t_{\%,i}$ – час витрачений на роботу вентилятора в i -й проміжок, год.

2.6 Висновки до розділу 2

За результатами проведеного дослідження, у даному розділі отримано наступні результати:

- розглянуто питання щодо побудови та розрахунку системи вентилявання приміщень;
- розглянуто методи і засоби оцінки концентрації забруднювачів у повітрі;
- розглянуто зв'язок між фізичними величинами, які впливають на якість повітря (вологість, тиск, температура);
- розглянуто спосіб оцінки якості повітря на основі ПДК та індексу *AQI*;
- встановлено фізичні фактори моніторинг та управління якими дозволяє покращити якість повітря в житлових приміщеннях.

РОЗДІЛ 3

АВТОМАТИЗАЦІЯ ОЦІНКИ ЗАБРУДНЕНОГО ПОВІТРЯ У ПРИМІЩЕННЯХ

Основним призначенням системи управління якістю повітря є формування управляючих сигналів для системи вентиляції та зволоження повітря у приміщенні. За результатами дослідження методів вимірювання та оцінки параметрів, які характеризують якість повітря у розділі 2, сформовано перелік систем і сигналів, управління якими можливе з використанням комп'ютерно-інтегрованих технологій. До них віднесені:

- систему управління забрудненням повітря;
- систему управління вологістю повітря.

3.1 Система управління забрудненням повітря

На рис. 3.1 наведено узагальнену схему управління забрудненням повітря із зазначенням змінних управління:



Рисунок 3.1 – Структурна схема системи управління забрудненням

Для проведення якісної оцінки повітря необхідно враховувати значну кількість зовнішніх і внутрішніх факторів, зокрема:

– параметри та склад атмосферного повітря у поточній місцевості (тиск, температуру, вологість, концентрація шкідливих речовин, висота розміщення, тощо);

– параметри та склад повітря у поточному приміщенні (тиск, температуру, вологість, втрати повітря, витрати повітря, перепад тиску, виділена волога, концентрація шкідливих речовин, тощо);

– параметри та склад приміщення (площа, об'єм, кількість осіб, потужність вентиляції, тощо);

– параметри, склад і розміщення технічних засобів у моніторингу та впливу на екологію приміщення (номінальні струм, напруга, потужність, геометричні та інші ергономічні показники).

Враховуючи це, виконано декомпозицію системи управління забрудненням та виділено наступні контури управління (рис. 3.2):

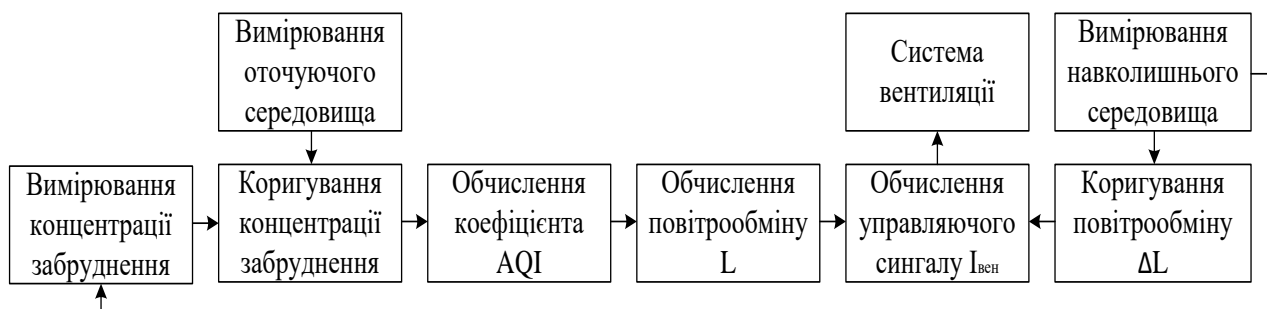


Рисунок 3.2 – Контури системи управління забрудненням повітря

3.1.1 Контур вимірювання концентрації забруднення

Призначенням даного контуру є автоматизація вимірювання концентрації забруднення з використання одного або декількох вимірювальних приладів. Особливою вимогою до даного контуру є багатоканальна та безперервна обробка даних про стан повітря. Структурна схема такого контуру наведена на рис 3.3:

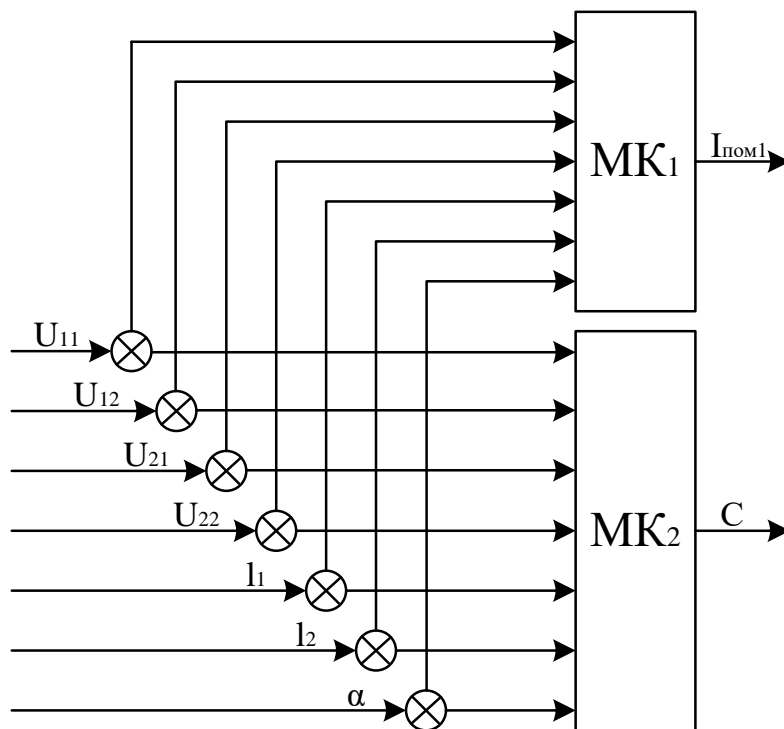


Рисунок 3.3 – Контур вимірювання концентрації забруднення: контролер обробки помилок (МК₁), контролер обчислення концентрації газу (МК₂)

Алгоритм роботи вказаного контуру, вимоги до вхідних і вихідних даних, система обробка помилок наведені на рис. 3.4, у табл. 3.1 і 3.2.

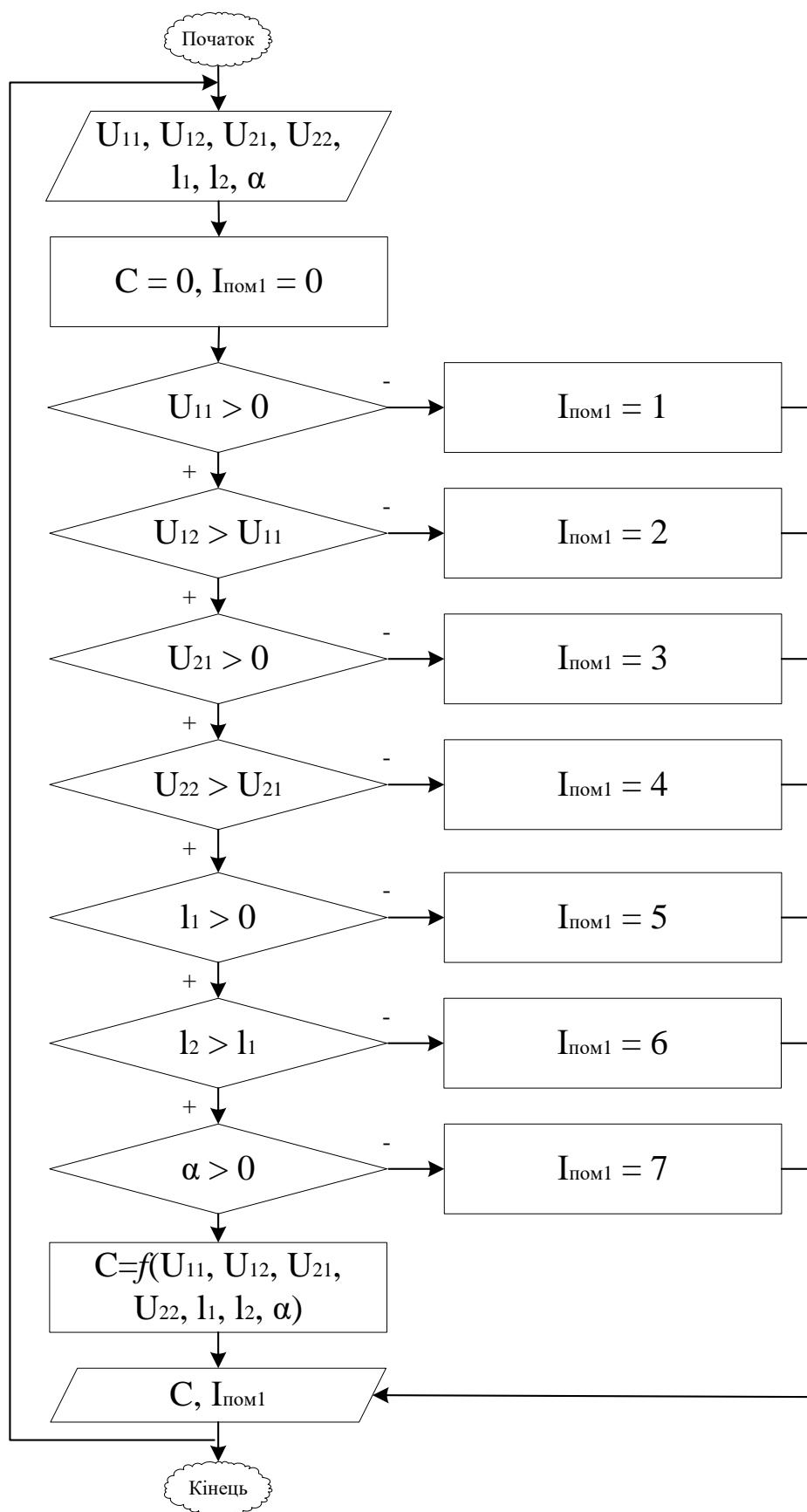


Рисунок 3.4 – Алгоритм обробки вимірювань концентрації забруднення

Таблиця 3.1 - Вхідні та вихідні дані контуру вимірювання концентрації

Параметр	Умовне позначення	Одиниці вимірювання	Діапазон вхідних даних
Вхідна напруга до проходження на вході до кювети 1 (вхід МК ₁ , МК ₂)	U_{11}	<i>B</i>	0-5
Вихідна напруга до проходження на виході з кювети 1 (вхід МК ₁ , МК ₂)	U_{12}	<i>B</i>	0-5
Вхідна напруга до проходження на вході до кювети 2 (вхід МК ₁ , МК ₂)	U_{21}	<i>B</i>	0-5
Вихідна напруга до проходження на виході з кювети 2 (вхід МК ₁ , МК ₂)	U_{22}	<i>B</i>	0-5
Розмір газової кювети 1 (вхід МК ₁ , МК ₂)	l_1	<i>м</i>	0-200
Розмір газової кювети 2 (вхід МК ₁ , МК ₂)	l_2	<i>м</i>	0-200
Поглинання газу (вхід МК ₁ , МК ₂)	α	<i>дБ/м</i>	0-1
Концентрація газу (вихід МК ₂)	C	<i>мкг/м³</i>	0,54-3,6
Сила струму (вихід МК ₁)	$I_{\text{пом1}}$	<i>мкА</i>	1-7

Таблиця 3.2 - Опис і кодування помилок вимірювання концентрації

Помилка	Вихідні значення	Код сигналу
Наруга входу у кюветі 1 відсутня	$C = 0, I_{\text{пом1}} = 1$	000001
Наруга виходу вища за напругу входу у кюветі 1	$C = 0, I_{\text{пом1}} = 2$	000010
Наруга входу у кюветі 2 відсутня	$C = 0, I_{\text{пом1}} = 3$	000011
Наруга виходу вища за напругу входу у кюветі 2	$C = 0, I_{\text{пом1}} = 4$	000100
Розмір кювети 1 не задано	$C = 0, I_{\text{пом1}} = 5$	000101
Розмір кювети 2 не перевищує розмір кювети 1	$C = 0, I_{\text{пом1}} = 6$	000110
Коефіцієнт поглинання газу не задано	$C = 0, I_{\text{пом1}} = 7$	000111

3.1.2 Контур коригування концентрації забруднення

Коригувальний контур має виконувати завдання з приведення вимірною концентрації газу C до нормованого вигляду, з урахуванням впливу факторів оточуючого середовища. Структурна схема такого контуру наведена на рис 3.5.

