МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Таврійський національний університет
імені В.І. Вернадського
Навчально-науковий інститут муніципального управління
та міського господарства
Кафедра інженерних систем та технологій

На правах рукопису

Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНА СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ В ОФІСНИХ ЦЕНТРАХ

Здобувача вищої освіти
Руссу Яни Вікторівни
Освітня програма
«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
(Спеціальність
174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»)

_____
(підпис)

Науковий керівник:
д.т.н., професор Сєлюков О.В.

_____
(підпис)

Національна шкала_____
Кількість балів_____
Оцінка: ECTS

Київ – 2026

Таврійський національний університет імені В. І. Вернадського
Навчально-науковий інститут муніципального управління
та міського господарства
Кафедра Інженерних систем та технологій
Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр
Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Завідувач кафедри
_____Наталія ОМЕЦИНСЬКА
«____» _____2025_року

ЗАВДАННЯ
НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Руссу Яни Вікторівни

1. Тема роботи: Енергоефективна система автоматичного регулювання параметрів мікроклімату в офісних центрах_____

керівник роботи: _д.т.н., професор Сєлюков О.В._____

затверджені Наказом ТНУ імені В.І Вернадського:
від «7 » листопада 2025 № 138/1-ОД

2. Строк подання студентом роботи: 25.05.2026_____

3. Вихідні дані до роботи: принципи класичної теорії автоматичного керування із використанням замкнутих контурів зі зворотним зв'язком; температура повітря в межах від +21 °C до +25 °C , відносна вологість 40–60% та швидкість руху повітря не більше 0,1 м/с.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки: Обґрунтувати архітектуру та розробити структурну схему автоматизованої системи керування якістю повітря із замкнутим контуром; Провести порівняльний аналіз та здійснити вибір сучасної апаратної бази, зокрема прецизійних датчиків температури, вологості, пилу та газів; Розробити детальну функціональну схему автоматизації та логічні алгоритми роботи системи для підтримки оптимальних параметрів мікроклімату; Визначити оптимальні умови праці та розрахувати параметри освітленості робочого місця програміста згідно з нормами охорони праці.

5. Перелік графічного матеріалу: графічна робота виконана у вигляді мультимедійної презентації_____

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	професор Олександр СЄЛЮКОВ		
Розділ 2	професор Олександр СЄЛЮКОВ		
Розділ 3	професор Олександр СЄЛЮКОВ		
Розділ 4	професор Олександр СЄЛЮКОВ		

7. Дата видачі завдання _____ 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	*Назва етапів бакалаврської роботи*		*Термін виконання етапів роботи*	*Заключний документ етапу*
1	Вибір теми бакалаврської роботи, призначення керівника		до 31.10.2025	Затвердження переліку тем бакалаврських робіт
2	Пошук і відбір літератури по темі роботи, складання плану бакалаврської роботи		до 14.12.2025	Список літературних джерел, план роботи
3	Визначення об’єкта, предмета, мети, завдань та методів дослідження, написання вступу до теми бакалаврського дослідження		до 25.01.2026	Текст вступу
4	Написання тексту бакалаврської роботи відповідно до її структури:		26.01.2026-17.05.2026	Текст розділів
	4.1	І розділ	26.01.2026-6.03.2026	Текст розділу
	4.2	ІІ розділ	9.03.2026-27.03.2026	Текст розділу
	4.3	ІІІ розділ	30.03.2026-17.04.2026	Текст розділу
	4.4	IV розділ	20.04.2026-8.05.2026	
5	Підготовка графічних матеріалів чи іншого унаочнення		11.05.2026-15.05.2026	Роздатковий матеріал, презентація
6	Оформлення кінцевого списку використаних джерел та додатків		11.05.2026-15.05.2026	Список літературних джерел
7	Оформлення та попередній захист бакалаврської роботи		18.05.2026-22.05.2026	Бакалаврська робота, рішення кафедри про допуск до захисту
8	Внесення коректив та кінцеве редагування бакалаврської роботи		25.05.2026-29.05.2026	Бакалаврська робота
9	Реєстрація бакалаврської роботи на кафедрі		1.06.2026-5.06.2026	Бакалаврська робота внесена до журналу реєстрації випускових робіт
10	Захист бакалаврської роботи		10.06.2026-28.06.2026	Рішення Екзаменаційної комісії про захист

ЗМІСТ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ……07
ВСТУП……..09
РОЗДІЛ 1. БАЗОВІ СТАНДАРТИ ЯКОСТІ ПОВІТРЯНОГО СЕРЕДОВИЩА В ОФІСАХ: АНАЛІЗ НЕГАТИВНИХ ВПЛИВІВ ТА КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ……..12
1.1 Класифікація офісного простору та проблематика дотримання санітарно-гігієнічних норм ……..12
1.2. Аналіз спектра негативних факторів, що спричиняють деградацію якості повітряного середовища ……16
1.3. Іонізація повітряного простору: природні та штучні процеси, їхній вплив на самопочуття та ефективність праці людей ……...17
1.4. Формування електромагнітного середовища в офісних просторах із високою щільністю електронного обладнання ……20
1.5. Фундаментальні принципи та сучасні системи моніторингу і керування якістю повітряного середовища в приміщеннях ……...…..23
1.6. Аналітичний огляд існуючих концепцій та технічних рішень у сфері автоматизованого контролю повітряного середовища ……...25
Висновки до розділу 1 ……31
РОЗДІЛ 2. СТРУКТУРНА ОРГАНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ……...33
2.1. Опис структурної схеми автоматизації керування якістю повітря в офісному приміщенні ……33
2.2. Поширені аналітичні методи визначення речовинного складу повітряного середовища ……..37
2.3. Аналітичні та технічні методи кількісного визначення пилового забруднення повітряного простору ……...40
2.4. Аналітичні та апаратні методи вимірювання параметру вологості повітряного середовища ……42
2.5. Аналітичні та технічні методи вимірювання температурних параметрів середовища ……..45
Висновки до розділу 2 ……47
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ ТА АЛГОРИТМУ РОБОТИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ МІКРОКЛІМАТУ…..50
3.1. Розробка алгоритму роботи автоматизованої системи керування якістю повітря в офісному приміщенні ……...…….50
3.2. Детальний опис та принципи організації функціональної схеми розробленої системи ……...57
3.3. Аналітичний огляд та обґрунтування вибору апаратних засобів вимірювання мікрокліматичних параметрів ……60
Висновки до розділу 3 ……74
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ……76
4.1. Опис робочого місця програміста ……..77
4.2. Організація системи освітлення робочої зони програміста ……80
4.3. Безпека в надзвичайних ситуаціях ……82
Висновки до розділу 4 ……86
ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК……87
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ……...89

АНОТАЦІЯ

Руссу Я. В. Енергоефективна система автоматичного регулювання параметрів мікроклімату в офісних центрах. – Рукопис.

Кваліфікаційна бакалаврська робота за спеціальністю 174 "Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка". – Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського, Київ, 2026 рік.

У бакалаврській кваліфікаційній роботі розв'язано науково-практичне завдання з проєктування та розробки сучасної автоматизованої системи керування якістю повітряного середовища в офісних приміщеннях. Досліджено вплив негативних факторів на мікроклімат, проаналізовано методи вимірювання фізико-хімічних параметрів повітря та обґрунтовано вибір високонадійної елементної бази. Запропоновано структурну модель системи із замкнутим контуром, розроблено функціональну схему автоматизації та логічні алгоритми для безперервного моніторингу й стабілізації температури, вологості, концентрації CO_2 та рівня запиленості. Аналізовано аспекти охорони праці та ергономіки робочого простору. Практичне значення полягає у можливості впровадження системи для зниження енерговитрат будівлі та створення безпечного і комфортного середовища для персоналу.

Об’єкт дослідження – динамічний процес регулювання та підтримання оптимальних параметрів якості повітря в офісному середовищі з урахуванням санітарних регламентів.

Предмет дослідження – методи, алгоритми та апаратно-програмний комплекс автоматизованої системи керування показниками якості повітря в офісних приміщеннях.

Мета роботи – комплексне проєктування та розробка надійної енергоефективної автоматизованої системи для моніторингу й нормалізації мікроклімату офісного простору згідно з діючими нормами.

Методи дослідження – системний аналіз, математичне та логічне моделювання процесів керування, порівняльний аналіз технічних характеристик сенсорного обладнання.

Ключові слова: якість повітря, автоматизована система керування, мікроклімат, енергоефективність, офісне приміщення, моніторинг параметрів, виконавчі механізми, іонізація.

ABSTRACT

Russu Ya. V. Energy-efficient system for automatic regulation of microclimate parameters in office centers. – Manuscript.

Qualification bachelor's thesis in specialty 174 "Automation, computer-integrated technologies and robotics". – Tavrichesky National University named after V.I. Vernadsky, Kyiv, 2026.