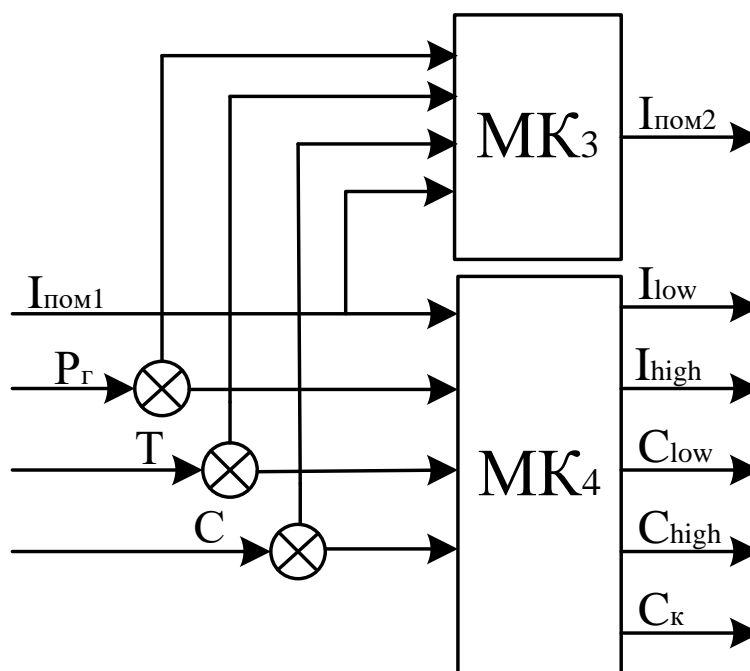
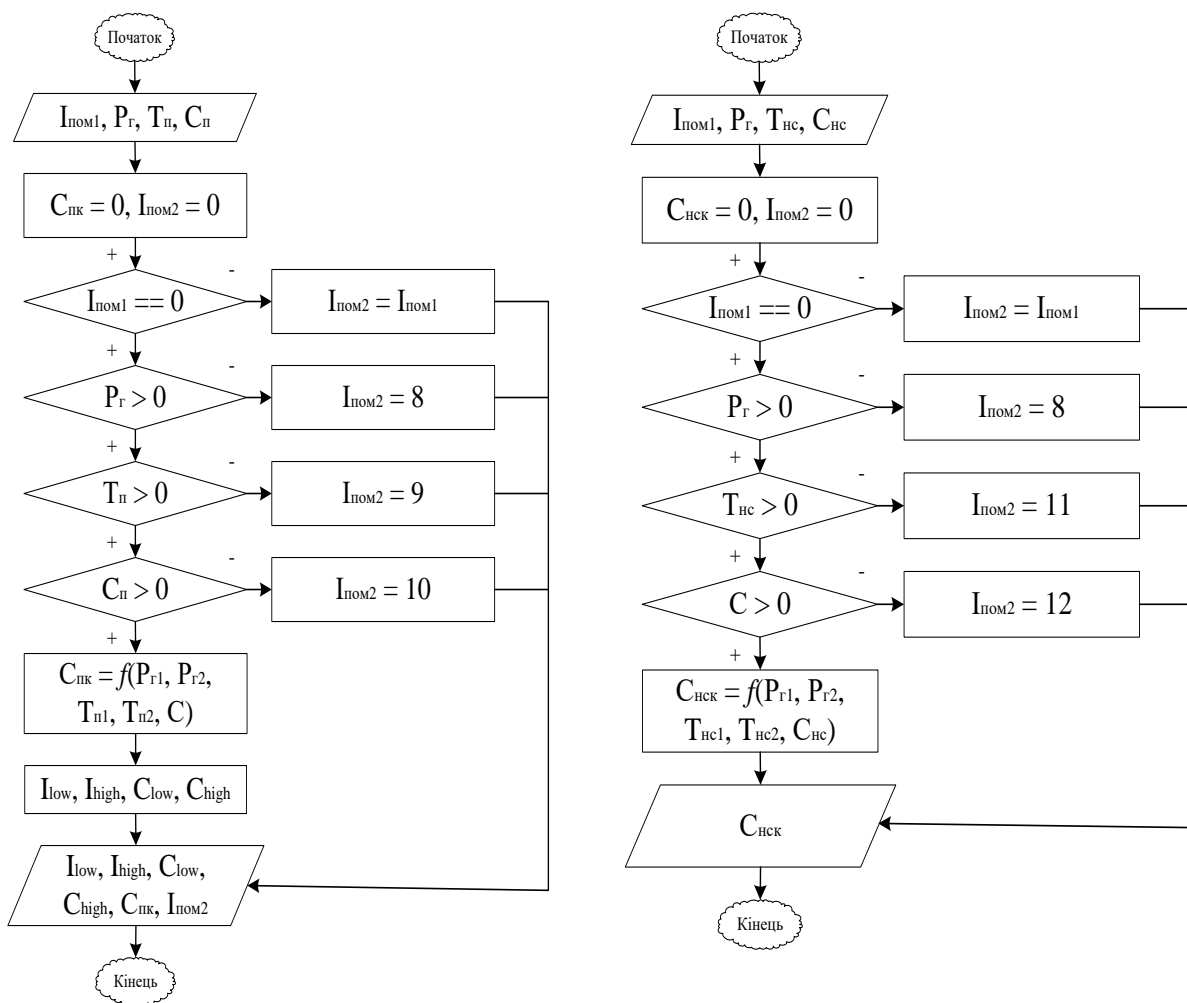


Рисунок 3.5 – Контур коригування концентрації забруднення: контролер обробки помилок (МК₃), контролер коригування концентрації газу (МК₄)

Алгоритм роботи вказаного контуру, вимоги до вхідних і вихідних даних, система обробка помилок наведені на рис. 3.6, у табл. 3.3 і 3.4.



а)

б)

а) для приміщення, б) для навколишнього середовища

Рисунок 3.6 – Алгоритм коригування концентрації забруднення

Таблиця 3.3 - Вхідні та вихідні дані контуру коригування концентрації

Параметр	Умовне позначення	Одиниці вимірювання	Діапазон вхідних даних
Струм помилки (вихід МК ₁)	$I_{\text{пом1}}$	<i>мкА</i>	1-7
Власний тиск газу (вхід МК ₃ , МК ₄)	P_{Γ}	<i>МПа</i>	0.001-20
Температура приміщення (вхід МК ₃ , МК ₄)	T_{Π}	<i>К</i>	253-303

Продовження таблиці 3.3

Параметр	Умовне позначення	Одиниці вимірювання	Діапазон вхідних даних
Температура навколишнього середовища (вхід МК ₃ , МК ₄)	T_{nc}	K	253-303
Концентрація газу у приміщенні (вхід МК ₃ , МК ₄)	$C_{п}$	$мкг/м^3$	0,54-3,6
Концентрація газу у навколишньому середовищі (вхід МК ₃ , МК ₄)	C_{nc}	$мкг/м^3$	0,54-3,6
Коригована концентрація газу у приміщенні (вихід МК ₄)	$C_{пк}$	$мкг/м^3$	0,54-3,6
Коригована концентрація газу у навколишньому середовищі (вихід МК ₄)	$C_{нск}$	$мкг/м^3$	0,54-3,6
Точка зупинки індексу для C_{low} (вихід МК ₄)	I_{low}	<i>у.о.</i>	0-300
Точка зупинки індексу для C_{high} (вихід МК ₄)	I_{high}	<i>у.о.</i>	0-500
Концентрація зупинки при $C < C_{low}$ (вихід МК ₄)	C_{low}	$мкг/м^3$	0-1065
Концентрація зупинки при $C \geq C_{high}$ (вихід МК ₄)	C_{high}	$мкг/м^3$	0-2000
Сила струму (вихід МК ₃)	$I_{пом2}$	$мкА$	8-12

Таблиця 3.4 - Опис і кодування помилок коригування концентрації

Помилка	Вихідні значення	Код сигналу
Помилка обчислень у контурі вимірювання концентрації газу. Припинити коригування даних	$C_{пк} = C_{нск} = I_{low} = I_{high} = C_{low} = C_{high} = 0, I_{пом2} = 1-7$	000001 - 000111
Тиск газу не задано	$C_{пк} = C_{нск} = I_{low} = I_{high} = C_{low} = C_{high} = 0, I_{пом2} = 8$	001000
Температуру приміщення не задано	$C_{пк} = C_{нск} = I_{low} = I_{high} = C_{low} = C_{high} = 0, I_{пом2} = 9$	001001
Концентрацію газу у приміщенні не задано	$C_{пк} = C_{нск} = I_{low} = I_{high} = C_{low} = C_{high} = 0, I_{пом2} = 10$	001010
Температуру навколишнього середовища не задано	$C_{пк} = C_{нск} = I_{low} = I_{high} = C_{low} = C_{high} = 0, I_{пом2} = 11$	001011
Концентрацію газу у навколишньому середовищі не задано	$C_{пк} = C_{нск} = I_{low} = I_{high} = C_{low} = C_{high} = 0, I_{пом2} = 12$	001100

У разі постійного калібрування сенсорів вимірювальних пристроїв, використання контуру може бути надлишковим.

3.1.3 Контур оцінки якості повітря

Контур оцінки якості повітря є головною частиною системи. Його основним завданням є обчислення коефіцієнту якості повітря на основі попередніх спостережень. Перелік ГДЗ для розрахунків наведено у Додатку Б. Структурна схема такого контуру наведена на рис 3.7.

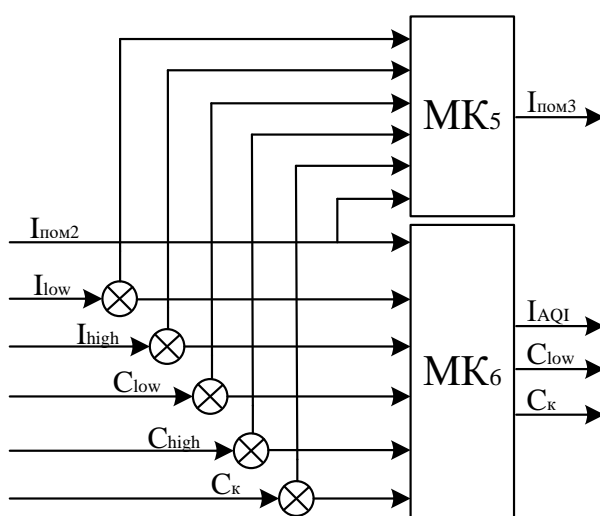


Рисунок 3.7 – Контур оцінки якості повітря: контролер обробки помилок (МК₅), контролер розрахунку індексу AQI (МК₆)

Алгоритм роботи вказаного контуру, вимоги до вхідних і вихідних даних, система обробка помилок наведені на рис. 3.8, у табл. 3.5 і 3.6.