In the bachelor's qualification work, the scientific and practical task of designing and developing a modern automated air quality management system in office premises was solved. The impact of negative factors on the microclimate was studied, methods for measuring physicochemical parameters of air were analyzed, and the choice of a highly reliable element base was justified. A structural model of a closed-loop system was proposed, a functional automation scheme and logical algorithms for continuous monitoring and stabilization of temperature, humidity, CO2 concentration, and dust level were developed. Aspects of labor protection and ergonomics of the workspace are analyzed. The practical significance lies in the possibility of implementing a system to reduce the energy consumption of the building and create a safe and comfortable environment for personnel.

The object of the study is the dynamic process of regulating and maintaining optimal air quality parameters in the office environment, taking into account sanitary regulations.

The subject of the research is methods, algorithms and hardware and software complex of an automated system for controlling air quality indicators in office premises.

The purpose of the work is the comprehensive design and development of a reliable energy-efficient automated system for monitoring and normalizing the microclimate of office space in accordance with current standards.

Research methods – system analysis, mathematical and logical modeling of control processes, comparative analysis of technical characteristics of sensor equipment.

Keywords: air quality, automated control system, microclimate, energy efficiency, office space, parameter monitoring, actuators, ionization.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

КПО - коефіцієнт природної освітленості;

ПК - персональний комп’ютер;

Лк - люкс, одиниця вимірювання освітленості;

дБА - децибел, одиниця вимірювання гучності;

ЕМП - електромагнітне поле;

ВС - вимірювальна система;

ЗВ - засіб вимірювання;

МПТШ - міжнародна практична температурна шкала;

ТТ - термометричне тіло;

n_p - масова концентрація пилу;

ВООЗ - всесвітня організація охорони здоров’я;

PM - рівень концентрації твердих частинок;

ppm - частинок/мільйон, одиниця вимірювання концентрації;

Вт - ват, одиниця вимірювання потужності;

В - вольт, одиниця вимірювання напруги;

А - ампер, одиниця вимірювання струму;

мкм - мікрометр, одиниця вимірювання довжини;

ВСТУП

Сучасні умови праці вимагають створення максимально сприятливого мікроклімату на робочих місцях, що зумовлює високу актуальність обраної теми. Забезпечення належної якості повітряного середовища в офісних приміщеннях виступає одним із фундаментальних аспектів формування комфортних умов для персоналу. Цей фактор має безпосередній та глибокий вплив на рівень продуктивності співробітників, їхню здатність до концентрації, а також загальний стан здоров'я та самопочуття. З огляду на це, науково-практичні розробки та інноваційні рішення у сфері автоматизації процесів моніторингу й керування якістю повітря в закритих робочих просторах, зокрема в сучасних офісах, набувають надзвичайної важливості та своєчасності в умовах сьогодення.

Перед інженерами та фахівцями з автоматизації постає комплексне технічне завдання, яке полягає в проєктуванні та практичній реалізації високоефективної автоматизованої системи. Така система повинна функціонувати на базі чітко визначених математичних та логічних алгоритмів, що дозволить їй здійснювати безперервний вимірювальний моніторинг ключових параметрів мікроклімату в режимі реального часу. Аналізуючи поточні показники, які характеризують стан повітряного середовища, та порівнюючи їх із заданими еталонними значеннями, система має автоматично ініціювати відповідні керуючі впливи на виконавчі механізми для нормалізації ситуації.

Слід підкреслити, що впровадження автоматизованих комплексів керування мікрокліматом має виняткову значущість не лише з позиції покращення санітарно-гігієнічних умов праці. Окрім безпосереднього позитивного впливу на ергономіку робочого простору, такі технологічні рішення виконують ще одну надважливу функцію — вони гарантують підтримання раціонального та оптимізованого режиму споживання енергетичних ресурсів, що паралельно сприяє загальному підвищенню експлуатаційної ефективності будівлі.

Інтеграція автоматизованих систем контролю параметрів повітря дозволяє ефективно подолати цілий ряд рутинних експлуатаційних проблем. Одним із найвразливіших місць традиційного підходу є залежність процесу регулювання від

людського фактора. Працівники часто забувають про необхідність своєчасного провітрювання чи налаштування вентиляції, а постійне відволікання на ці дії знижує ефективність виконання їхніх безпосередніх професійних обов'язків. Більше того, ручне коригування параметрів мікроклімату часто є запізнілим, неточним і не здатним гарантувати стабільно високий рівень якості повітря. Отже, перехід до повністю автоматизованого керування дозволяє радикально усунути ці недоліки та мінімізувати вплив суб'єктивних чинників.