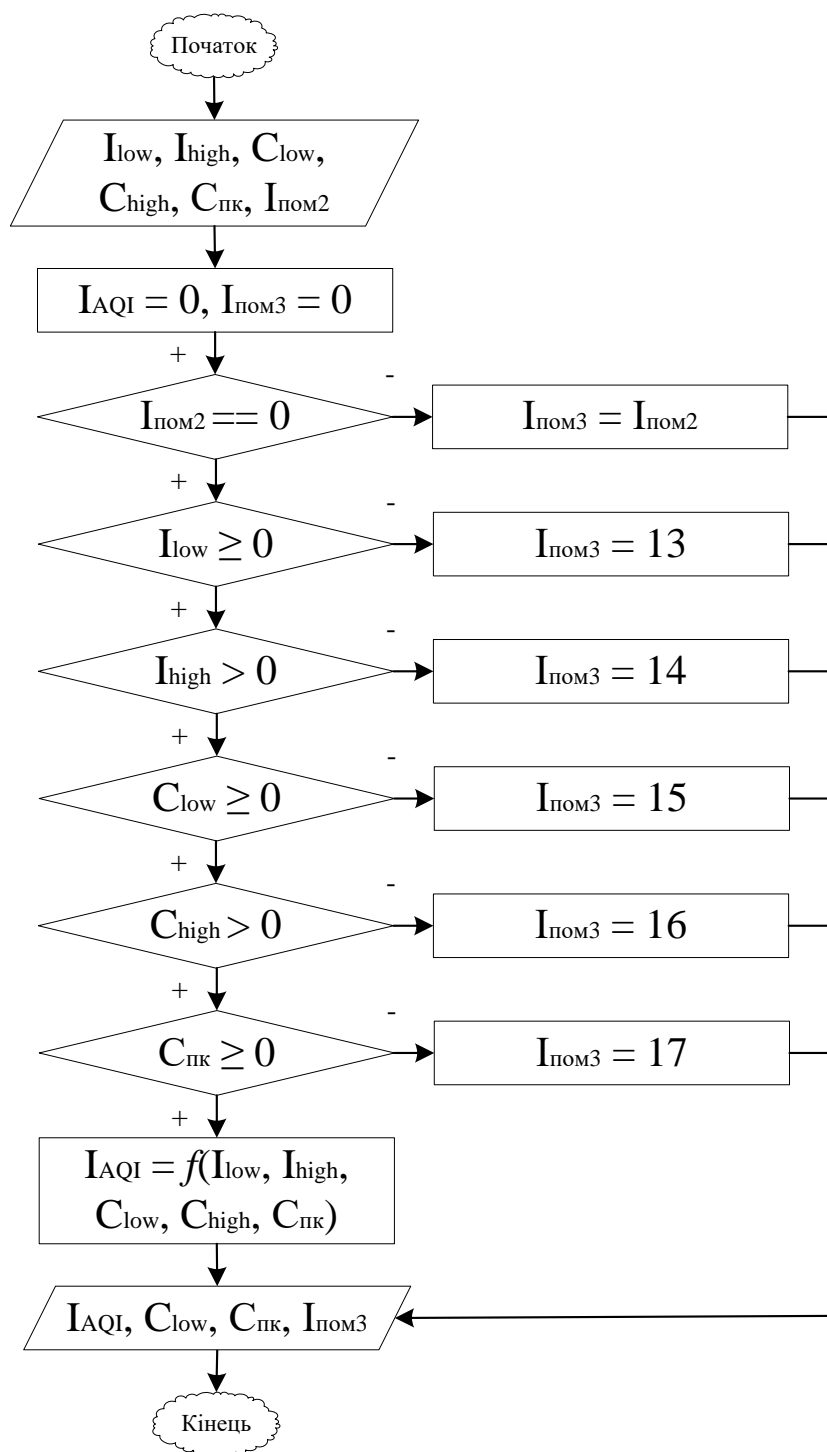


Рисунок 3.8 – Алгоритм оцінки якості повітря індексом AQI

Таблиця 3.5 - Вхідні та вихідні дані контуру оцінки якості повітря

Параметр	Умовне позначення	Одиниці вимірювання	Діапазон вхідних даних
Струм помилки (вихід МК ₃)	$I_{\text{пом2}}$	мкА	1-12
Точка зупинки індексу для C_{low} (вихід МК ₆)	I_{low}	у.о.	0-300

Точка зупинки індексу для C_{high} (вхід МК ₆)	I_{high}	<i>у.о.</i>	0-500
Концентрація зупинки при $C < C_{low}$ (вхід-вихід МК ₆)	C_{low}	<i>мкг/м³</i>	0-1065
Концентрація зупинки при $C \geq C_{high}$ (вхід МК ₆)	C_{high}	<i>мкг/м³</i>	0-2000
Коригована концентрація газу у приміщенні (вхід МК ₆ , вихід МК ₆)	$C_{пк}$	<i>мкг/м³</i>	0,54-3,6
Індекс якості повітря у приміщенні (вихід МК ₆)	I_{AQI}	<i>у.о.</i>	0-500
Сила струму (вихід МК ₅)	$I_{пом3}$	<i>мкА</i>	13-17

Таблиця 3.6 - Опис і кодування помилок при оцінці якості повітря

Помилка	Вихідні значення	Код сигналу
Помилка обчислень у контурі коригування концентрації газу. Припинити обчислення якості	$I_{AQI} = C_{пк} = C_{low} = 0$ $I_{пом3} = 1-12$	000001 - 001100
Точку зупинки індексу для C_{low} не задано	$I_{AQI} = C_{пк} = C_{low} = 0$ $I_{пом3} = 13$	001101
Точку зупинки індексу для C_{high} не задано	$I_{AQI} = C_{пк} = C_{low} = 0$ $I_{пом3} = 14$	001110
Концентрацію зупинки при $C < C_{low}$ не задано	$I_{AQI} = C_{пк} = C_{low} = 0$ $I_{пом3} = 15$	001111
Концентрацію зупинки при $C \geq C_{high}$ не задано	$I_{AQI} = C_{пк} = C_{low} = 0$ $I_{пом3} = 16$	010000
Концентрацію газу у навколишньому середовищі не задано	$I_{AQI} = C_{пк} = C_{low} = 0$ $I_{пом3} = 17$	010001

За результатами обчислення коефіцієнту якості повітря необхідно сповістити користувача про якість повітря у приміщенні. В залежності від значення індексу, запропонувати йому залишити приміщення на час очищення повітря.

3.1.4 Контур оцінки повітрообміну приміщення

Початковою точкою для забезпечення оптимальної якості повітря у приміщенні є підтримання повітрообміну на належному рівні. При недостатній кількості повітря система не лише не зможе прибрати виявлені шкідливі речовини із по повітря приміщення, але й не зможе забезпечити мінімальні витрати повітря для комфортного перебування людини у приміщенні. З цією метою у системі виділено контур, основним призначенням якого є обчислення витрат повітря для комфортного перебування та можливості оперативного видалення шкідливих речовин за межі контрольованою зони. Структурна схема такого контуру наведена на рис 3.9.

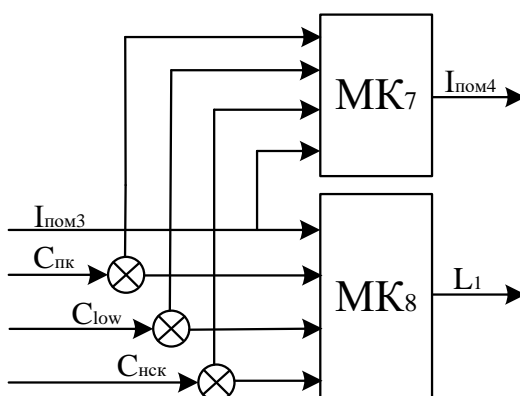


Рисунок 3.9 – Контур оцінки повітрообміну приміщення:
контролер обробки помилок (МК₇), контролер розрахунку повітрообміну
(МК₈)

Алгоритм роботи вказаного контуру, вимоги до вхідних і вихідних даних, система обробка помилок наведені на рис. 3.10, у табл. 3.7 і 3.8.

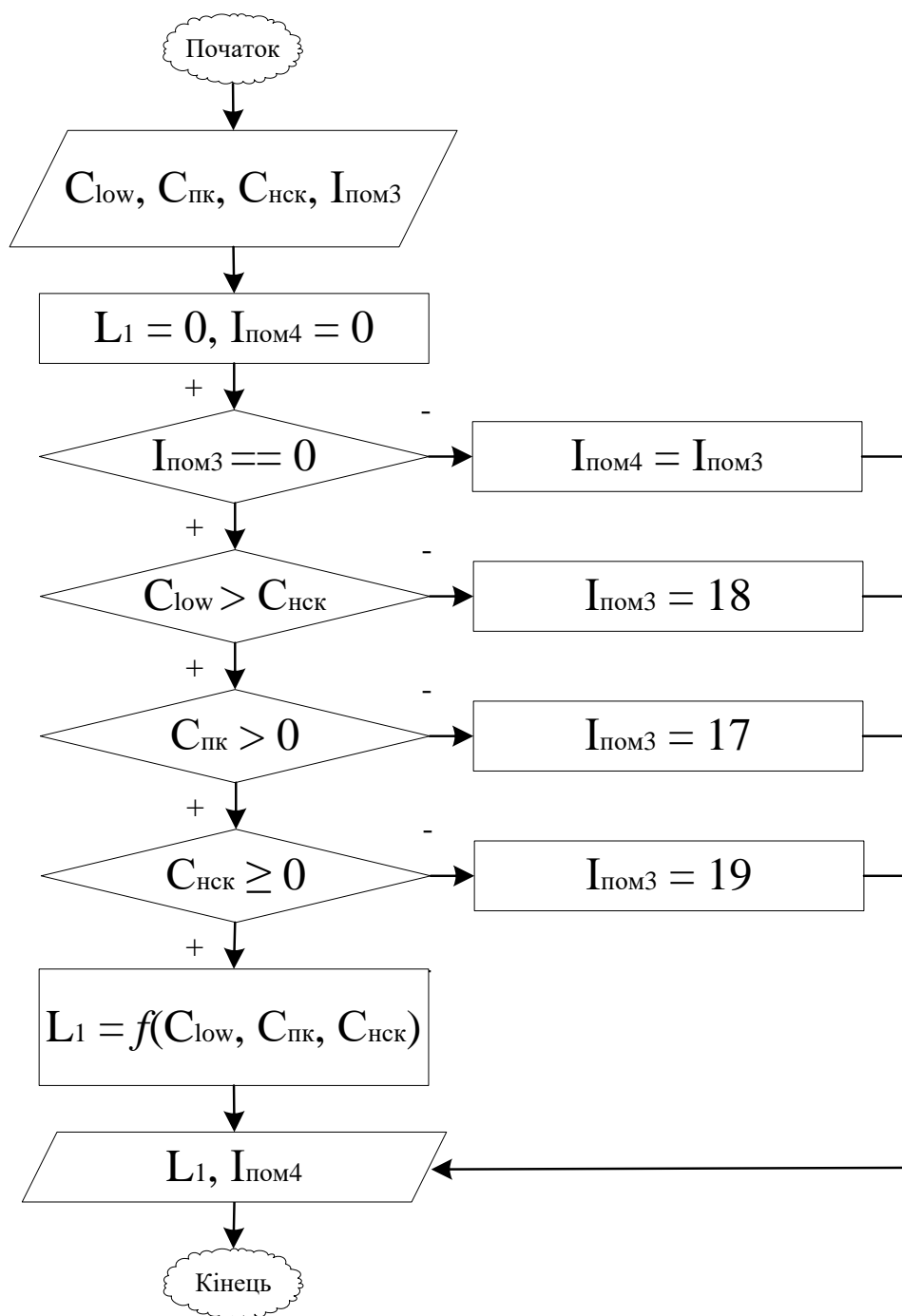


Рисунок 3.10 – Алгоритм оцінки витрат повітря

Таблиця 3.7 - Вхідні та вихідні дані контуру оцінки витрат повітря

Параметр	Умовне позначення	Одиниці вимірювання	Діапазон вхідних даних
Струм помилки (вихід МК ₅)	I _{пом3}	мкА	1-17
Концентрація зупинки при C < C _{low} (вихід МК ₇ , МК ₈)	C _{low}	мкг/м ³	0-1065