Головною метою даної роботи є комплексне проєктування та розробка сучасної, надійної автоматизованої системи керування показниками якості повітря в умовах офісного приміщення. При цьому ключовим критерієм успішності розробки є суворе дотримання діючих санітарно-гігієнічних вимог, норм та стандартів.

Для успішного досягнення сформульованої мети було поставлено та послідовно вирішено низку взаємопов'язаних науково-практичних завдань. Насамперед виникла потреба класифікувати існуючі різновиди офісних приміщень, виділити їхні архітектурні та експлуатаційні особливості, а також чітко регламентувати нормативні вимоги до стану повітряного середовища в них. Разом з тим було детально досліджено спектр негативних факторів, які провокують погіршення якості повітря в робочому просторі, та проаналізовано дієві методи їхньої нейтралізації або мінімізації. Наступним кроком стало ґрунтовне вивчення передових принципів побудови та функціонування сучасних систем автоматизованого моніторингу мікроклімату. Спираючись на ці дані, було розроблено загальну структурну схему запропонованого комплексу автоматизованого керування, яка відображає взаємозв'язок основних апаратних вузлів. Після цього здійснено проєктування детальної функціональної схеми автоматизації, яка описує логіку керування якістю повітря в офісі. Окремим важливим етапом стала розробка спеціалізованого алгоритмічного та програмного забезпечення для безперебійного функціонування спроєктованої системи. На завершальному етапі дослідження було підготовлено та обґрунтовано концепцію стартап-проєкту, присвяченого комерціалізації розробленої системи моніторингу та нормалізації мікроклімату в офісних приміщеннях.

Об'єктом даного дослідження виступає безпосередньо сам динамічний процес регулювання та підтримання оптимальних параметрів якості повітря в офісному середовищі, який здійснюється з обов'язковим урахуванням актуальних санітарних регламентів та правил.

Предметом дослідження є розроблений апаратно-програмний комплекс — автоматизована система керування показниками якості повітря, адаптована для застосування в умовах сучасних офісних приміщень.

РОЗДІЛ 1 БАЗОВІ СТАНДАРТИ ЯКОСТІ ПОВІТРЯНОГО СЕРЕДОВИЩА В ОФІСАХ: АНАЛІЗ НЕГАТИВНИХ ВПЛИВІВ ТА КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ

1.1. Класифікація офісного простору та проблематика дотримання санітарно-гігієнічних норм

Сучасний офіс являє собою спеціалізований простір, цілеспрямовано облаштований для ефективної організації трудової діяльності персоналу. Таке приміщення традиційно комплектується необхідними ергономічними меблями, зокрема робочими столами, кріслами, системами для архівації та зберігання документації, а також відповідною організаційною і комп'ютерною технікою. З точки зору розташування, офісні зони можуть проєктуватися як невіддільна частина спеціалізованих комерційних будівель, так і розміщуватися в адаптованих орендованих площах різного цільового призначення.

У сучасній практиці нерухомості прийнято класифікувати офісні приміщення за кількома категоріями, що визначають їхній статус, комфорт та рівень інфраструктурного забезпечення. Найвищим стандартом вважається клас «А». До нього належать новозбудовані архітектурні комплекси, зведені із застосуванням передових будівельних технологій, інноваційних матеріалів та високотехнологічного устаткування. Такі будівлі від самого початку проєктуються саме як бізнес-центри відкритого планування. Вони характеризуються преміальним розташуванням (переважно в центральних ділових районах міста), чудовою транспортною доступністю та наявністю містких підземних паркувальних зон [1].

Наступну сходинку займають офіси класу «В». Візуально вони можуть майже не поступатися об'єктам вищої категорії, проте зазвичай не відповідають усім суворим критеріям преміум-сегмента. Здебільшого це новозбудовані або професійно реконструйовані адміністративні споруди, які локалізуються поза межами історичного чи ділового центру, але в районах зі зручною логістикою. Внутрішнє оздоблення та інженерне оснащення тут можуть бути дещо простішими, хоча загальний рівень комфорту та базові характеристики залишаються наближеним до стандартів вищого класу [1].

До класу «С» традиційно відносять будівлі, що пройшли етап будівництва або реставрації, але знаходяться здебільшого у віддалених районах або на околицях. Для таких приміщень характерний середній або навіть дещо нижчий за середній рівень візуального оздоблення. Переважно вони мають класичну кабінетну систему планування або ж конструктивні перешкоди (несучі стіни), що ускладнюють створення вільного відкритого простору. Як наслідок, це суттєво знижує ефективність використання орендованої площі. Паркувальні зони біля таких об'єктів є надто малими або взагалі відсутніми. Інженерні комунікації представлені лише базовими системами опалення та найпростішим кондиціонуванням, при цьому вентиляція найчастіше залишається природною. Рівень систем безпеки є мінімальним, а послуги професійного управління інфраструктурою будівлі зазвичай не надаються. До цієї ж категорії часто зараховують придатні для роботи площі в колишніх інститутських, адміністративних або промислових спорудах [1].

Дотримання встановлених санітарних норм та регламентів, особливо в контексті якості повітряного середовища в офісі, виступає фундаментальною базою комплексної системи охорони праці та безпеки життєдіяльності. Ці вимоги спрямовані виключно на гарантування безпеки, збереження здоров'я та створення максимально комфортних умов для роботи персоналу. Відомо, що на самопочуття людини в закритому просторі може впливати значний спектр шкідливих та небезпечних чинників, специфіка яких варіюється залежно від типу об'єкта. Оскільки повністю ліквідувати ці негативні впливи технологічно та фізично майже неможливо, виникає гостра необхідність у їх жорсткому контролі та зведенні до мінімально допустимих меж, чітко прописаних у законодавчій базі. Відповідні санітарні норми регламентують вичерпний перелік потенційно небезпечних факторів та їхню гранично допустиму концентрацію для кожного приміщення. Ці показники суттєво різняться залежно від специфіки робочого простору, а також кількості та потужності інтегрованого інженерного обладнання і комп'ютерної техніки.

Згідно з чинними нормативними документами, до умов праці в офісах висувається ціла низка суворих санітарно-гігієнічних вимог [2]. Насамперед вони стосуються організації самого робочого простору: на одне робоче місце має

виділятися не менше 6,0 квадратних метрів площі. При цьому стіл необхідно розташовувати на відстані мінімум 1,0 метр від стіни з вікном та не ближче ніж 1,4 метра від глухої стіни. Суворо регламентується і дистанція між технікою: відстань між бічними поверхнями сусідніх комп'ютерів має становити не менше 1,2 метра, а між тильною панеллю одного монітора та екраном іншого — щонайменше 2,5 метра. Крім того, категорично забороняється розміщувати офіси у підвальних або цокольних поверхах будівель.

Окрема увага приділяється матеріалам та інтер'єру. В оздобленні заборонено застосовувати полімерні сполуки, здатні виділяти в повітря шкідливі хімічні речовини. Підлогове покриття має бути виключно матовим, з рівною поверхнею, що не ковзає, та обов'язково володіти антистатичними властивостями. Для підтримки належного санітарного стану в приміщеннях з комп'ютерною технікою вимагається регулярне проведення щоденного вологого прибирання. Також нормується колірна гармонія інтер'єру, яка має сприяти загальному психологічному комфорту працівників. Ергономіка робочих меблів, зокрема столів та крісел, повинна гарантувати підтримку фізіологічно правильної робочої пози протягом усього дня.

Одним із найкритичніших аспектів є створення оптимального мікроклімату, що забезпечується обов'язковою наявністю систем опалення, кондиціонування або ефективної припливно-витяжної вентиляції. Робоча зона вимагає підтримання стабільного температурного режиму в діапазоні від 22 до 25°C, відносної вологості повітря на рівні 40–60%, при цьому швидкість руху повітряних потоків не повинна перевищувати 0,1 м/с. У разі недотримання вказаних параметрів мікроклімату, тривалість робочого дня персоналу повинна бути обов'язково скорочена щонайменше на 10% [2].

Вагому роль відіграють показники освітленості та акустичного навантаження. Коефіцієнт природного освітлення (КПО) має підтримуватися на рівні не нижче 1,5%, а для ефективного регулювання світлового потоку вікна слід обладнувати жалюзі. Робочі місця орієнтують таким чином, щоб унеможливити потрапляння прямих сонячних променів в очі працівникам. Штучне освітлення проєктується як система загального та рівномірного розподілу світла, причому використання

світильників без спеціальних розсіювачів або екранувальних сіток суворо забороняється. Безпосередньо в зоні роботи з документами рівень освітленості має становити від 300 до 500 люкс [2]. Щодо шумового забруднення, еквівалентні рівні звуку також чітко лімітуються: для програмістів цей показник не повинен перевищувати 50 дБА, тоді як для операторів у залах обробки інформації та комп'ютерного набору допускається рівень до 65 дБА [2]. Окрім цього, жорстко контролюються рівні неіонізуючих електромагнітних випромінювань, електростатичних та магнітних полів, а також інтенсивність інфрачервоного та ультрафіолетового випромінювань, які встановлюються відповідно до державних стандартів ДСанПіН 3.3.2.007-98 та ДСанПіН 3.3.6.096-2002 [2].