Концентрація газу у приміщенні (вхід МК ₇ , МК ₈ , вихід МК ₆)	C_{high}	$мкг/м^3$	0-2000
Концентрація газу у навколишньому середовищі (вхід МК ₇ , МК ₈ , вихід МК ₆)	$C_{пк}$	$мкг/м^3$	0,54-3,6
Витрати повітря (вихід МК ₈)	L_1	<i>у.о.</i>	0-500
Сила струму (вихід МК ₇)	$I_{пом4}$	<i>мкА</i>	18-19

Таблиця 3.8 - Опис і кодування помилок при оцінці витрат повітря

Помилка	Вихідні значення	Код сигналу
Помилка обчислень у контурі оцінки якості повітря. Припинити роботу контуру	$L_1 = 0$ $I_{пом3} = 1-17$	000001 - 010001
Тиск досліджуваного газу не задано	$L_1 = 0$ $I_{пом3} = 18$	010010
Концентрація газу у навколишньому середовищі перевищує значення концентрації зупинки при $C < C_{low}$	$L_1 = 0$ $I_{пом3} = 19$	010011

3.1.5 Контур коригування повітрообміну приміщення

Розглядаючи реальні приміщення необхідно враховувати можливі коливання концентрацій повітря та газу у приміщенні, їх відмінність від розрахункових. Причиною цього є щілини в огорожувальних конструкціях як приміщення, так і системи вентилявання. Для врахування цієї похибки додано контур коригування витрат повітря. Структурна схема, алгоритм роботи, вимоги до вхідних і вихідних даних, система обробка помилок досліджуваного контуру наведені рис. 3.11, у табл. 3.9 і 3.10.

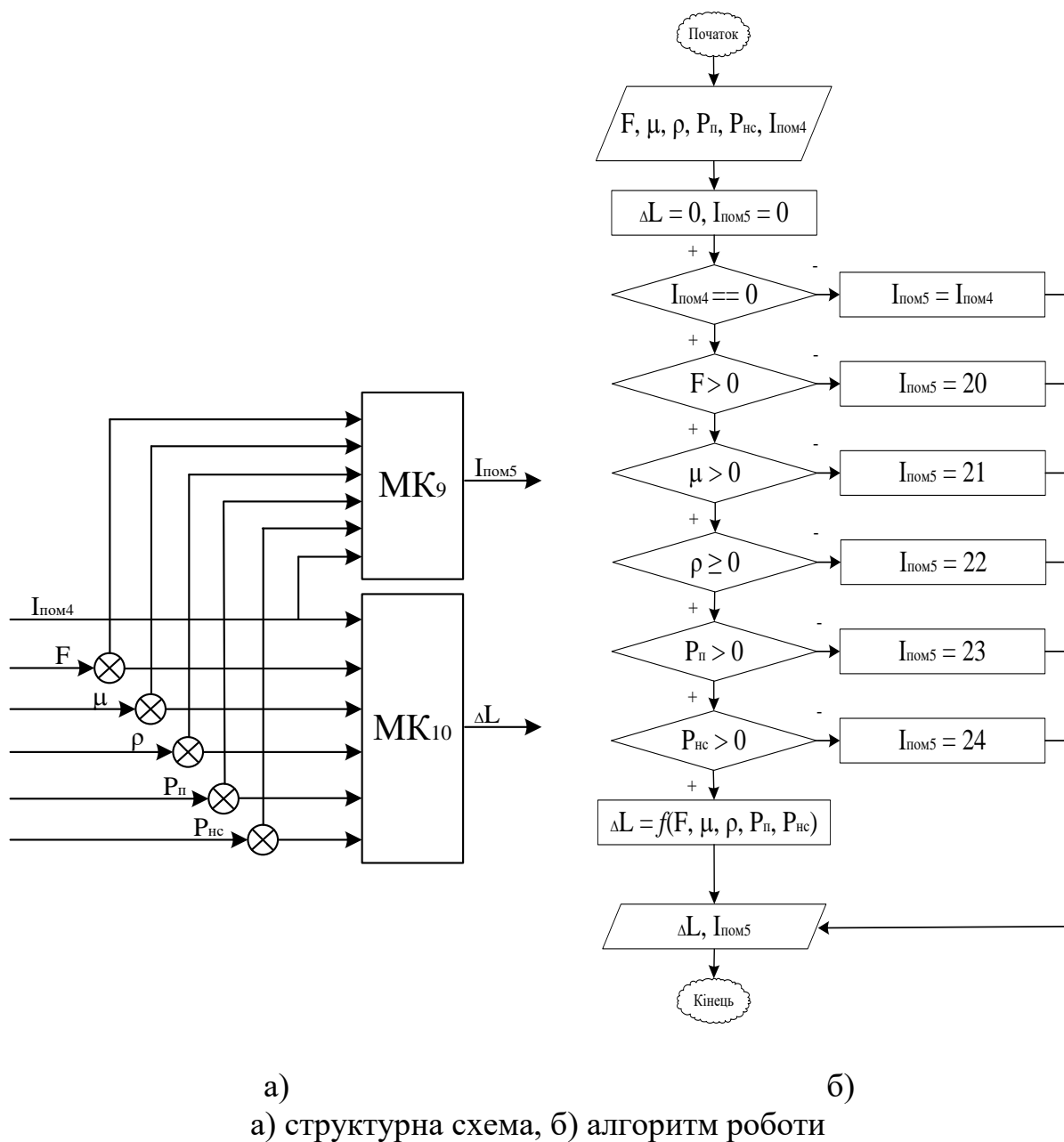


Рисунок 3.11 – Контур коригування оцінки повітрообміну приміщення

Таблиця 3.9 - Вхідні та вихідні дані контуру коригування витрат повітря

Параметр	Умовне позначення	Одиниці вимірювання	Діапазон вхідних даних
Струм помилки (вихід МК ₇)	$I_{\text{пом4}}$	<i>мкА</i>	1-19
Площа витoku повітря (залежить від класу чистоти приміщення, вхід МК ₉ , МК ₁₀)	F	m^2	0,001-0,01
Кофіцієнт витрати для вентиляції (вхід МК ₉ , МК ₁₀)	μ	<i>у.о.</i>	0,72

Густина повітря (вхід МК ₉ , МК ₁₀)	ρ	$кг/м^3$	1,205
Тиск повітря у приміщенні (вхід МК ₉ , МК ₁₀)	$P_{п}$	$кПа$	1-500
Тиск повітря у навколишньому середовищі (вхід МК ₉ , МК ₁₀)	$P_{нс}$	$кПа$	1-500
Похибка витрати повітря (вихід МК ₁₀)	ΔL	<i>у.о.</i>	0-500
Сила струму (вихід МК ₉)	$I_{пом5}$	<i>мкА</i>	20-24

Таблиця 3.10 - Опис і кодування помилок при коригуванні витрат повітря

Помилка	Вихідні значення	Код сигналу
Помилка обчислень у контурі оцінки якості повітря. Припинити роботу контуру	$\Delta L = 0$ $I_{пом5} = 1-19$	000001 - 010011
Площа витoku не задана	$\Delta L = 0$ $I_{пом5} = 20$	010100
Коефіцієнт витрат не задано	$\Delta L = 0$ $I_{пом5} = 21$	010101
Густину повітря не задано	$\Delta L = 0$ $I_{пом5} = 22$	010110
Тиск повітря у приміщенні не задано	$\Delta L = 0$ $I_{пом5} = 23$	010111
Тиск повітря у навколишньому середовищі не задано	$\Delta L = 0$ $I_{пом5} = 24$	011000

3.1.6 Контур формування сигналу керування вентиляцією

Розглядаючи реальні приміщення необхідно враховувати можливі коливання концентрацій повітря та газу у приміщенні, їх відмінність від розрахункових. Причиною цього є щілини в огорожувальних конструкціях як приміщення, так і системи вентилявання. Для врахування цієї похибки додано контур коригування витрат повітря. Структурна схема вказаного контуру наведені рис. 3.12.

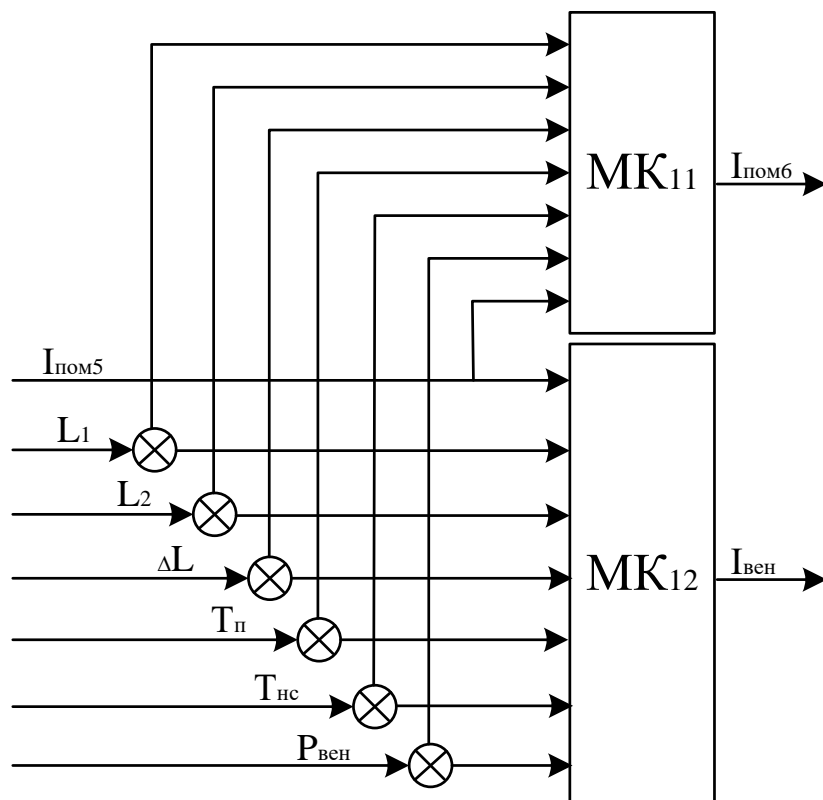


Рисунок 3.12 – Контур формування управляючого сигналу

Алгоритм роботи контуру, вимоги до вхідних і вихідних даних, система обробка помилок наведені на рис. 3.13, у табл. 3.11 і 3.12:

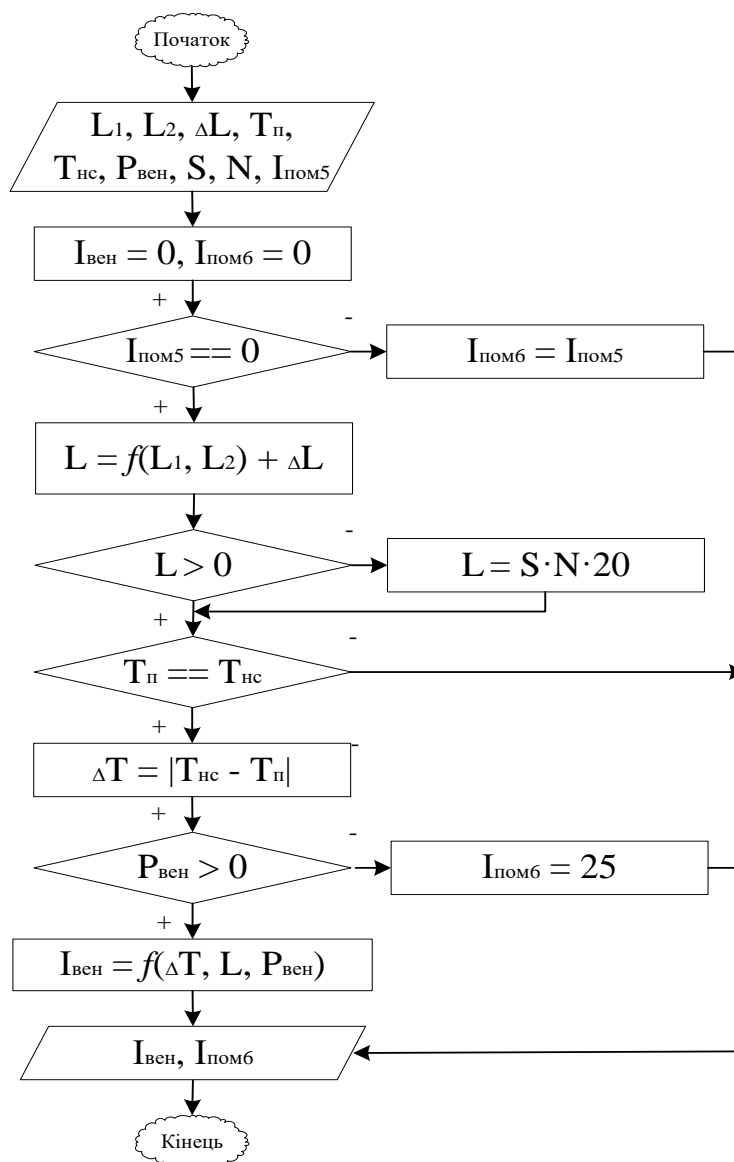


Рисунок 3.13 – Алгоритм формування управляючого сигналу

Таблиця 3.11 - Вхідні та вихідні дані контуру формування сигналу управління

Параметр	Умовне позначення	Одиниці вимірювання	Діапазон вхідних даних
Струм помилки (вихід МК ₉)	I _{пом5}	мкА	1-24
Витрати повітря даною системою управління (вхід МК ₁₁ , МК ₁₂)	L ₁	м ³ /год	1-500
Витрати повітря від системи управління вологістю (вхід МК ₁₁ , МК ₁₂)	L ₂	м ³ /год	1-500

Похибка витрат повітря (вхід МК ₁₁ , МК ₁₂)	ΔL	$m^3/год$	0-10
Температура у приміщенні (вхід МК ₁₁ , МК ₁₂)	$T_{п}$	K	243-303
Температура навколишнього середовища (вхід МК ₁₁ , МК ₁₂)	$T_{нс}$	K	243-303
Потужність вентиляційного обладнання (вихід МК ₁₁ , МК ₁₂)	$P_{всн}$	$Вт$	0-500
Площа приміщення	S	m^2	1-50
Коефіцієнт розміщення	n	$у.о.$	1
Сила струму вентилятора (вихід МК ₁₂)	$I_{всн}$	A	0-3,22
Сила струму (вихід МК ₁₁)	$I_{помб}$	$мкА$	25

Таблиця 3.12 - Опис і кодування помилок при формуванні сигналу управління

Помилка	Вихідні значення	Код сигналу
Помилка обчислень у контурі оцінки/коригування витрат повітря. Припинити роботу контуру	$I_{всн} = 0$ $I_{помб} = 1-24$	000001 - 011000
Систему вентиляції не підключено	$I_{всн} = 0$ $I_{помб} = 25$	011001

У разі відсутності сигналу помилки від МК₁₁ і $I_{всн} = 0$, вентилятор вимикається та переходить у стан очікування.

3.2 Система управління вологістю повітря

Система управління вологістю може впливати лише на можливість появи цвілі та грибів на огороджувальних конструкціях, приміщення. Однак при високій концентрації вказані речовини потрапляють до повітря та згідно з рухом повітряних мас потрапляють до дихальних шляхів людини. В контексті цього, вказану підсистему також можливо віднести до системи управління

якістю повітря. Узагальнена структурна схема управління вологістю повітря із зазначенням змінних управління наведена на рис. 3.10:

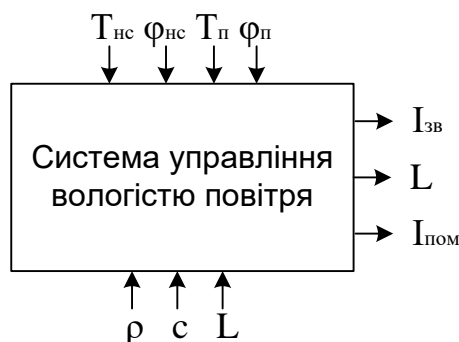


Рисунок 3.14 – Структурна схема управління вологістю

Проведення кількісної оцінки вологості повітря потребує врахування даних мете реологічних пунктів спостереження за довкіллям, відповідних параметрів внутрішнього та оточуючого середовищ, зокрема:

- параметри атмосферного повітря у поточній місцевості (температура повітря, вологість повітря, найгірші показники температури та вологості для даного частини року, тощо);

- параметри повітря у поточному приміщенні (температура, вологість, кількість виділеної вологи, витрати повітря, тощо);

- параметри, склад і розміщення технічних засобів у моніторингу та впливу на екологію приміщення (номінальні струм, напруга, потужність, геометричні та інші ергономічні показники).

Враховуючи це, виконано декомпозицію системи управління вологістю та виділено наступні конури управління (рис. 3.15):

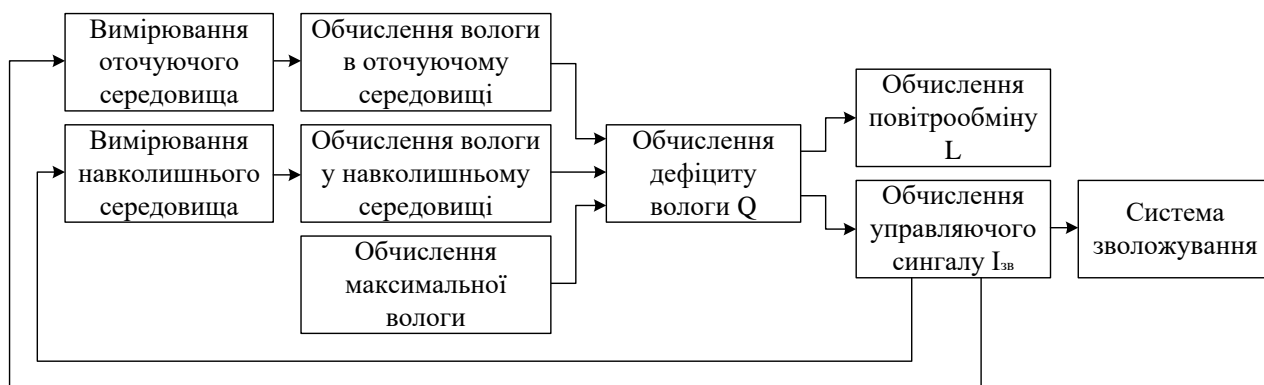


Рисунок 3.15 – Контури системи управління вологістю повітря

3.2.1 Контур визначення вологості приміщення

Відправною точкою для забезпечення контролю за вологістю повітря у приміщенні є вимірювання поточних показників приміщення та навколишнього середовища, зокрема температури, абсолютної вологості та їх статистично максимальних значень для поточної місцевості. Структурна схем, алгоритм роботи контуру, вимоги до вхідних і вихідних даних, система обробка помилок наведені на рис. 3.16, у табл. 3.13 і 3.14

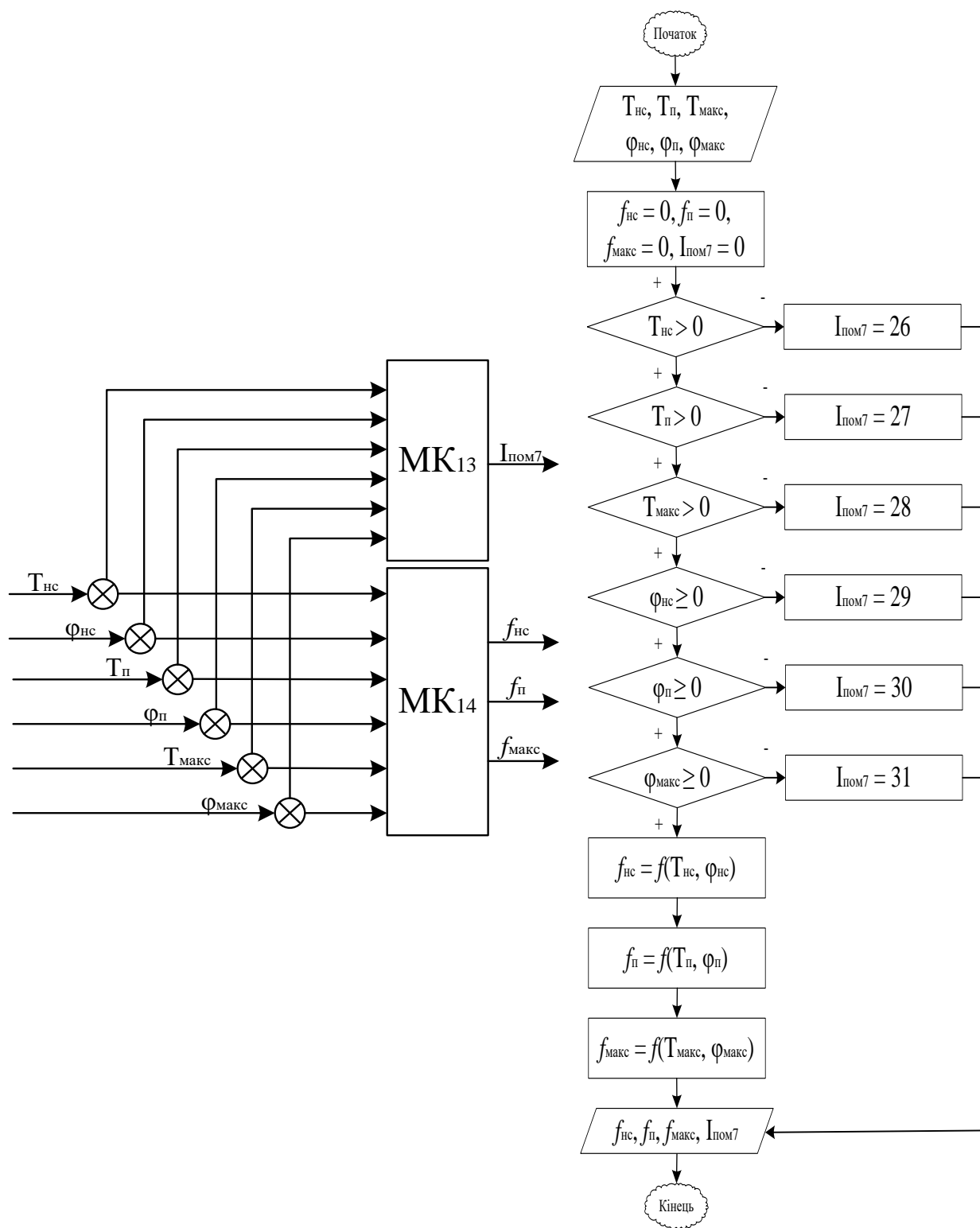
Таблиця 3.13 - Вхідні та вихідні дані контуру вимірювання вологості