Передбачається, що в межах даної кваліфікаційної роботи головний дослідницький акцент буде зроблено безпосередньо на питаннях автоматизованого контролю якості повітря в офісному середовищі. Такий підхід є глибоко обґрунтованим, оскільки неухильне дотримання цих специфічних норм має прямий та вирішальний вплив на зниження ризику професійних захворювань, підвищення загальної працездатності та покращення самопочуття персоналу. Відповідно, науковий пошук та розробка нових інженерних рішень у сфері автоматизації процесів контролю мікрокліматичних параметрів є вкрай важливим та своєчасним завданням.

З огляду на це, при проєктуванні систем керування необхідно враховувати цілий комплекс вхідних даних: просторове розташування та загальну кількість комп'ютерної техніки, архітектурний тип самого приміщення, наявність та конфігурацію існуючих систем вентиляції й опалення, а також рівні різноманітних випромінювань. Крім того, слід брати до уваги застосовувані методи та засоби боротьби зі шкідливими чинниками. Базуючись на ґрунтовному аналізі цих показників, стає можливою розробка інтелектуальних автоматизованих систем. Такі комплекси будуть здатні не лише безперервно моніторити параметри температури, вологості та концентрації різного роду випарів, але й проактивно впливати на усунення наднормових значень шляхом автоматичного керування роботою систем кондиціонування, витяжки та вентиляції.

1.2 Аналіз спектра негативних факторів, що спричиняють деградацію якості повітряного середовища

Донедавна головний вектор уваги інженерів-проєктувальників та фахівців санітарно-епідеміологічного контролю був зосереджений переважно на забезпеченні базових температурних показників та організації примітивної природної вентиляції у виробничих і робочих зонах. Проте стрімкий розвиток інженерних систем докорінно змінив цей підхід. На сьогоднішній день, завдяки впровадженню інноваційних та багатофункціональних вентиляційних комплексів, з'явилася технічна можливість не лише безперервно підтримувати задані параметри мікроклімату на оптимальному рівні, але й паралельно здійснювати глибоке комплексне очищення повітряних мас від різноманітних шкідливих домішок, які мають здатність акумулюватися в закритому просторі [3].

Для глибокого розуміння проблематики варто детально проаналізувати ключові негативні чинники, які виступають першопричинами деградації якості повітря. Однією з найголовніших проблем є недостатня або неефективна робота систем повітрообміну. Такий недолік неминуче призводить до критичного накопичення в замкненому приміщенні надмірної вологи, вуглекислого газу та цілого спектра інших небезпечних хімічних сполук, серед яких особливу загрозу становлять діоксид вуглецю (CO_2), сірководень (H_2S), діоксид азоту (NO_2) та аміак (NH_3) [3]. Ситуація часто ускладнюється загальним забрудненням повітряного басейну офісу внаслідок хімічної емісії. Джерелами таких токсичних випарів нерідко стають неякісні полімерні матеріали офісних меблів при їх нагріванні прямими сонячними променями, а також різноманітні засоби побутової та офісної хімії. Окремо слід виділити біологічне та механічне забруднення, що проявляється у високій концентрації алергенів різного походження, зокрема побутового пилу, патогенних бактерій, спор цвілевих грибків та інших мікроорганізмів.

Не менш критичним фактором впливу є відхилення температурно-вологісного режиму від жорстких нормативних значень. Занижені або, навпаки, надмірно завищені показники температури та відносної вологості відносяться до категорії першочергових об'єктів контролю. Це пояснюється тим, що саме ці фізичні величини не лише безпосередньо формують базове відчуття комфорту на робочому

місці, але й виступають каталізаторами супутніх негативних процесів. Наприклад, порушення гідротермічного балансу здатне суттєво інтенсифікувати виділення токсичних парів з будівельних матеріалів та створити ідеальне поживне середовище для стрімкого розмноження патогенної мікрофлори.