Параметр	Умовне позначення	Одиниці вимірювання	Діапазон вхідних даних
Температура навколишнього середовища (вхід МК ₁₃ , МК ₁₄)	T_{nc}	K	243-303
Температура у приміщенні (вхід МК ₁₃ , МК ₁₄)	$T_{п}$	K	243-303
Найгірший показник температури навколишнього середовища (вхід МК ₁₃ , МК ₁₄)	$T_{макс}$	K	243-303
Абсолютна вологість навколишнього середовища (вхід МК ₁₃ , МК ₁₄)	φ_{nc}	$\%$	0-100

Абсолютна вологість приміщення (вхід МК ₁₃ , МК ₁₄)	φ_{Π}	%	0-100
Найгірший показник абсолютної вологості навколишнього середовища (вхід МК ₁₃ , МК ₁₄)	$\varphi_{\text{макс}}$	%	0-100
Кількість вологи у повітрі навколишнього середовища (вихід МК ₁₄)	$f_{\text{нс}}$	г/м ³	0-100
Кількість вологи у повітрі приміщення (вихід МК ₁₄)	f_{Π}	г/м ³	0-100
Найбільша кількість вологи у повітрі навколишнього середовища (вихід МК ₁₄)	$f_{\text{макс}}$	г/м ³	0-100
Сила струму (вихід МК ₁₃)	$I_{\text{пом7}}$	мкА	26-31

Таблиця 3.14 - Опис і кодування помилок при вимірюванні вологості

Помилка	Вихідні значення	Код сигналу
Температуру навколишнього середовища не задано	$f_{\text{нс}} = f_{\Pi} = f_{\text{макс}} = 0$ $I_{\text{пом7}} = 26$	011010
Температуру приміщення не задано	$f_{\text{нс}} = f_{\Pi} = f_{\text{макс}} = 0$ $I_{\text{пом7}} = 27$	011011
Найгірший показник температури навколишнього середовища не задано	$f_{\text{нс}} = f_{\Pi} = f_{\text{макс}} = 0$ $I_{\text{пом7}} = 28$	011100
Абсолютну вологість навколишнього середовища не задано	$f_{\text{нс}} = f_{\Pi} = f_{\text{макс}} = 0$ $I_{\text{пом7}} = 29$	011101
Абсолютну вологість приміщення не задано	$f_{\text{нс}} = f_{\Pi} = f_{\text{макс}} = 0$ $I_{\text{пом7}} = 30$	011110
Найгірший показник абсолютної вологості навколишнього середовища не задано	$f_{\text{нс}} = f_{\Pi} = f_{\text{макс}} = 0$ $I_{\text{пом7}} = 31$	011111



а)

б)

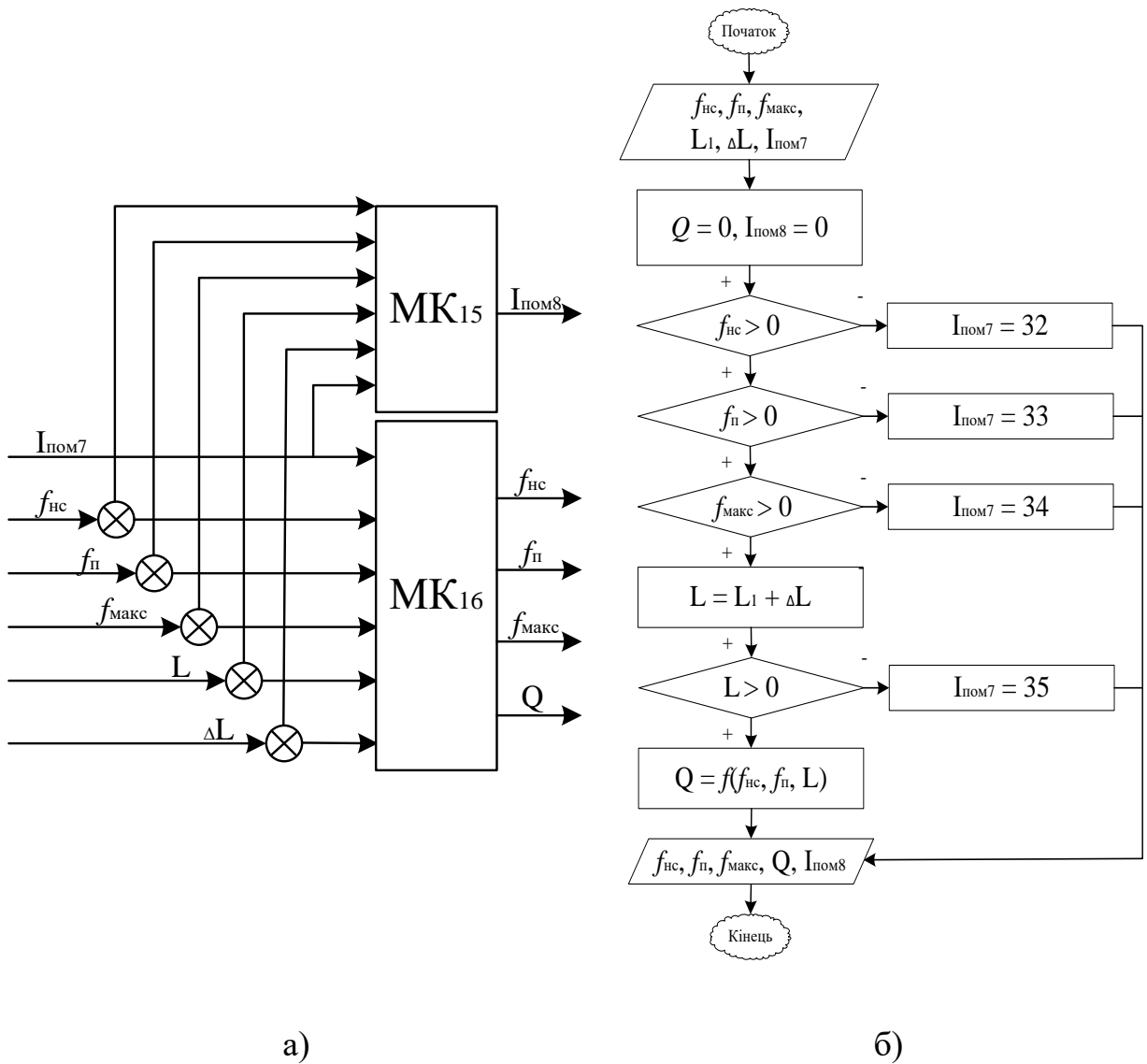
а) структурна схема, б) алгоритм роботи

Рисунок 3.16 – Контур вимірювання вологості

Наявність показників навколишнього та оточуючого середовища є критичним для коректної роботи контуру.

3.2.2 Контур визначення дефіциту вологи у приміщення

Для попередження утворення надмірної вологості у приміщенні необхідно розрахувати її поточну кількість та визначити величину, на яку її потрібно збільшити або зменшити. Для керування цим процесом на рис. 3.17 наведено структурну схему та алгоритм роботи відповідного контуру управління, вимоги до вхідних і вихідних даних, система обробка помилок наведені у табл. 3.15 і 3.16:



а)

б)

а) структурна схема, б) алгоритм роботи

Рисунок 3.17 – Контур вимірювання дефіциту вологи

Таблиця 3.15 - Вхідні та вихідні дані контуру обчислення дефіциту вологи

Параметр	Умовне позначення	Одиниці вимірювання	Діапазон вхідних даних
Кількість вологи у повітрі навколишнього середовища (вхід МК ₁₅ , МК ₁₆)	$f_{\text{нс}}$	г/м ³	0-100
Кількість вологи у повітрі приміщення (вхід МК ₁₅ , МК ₁₆)	$f_{\text{п}}$	г/м ³	0-100
Найбільша кількість вологи у повітрі навколишнього середовища (вхід МК ₁₅ , МК ₁₆)	$f_{\text{макс}}$	г/м ³	0-100
Витрати повітря у приміщенні (вхід МК ₁₅ , МК ₁₆)	L_1	м ³ /год	1-500
Похибка витрати повітря у приміщенні (вхід МК ₁₅ , МК ₁₆)	ΔL	м ³ /год	0-10
Кількість вологи у повітрі навколишнього середовища (вихід МК ₁₆)	$f_{\text{нс}}$	г/м ³	0-100
Кількість вологи у повітрі приміщення (вихід МК ₁₆)	$f_{\text{п}}$	г/м ³	0-100
Найбільша кількість вологи у повітрі навколишнього середовища (вихід МК ₁₆)	$f_{\text{макс}}$	г/м ³	0-100
Дефіцит вологи	Q	кг/год	0-10
Сила струму (вихід МК ₁₅)	$I_{\text{пом8}}$	мкА	32-35

Таблиця 3.16 - Опис і кодування помилок при обчисленні дефіциту вологи

Помилка	Вихідні значення	Код сигналу
Помилка обчислень у контурі визначення вологості повітря. Припинити роботу контуру	$f_{\text{нс}} = f_{\text{п}} = f_{\text{макс}} = Q = 0$ $I_{\text{пом8}} = 26-31$	0011010 - 011111
Кількість вологи у повітрі навколишнього середовища не задано	$f_{\text{нс}} = f_{\text{п}} = f_{\text{макс}} = Q = 0$ $I_{\text{пом8}} = 32$	100000
Кількість вологи у повітрі приміщення не задано	$f_{\text{нс}} = f_{\text{п}} = f_{\text{макс}} = Q = 0$ $I_{\text{пом8}} = 33$	100001
Кількість вологи у повітрі приміщення не задано	$f_{\text{нс}} = f_{\text{п}} = f_{\text{макс}} = Q = 0$ $I_{\text{пом8}} = 34$	100010

Найбільшу кількість вологи у повітрі навколишнього середовища не задано	$f_{нс} = f_{п} = f_{макс} = Q = 0$ $I_{пом8} = 35$	100011
Витрати повітря у приміщенні не задано	$f_{нс} = f_{п} = f_{макс} = Q = 0$ $I_{пом8} = 36$	100100

Наявність показників навколишнього та оточуючого середовища є критичним для коректної роботи контуру.

3.2.3 Контур формування сигналу керування зволожувачем

У деяких випадках, комбінація показників оточуючого середовища, приміщення та статистичних показників призводять до утворення негативного значення показника дефіциту вологи, тобто свідчать про надмірну вологість повітря. У першому випадку для зменшення вологості необхідно використати зволожувач повітря, але у даному випадку необхідну забезпечити необхідний рівень повітрообміну для видалення надлишків вологи. Тому виникає необхідність контролю показника дефіциту вологи. На рис 3.18 на ведемо структурну схему та алгоритм роботи контуру для автоматизованого контролю показника та формування відповідних сигналів впливу на зволожувач та вентилятор.