Крім того, специфіка сучасного офісного простору нерозривно пов'язана зі щільним скупченням різноманітної обчислювальної, комунікаційної та організаційної техніки, яка неминуче генерує потужні електромагнітні поля. Тривале перебування персоналу в зонах активного впливу такого електромагнітного випромінювання чинить прихований, але стабільно негативний вплив на загальний фізіологічний стан організму. Цей процес також тісно корелює із явищем порушення аеройонного режиму: внаслідок безперервної роботи великого масиву електронної апаратури в приміщенні часто спостерігається недостатня або, навпаки, понаднормова штучна іонізація повітряного простору.

Систематичне ігнорування та недотримання встановлених регламентів і вимог щодо підтримки належної якості повітря в умовах офісного середовища несе у собі серйозні загрози [4]. Наслідком такої експлуатаційної недбалості стає не лише стрімке падіння загальної продуктивності праці та погіршення якості життя співробітників, але й суттєве підірвання їхнього здоров'я. Несприятливий мікроклімат створює ідеальне підґрунтя для масового розповсюдження респіраторних захворювань, загального зниження імунітету та багаторазового зростання ризиків перехресного інфікування в робочому колективі.

1.3. Іонізація повітряного простору: природні та штучні процеси, їхній вплив на самопочуття та ефективність праці людей

Запобігання масовому поширенню інфекційних захворювань виступає одним із найважливіших завдань у комплексі заходів із санітарного знезараження повітряних мас та робочих поверхонь. Ця проблематика набуває особливої гостроти та критичної значущості в локаціях із високою щільністю перебування людей чи тварин, у приміщеннях з недостатньою ефективністю вентиляційних систем, а також у просторах, де функціонує система рециркуляції відпрацьованого повітря.

Застосування різноманітних методів фізичного впливу на сьогодні стає дедалі більш затребуваним, оскільки саме ці технології визнані одними з найефективніших інструментів для інактивації патогенних вірусів, бактерій та спор грибків. Важливим кроком у цьому напрямку стала поява штучних джерел ультрафіолетового випромінювання, що дозволило на якісно новому рівні вирішити проблему бактерицидної обробки навколишнього середовища. При цьому дослідники наголошують, що найвищу ефективність демонструє комплексний підхід, зокрема поєднання класичного ультрафіолетового опромінення з іншими потужними факторами фізичного впливу, серед яких провідне місце займають технології озонування та іонізації.

З фізичної точки зору, іонізація являє собою безперервний процес утворення нових або руйнування існуючих іонів у навколишньому повітряному середовищі. За своїм походженням це явище класифікується на природне та штучно згенероване, причому воно здатне чинити на організм людини як сприятливий, так і потенційно шкідливий вплив. Аналізуючи позитивні наслідки цього процесу, варто насамперед відзначити ефективне осадження зваженого пилу, нейтралізацію різноманітних алергенів, а також суттєве зниження концентрації неприємних запахів у закритому просторі. З іншого боку, неконтрольована іонізація несе у собі низку негативних ризиків. До основних недоліків можна віднести ймовірність генерації озону в обсягах, що перевищують гранично допустимі норми. Крім того, надмірно висока концентрація іонів у повітрі здатна провокувати фізіологічне подразнення слизових оболонок дихальних шляхів людини, а понаднормова інтенсивність процесу іонізації часто призводить до формування небажаного електростатичного навантаження на об'єкти в приміщенні.Спираючись на результати наукових досліджень, присвячених детальному моделюванню фізичних процесів іонізації навколишнього середовища, специфіки її практичного застосування та впливу на біологічні об'єкти, можна зробити низку важливих висновків. Як уже зазначалося, синергетичний ефект від поєднання ультрафіолетових променів з озонуванням та генеруванням іонів демонструє найвищі показники санітарної обробки простору. Сучасний ринок пропонує широкий спектр пристроїв для штучної генерації іонів, які поділяються на

електричні (уніполярного та біполярного типу), радіоактивні, а також такі, що функціонують на базі ефекту розбризкування рідини, використання ультрафіолету та інших фізичних принципів. Проте в інженерній практиці найширшого поширення набули саме ті штучні іонізатори, принцип роботи яких ґрунтується на використанні коронного електричного розряду.