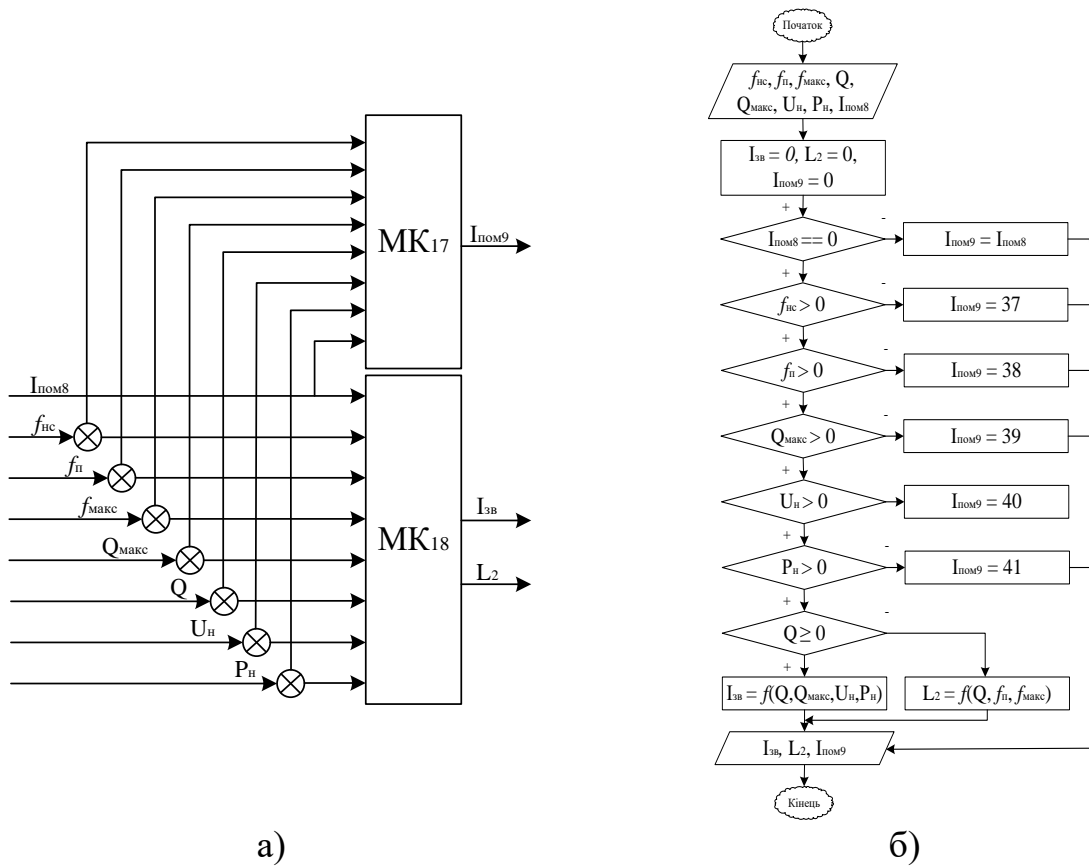


Рисунок 3.17 – Контур формування сигналу управління
зволожувачем/вентилятором

У табл. 3.17 і 3.18 наведено перелік вхідних і вихідних даних, які використовуються для обчислень і обробки помилок:

Таблиця 3.15 - Вхідні та вихідні дані контуру обчислення дефіциту вологості

Параметр	Умове позначення	Одиниці вимірювання	Діапазон вхідних даних
Кількість вологи у повітрі навколишнього середовища (вхід МК ₁₇ , МК ₁₈)	$f_{нс}$	г/м ³	0-100
Кількість вологи у повітрі приміщення (вхід МК ₁₇ , МК ₁₈)	$f_{п}$	г/м ³	0-100

Найбільша кількість вологи у повітрі навколишнього середовища (вхід МК ₁₇ , МК ₁₈)	$f_{\text{макс}}$	$г/м^3$	0-100
---	-------------------	---------	-------

Продовження таблиці 3.15

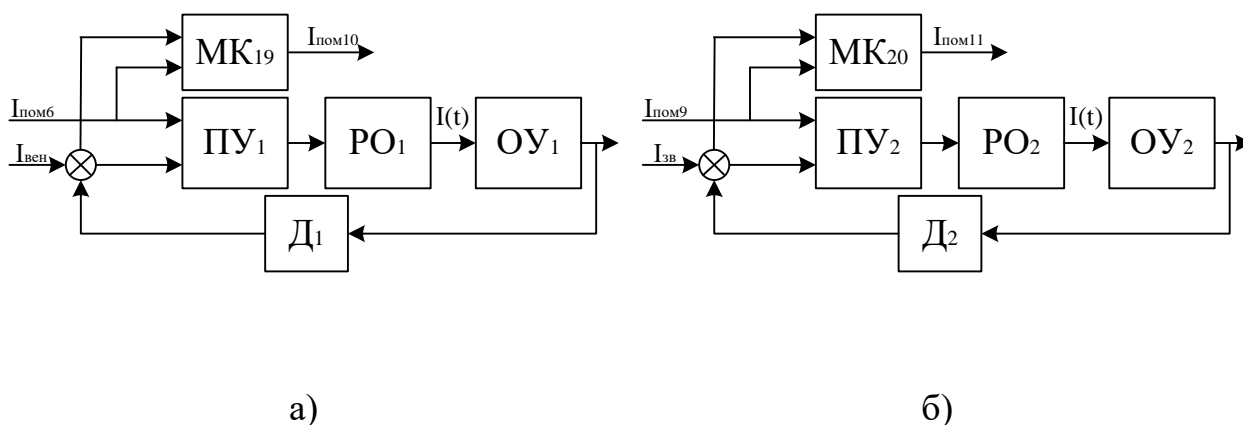
Параметр	Умовне позначення	Одиниці вимірювання	Діапазон вхідних даних
Максимальна кількість вологи, яка може бути створена зволожувачем (вхід МК ₁₇ , МК ₁₈)	$Q_{\text{макс}}$	$мл/год$	30-50
Дифіцит вологи (вхід МК ₁₇ , МК ₁₈)	Q	$кг/год$	0-10
Номінальна напруга зволожувача (вхід МК ₁₇ , МК ₁₈)	$f_{\text{нс}}$	$г/м^3$	0-100
Номінальна потужність зволожувача (вхід МК ₁₇ , МК ₁₈)	$f_{\text{п}}$	$г/м^3$	0-100
Сила струму зволожувача (вихід МК ₁₈)	$I_{\text{зв}}$	A	0-0,2
Витрати повітря для видалення надмірної вологи (вихід МК ₁₈)	L_2	$кг/год$	0-10
Сила струму (вихід МК ₁₇)	$I_{\text{пом9}}$	$мкА$	37-41

Таблиця 3.16 - Опис і кодування помилок при обчисленні дефіциту

Помилка	Вихідні значення	Код сигналу
Помилка обчислень у контурі визначення дефіциту вологи у повітрі. Припинити роботу контуру	$I_{\text{зв}} = L_2 = 0$ $I_{\text{пом9}} = 26-36$	0011010 - 100100
Кількість вологи у повітрі навколишнього середовища не задано	$I_{\text{зв}} = L_2 = 0$ $I_{\text{пом9}} = 37$	100101
Кількість вологи у повітрі приміщення не задано	$I_{\text{зв}} = L_2 = 0$ $I_{\text{пом9}} = 38$	100110
Кількість вологи у повітрі приміщення не задано	$I_{\text{зв}} = L_2 = 0$ $I_{\text{пом9}} = 39$	100111
Найбільшу кількість вологи у повітрі навколишнього середовища не задано	$I_{\text{зв}} = L_2 = 0$ $I_{\text{пом9}} = 40$	101000
Витрати повітря у приміщенні не задано	$I_{\text{зв}} = L_2 = 0$ $I_{\text{пом9}} = 41$	101001

3.3 Контур управління системою вентиляції і зволожувача

У результаті обробки та перетворення вихідних даних про стан повітря, сформовано 4 параметри - $I_{\text{всн}}$ і $I_{\text{зв}}$, $I_{\text{пом6}}$ і $I_{\text{пом9}}$, які використовуються для запуску і зупинки пристроїв вентиляювання та зволоження приміщення. Структурні схеми контурів управління засобами вентиляції і зволоження наведено на рис 3.18.



MK_{19} і MK_{20} – контролери обробки помилок, $ПУ_1$ і $ПУ_2$ – пристрої керування вентилятором і зволожувачем, PO_1 і PO_2 – регулюючі органи вентилятора і зволожувача, OU_1 і OU_2 – вентилятор і зволожувач, $Д_1$ і $Д_2$ – амперметри

Рисунок 3.18 – Контур управління засобами пристроями вентиляції (а) і зволоження (б)

У наведених схемах відсутні описи реальних пристроїв управління та контролю, оскільки їх вибір є індивідуальним для умов кожного приміщення та кліматичної зони.

3.4 Висновки до розділу 3

За результатами проведених розрахунків з використанням математичної основи з розділу 2, у даному розділі отримано наступні результати:

- визначено перелік характеристик оточення керування, якими дозволяє впливати на якість повітря у приміщенні;
- створено прототип системи управління якістю повітря всередині приміщення;
- використано стандартизований коефіцієнти якості повітря для оцінки повітря у приміщенні;
- аналітично перевірено можливість управління якістю повітря у приміщенні з використанням даного прототипу;
- сукупна схема зв'язків між підсистемами управління забрудненням і вологістю повітря наведені на рис. 3.19.



Рисунок 3.19 – Зв'язок підсистем управління забрудненням і вологістю повітря в контексті запропонованої

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ПОВІТРЯ

Під час дослідження вказаного питання встановлено наявність наступних проблем:

- у теперішній час на території України відсутня нормативна база для використання коефіцієнту якості повітря у повному обсязі;

- наявні ГДЗ шкідливих речовин призначені для використання у виробничому середовищі, виключно, та можуть не відповідати нормам міжнародних стандартів з регулюванням якості повітря;

- ведеться значна кількість практичних досліджень стосовно визначення концентрації окремих газів і сполуки, але у межах виробничих потреб;

- публікації за вказаною тематикою не містять прикладів чисельних розрахунків із використанням запропонованих методик.

Вказане ускладнює можливість проведення міжгалузевих досліджень. Тому, з метою продовження та підвищення якості досліджень у напрямі забезпечення моніторингу та управління якістю повітря рекомендовано проведення наступних заходів:

- 1) Привести існуючу нормативну базу щодо охорони атмосферного повітря на території України до належного стану та розширити її у наступних питаннях:

- перегляд існуючих нормативів ГДЗ шкідливих речовин, які викидаються у навколишнє середовище;

- забезпечення можливості використання індексу якості повітря AQI на загальнодержавному рівні;

- уточнити рівні моніторингу якості повітря та включити до них моніторинг окремих приміщень, будівель та їх груп для проведення більш детального аналізу джерел виникнення забруднень;

– розробити вимоги щодо організації моніторингу якості повітря у зачинених приміщеннях (житлових).

2) Розробити перелік забруднюючих речовин, перебування яких можливе у житлових приміщеннях і створює небезпеку для здоров'я людини:

– визначити ГДЗ шкідливих речовин;
– провести дослідження та привести наявні ГДЗ до класифікації, яка наведена у Додатку Б;

– уточнити шкалу оцінки якості повітря для погодинних і добових концентрації забруднення (у контексті індексу AQI).

3) Розробити технічні засоби оцінки концентрації шкідливих речовин, які не підготовлені користувачі матимуть можливість використовувати на постійній основі, у повсякденному житті. Встановити наступні вимоги до вказаних технічних засобів:

– можливість вимірювання концентрації повного переліку шкідливих речовин з використанням єдиного пристрою;

– використання засобів вимірювання кількості шкідливих речовин не повинно вимагати обов'язкової перевірки (уточнення) у лабораторних умовах;

– при розробці засобів контролю приділити увагу тим, в основі яких лежить використання нехімічних методів оцінки;

– забезпечити можливість проведення віддаленого моніторингу з централізованим накопиченням і обробкою даних.

4) Забезпечити контроль за проведенням наукових досліджень щодо розробки методів і пристроїв оцінки концентрації забруднень у повітрі, зокрема вернути увагу на обов'язковість:

– наявності розрахунків, які підтверджують можливість, ефективність та відтворюваність запропонованих методів оцінки забруднень;

– наведення інформації щодо умов проведення експериментальних досліджень для забезпечення відтворюваності умов проведених досліджень, зокрема інформації щодо навколишнього середовища, середовища проведення

досліджень, переліки необхідного програмного і апаратного забезпечення (не порушуючи вимоги щодо захисту інтелектуальної власності дослідників).

5) Створити базу даних з відкритим доступом, яка буде зберігати результати експериментальних досліджень та дозволить:

- отримати доступ для результатів інструментальних вимірювань;
- отримати доступ до умов проведення експериментів, для можливості їх відтворення;
- забезпечення можливості комунікації між дослідниками, які отримують та публікують результати досліджень на постійній основі.

Дослідження даного напрямку є досить актуальним, з огляду на міжнародні стандарти і тенденції. Виконання вищевказаних вимог дозволить продовжити дослідження з більшою якістю та забезпечить можливість міжгалузевого використання отриманих результатів.

ВИСНОВКИ

За результатами проведеного дослідження встановлено можливість і доцільність використання засобів автоматизованого управління для забезпечення контролю якості повітря у житлових приміщеннях. У роботі отримано наступні результати:

- виконано огляд методик, стандартів і засобів вимірювання концентрації забруднення у повітрі;
- визначено актуальність проблеми забруднень і наслідки їх ігнорування;
- виконано огляд математичних засобів оцінки атмосферного повітря;
- адаптовано методику використання оцінки на основі AQI для забезпечення моніторингу забруднень у приміщенні;
- запропоновано модель автоматизованої оцінки повітря;
- розроблено рекомендації для практичного застосування моделі та проведення міжгалузевих досліджень за допомогою неї.

Для подальших досліджень рекомендовано наступні напрями: збір, аналіз і накопичення реальних даних про стан повітря для апробації запропонованої та подібних моделей/систем, оновлення норм щодо якості повітря, створення заходів щодо їх покращення та посилення контролю на законодавчому рівні шляхом проведення практичних експериментів, розробка частин моделі та дослідження/покращення їх роботи, розробка повної моделі управління та дослідження її роботи, створення та дослідження більш детальної математичної моделі представлення моделювання запропонованого рішення.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Класифікація забруднення довкілля. URL: <https://is.gd/wqadg5> (дата звернення: 20.02.2024).
2. Вплив забруднюючих речовин на атмосферне повітря. Система електронного забезпечення навчання ЗНУ. URL: <http://surl.li/rjbdh> (дата звернення: 20.02.2024).
3. Яворович Т. ВООЗ посилила рекомендації щодо якості повітря. Суспільні новини. URL: <http://surl.li/rjbdo> (дата звернення: 20.02.2024).
4. Як забруднене повітря впливає на здоров'я населення. Еко Район. URL: <http://surl.li/rjbdu> (дата звернення: 20.02.2024).
5. Забруднення повітря в приміщенні - Енерго Х. Енерго Х. URL: <http://surl.li/ipsrj> (дата звернення: 20.02.2024).
6. Вплив забрудненого повітря на дихальну систему людини. CleanAirLove. URL: <http://surl.li/rjbef> (дата звернення: 20.02.2024).
7. Шкідлива дія забрудненого атмосферного повітря на людей. Державна установа "Харківський обласний центр контролю та профілактики хвороб Міністерства охорони здоров'я України". URL: <https://labcenter.kh.ua/?p=3815> (дата звернення: 20.02.2024).
8. Караєва Н. В., Варава І. В. Методи і засоби оцінки ризику здоров'ю населення від забруднення атмосферного повітря : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 56 с.
9. Як очистити повітря у приміщенні: 5 ефективних рішень. S&P. URL: <http://surl.li/rjbeh> (дата звернення: 20.02.2024).
10. Кондиціонування. Системи кондиціонування. КЛІМАТ в ДОМІ. URL: <http://surl.li/rjbem> (дата звернення: 20.02.2024).
11. Герметизація вікон. Віконний Кулібін. URL: <http://surl.li/rjbeo> (дата звернення: 20.02.2024).
12. Методи і засоби очищення повітря. Stud. URL: <http://surl.li/rjbem> (дата звернення: 20.02.2024).

13. Головченко. Технічні засоби охорони. Система електронного забезпечення навчання ЗНУ. URL: <http://surl.li/rjcsic> (дата звернення: 20.02.2024).

14. Поліщук Т. В. Визначення атмосферного тиску повітря в тваринницьких приміщеннях. Гігієна тварин. URL: <http://surl.li/rjbeu> (дата звернення: 20.02.2024).

15. Прилади для вимірювання температури. Склоприлад. URL: <http://surl.li/bargt> (дата звернення: 20.02.2024).

16. Гігрометр психрометричний ВІТ-2. *MICROmed*. URL: <http://surl.li/rjbfе> (дата звернення: 20.02.2024).

17. Газові аналізатори: принцип дії та сфера використання. *Simvolt*. URL: <http://surl.li/rjbfі> (дата звернення: 20.02.2024).

18. Пожежний датчик диму: види, особливості та призначення. *ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА УКРАЇНИ*. URL: <http://surl.li/hfgbs> (дата звернення: 20.02.2024).

19. Датчики руху: види та призначення. *OIBS*. URL: <http://surl.li/rjbfu> (дата звернення: 20.02.2024).

20. Озонатор 400 мг/г. *Завод Конвектор*. URL: <http://surl.li/rjbfv> (дата звернення: 20.02.2024).

21. Соловей Д. Для чого потрібен зволожувач повітря. *ALTER AIR*. URL: <http://surl.li/rjbfz> (дата звернення: 20.02.2024).

22. Осушувачі повітря та їх застосування. *Побут*. URL: <http://surl.li/rjbgb> (дата звернення: 20.02.2024).

23. Синій С. В. Робоча програма з дисципліни "Інженерні мережі". *Електронна бібліотека Луцького національного технічного університету*. URL: <http://surl.li/rjbyb> (дата звернення: 20.02.2024).

24. Липчак Д., Павленко В. СИСТЕМА ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ ПОБУТОВИМИ СПОЖИВАЧАМИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ. 2020. *Електрон. архів КНУТД*. URL: <http://surl.li/rjbxс> (дата звернення: 20.02.2024).

25. Посудін Ю. МОНІТОРИНГ ДОВКІЛЛЯ З ОСНОВАМИ МЕТРОЛОГІЇ : підручник. Київ, 2012. 426 с.

26. Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць : Наказ МОЗ України від 14.01.2020 р. № 52 : станом на 8 жовт. 2021 р. URL: <http://surl.li/rjbum> (дата звернення: 08.03.2024).

27. Кошелева О. Які вимоги до викидів забруднювальних речовин в атмосферне повітря? Нормування та рішення для підприємств. *Офіс Сталих Рішень*. URL: <http://surl.li/rjbla> (дата звернення: 20.02.2024).

28. Загрязнение атмосферного воздуха. *World Health Organization (WHO)*. URL: <http://surl.li/orgjr> (дата звернення: 20.02.2024).

29. Шаповалов Є., Салавор О., Якименко І. Порівняльний аналіз законодавства ЄС та України в галузі охорони атмосферного повітря. *Екологічні науки*. 2017. Т. 1-2, № 16-17. С. 192–197.

30. Моніторинг атмосферного повітря. *Хмельницький національний університет*. URL: <http://surl.li/rjbku> (дата звернення: 20.02.2024).

31. Про охорону атмосферного повітря : Закон України від 16.10.1992 р. № 2707-XII : станом на 1 жовт. 2023 р. URL: <http://surl.li/dknzf> (дата звернення: 08.03.2024).

32. Заходи охорони атмосфери від забруднення. *Мій Клас*. URL: <http://surl.li/rjbko> (дата звернення: 20.02.2024).

33. Борисенко А. Проблематика громадського здоров'я. *Державна установа «Вінницький обласний центр контролю та профілактики хвороб МОЗ України»*. URL: <http://surl.li/uzoa> (дата звернення: 20.02.2024).

34. ДБН В.2.2-40:2018. Будинки і споруди. Інклюзивність будівель і споруд. На заміну ДБН В.2.2-17:2006 ; чинний від 2019-04-01. Вид. офіц. Київ : Держ. підприємство "Укрархбудінформ", 2018. 99 с.

35. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. На заміну СНиП 2.04.05-91* ; чинний від 2014-01-01. Вид. офіц. Київ : Держ. підприємство "Укрархбудінформ", 2013. 141 с.

36. Розрахунок вентиляції з механічним спонуканням (розрахунок примусової вентиляції). *КЛІМАТ в ДОМІ*. URL: <http://surl.li/rjjhm> (дата звернення: 20.02.2024).

37. Визначення необхідного повітрообміну приміщень. Рекомендації до проектування. *Vents Україна*. URL: <http://surl.li/rjjht> (дата звернення: 20.02.2024).

38. Безпека праці та промислова санітарія: курс охорони праці для студентів інженерно-економічного напрямку підготовки: курс лекцій / К. Ткачук та ін. Чернігів : ЧДТУ, 2010. 368 с.

39. Рекуператор PRANA 150 M2023. *Prana*. URL: <http://surl.li/rjjhv> (дата звернення: 20.02.2024).

40. Осадчук В., Осадчук О., Дудник Д. Методи вимірювання концентрації газів. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2011. № 6. С. 55–58.

41. Мельник О. Система аналізу газів : Магістерська дисертація. Київ, 2019. 103 с.

42. Основні величини, що характеризують світлопоглинання. Закон Бугера – Ламберта – Бера. *Система електронного забезпечення навчання ЗНУ*. URL: <http://surl.li/rjkoh> (дата звернення: 20.02.2024).

43. Яремчук В., Кравчук Н., Смішний С. Волоконно-оптичний газоаналізатор. *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*. 2010. № 2. С. 231–234.

44. Кабаций В. Оптические сенсоры газов на основе полупроводниковых источников ИК-излучения. *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*. 2008. № 4. С. 30–35.

45. Штифорок Є. В. Інструментально-методичне забезпечення контролю викидів котелень : Магістерська дисертація. Київ, 2018. 103 с.

46. Что такое влажность? *Prana Air*. URL: <http://surl.li/rjkbd> (дата звернення: 20.02.2024).

47. Расчет производительности увлажнения. *Japan Systems*.
URL: <http://surl.li/rjjzc> (дата звернення: 20.02.2024).
48. Влажность воздуха. Методы измерения влажности воздуха. *Побут*.
URL: <http://surl.li/rjkgb> (дата звернення: 20.02.2024).
49. Закон Шарля. *Википедия*. URL: <http://surl.li/rjlml> (дата звернення: 20.02.2024).
50. ISO 2533:1975. Standard Atmosphere. Effective from 1978-12-15. Official edition. 1978. 15 p. URL: <http://surl.li/rjkbi> (date of access: 20.02.2024).
51. Волков В. О. Контроль перепаду тиску в чистих приміщеннях. *МПК Інжиниринг*. URL: <http://surl.li/rjkjq> (дата звернення: 20.02.2024).
52. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Чинний від 1999-09-01. Вид. офіц. Київ, 1999. 10 с.
53. Семенко Д., Стаценко О. Энергозбереження засобами автоматизованих вентиляційних систем. *Погляд у майбутнє приладобудування* : XIII Всеукр. науково-практ. конф. студентів, аспірантів та молодих вчен., м. Київ, 13 трав. 2020 р. Київ, 2020. С. 389–392
54. Гальченко А., Баріщенко О. Автоматизація управління станом повітря у приміщенні. *Молода наука – 2023* : XVI Унів. науково-практ. конф. студентів, аспірантів, докторантів і молодих уч., м. Запоріжжя, 17–22 квіт. 2023 р. Запоріжжя, 2023. С. 274–276.