Рисунок 1.1 - Зовнішній вигляд пристрою для штучної генерації аероіонів у приміщенні

Історично першими в експлуатацію були введені уніполярні апарати, проте практика показала, що поряд із корисним ефектом вони генерували небажане електростатичне поле та виділяли озон. На сьогоднішній день розроблено та успішно застосовується декілька основних різновидів технічних засобів для штучної іонізації повітря. До них належать термоелектронні аероіонізатори, робота яких базується на явищі термоелектронної емісії з поверхні розпечених металів при їх екстремальному нагріванні в діапазоні від 500 до 2000 ºС. Інший тип — радіоізотопні пристрої, що використовують природну здатність променів від радіоактивних ізотопів іонізувати навколишні газові суміші. Також існують фотоелектричні генератори іонів, що продукують ефект завдяки застосуванню короткохвильового ультрафіолетового випромінювання, джерелом якого зазвичай слугують ртутно-кварцові лампи. Крім того, виділяють гідродинамічні аероіонізатори, функціонування яких спирається на баллоелектричний ефект — специфічну електризацію мікроскопічних крапель рідини, що утворюються під час

інтенсивного дроблення та розпилення водної маси. Останнім, але найпопулярнішим різновидом є коронні аероіонізатори, де іонізація повітряного потоку відбувається під дією коронного розряду, який формується в безпосередній близькості до гострого металевого вістря або надтонкого дроту при подачі на них електричної напруги у декілька тисяч вольт.

Слід звернути особливу увагу на той факт, що рівень іонізації в межах сучасного офісного простору не є статичною величиною. Він має властивість динамічно змінюватися протягом усього робочого дня під впливом цілого комплексу різноманітних факторів. Наприклад, інтенсивне використання офісної техніки передбачає одночасну та нерівномірну роботу значної кількості електронних приладів, серед яких персональні комп'ютери, монітори, багатофункціональні пристрої та принтери. Це неминуче призводить до постійного накопичення електростатичного заряду та формування зон із суттєво різним рівнем іонізації в окремих частинах робочого приміщення. Звичайно, на загальний баланс іонів також здійснюють прямий вплив встановлені системи штучної генерації аероіонів, головною метою яких є цілеспрямоване покращення якісних показників мікроклімату, мінімізація концентрації пилу та нейтралізація летючих алергенів.

Узагальнюючи наведений теоретичний матеріал, можна з впевненістю констатувати, що суворо нормована та контрольована іонізація повітряного середовища має виключно сприятливий вплив на загальний стан офісного простору. Забезпечення оптимального іонного балансу відіграє ключову роль у мінімізації ризиків поширення різноманітних респіраторних захворювань, суттєво знижує негативний вплив алергічних подразників та ефективно бореться з накопиченням небажаних запахів. У підсумку все це формує здоровий мікроклімат, що безпосередньо сприяє підвищенню загальної працездатності, концентрації уваги та збереженню здоров'я персоналу компанії.

1.4. Формування електромагнітного середовища в офісних просторах із високою щільністю електронного обладнання

Під час виконання своїх професійних обов'язків у сучасному офісі співробітник майже безперервно перебуває в умовах щільного оточення

різноманітною електронною та обчислювальною технікою. Кожна одиниця такого обладнання в процесі своєї експлуатації виступає джерелом випромінювання електромагнітних хвиль. Відповідно, за умови одночасної та тривалої роботи значного масиву апаратури, зокрема десятків персональних комп'ютерів, у замкненому просторі генерується потужне сумарне електромагнітне поле, яке здійснює відчутний негативний вплив на фізіологічний стан та самопочуття персоналу. Для глибокого розуміння цієї проблематики доцільно детально проаналізувати фізичну природу електромагнітних випромінювань та механізми їхньої дії на біологічні об'єкти.

З фізичної точки зору, електромагнітні поля (ЕМП) являють собою взаємопов'язані змінні електричні та магнітні поля, які здатні вільно поширюватися у навколишньому просторі у вигляді електромагнітних хвиль, рухаючись зі швидкістю світла. Рівень та інтенсивність біологічного впливу таких полів на людський організм не є сталими; вони безпосередньо залежать від низки фізичних характеристик, серед яких ключовими виступають частота коливань, напруженість, загальна інтенсивність випромінювання та, що найважливіше, тривалість безперервного впливу. Сучасні наукові дослідження переконливо доводять, що найбільшу потенційну загрозу для здоров'я становить саме довготривале, систематичне опромінення, яке розтягується на роки. Як наслідок такого перманентного впливу електромагнітних полів, у працівників можуть фіксуватися як гострі, так і хронічні патологічні стани. Зокрема, спостерігаються серйозні функціональні збої та деструктивні зсуви в роботі критично важливих систем організму людини: центральної нервової, серцево-судинної, ендокринної, а також кровотворної систем [6].

Варто зазначити, що людський організм наділений природними регенеративними механізмами, які здатні відновлювати пошкоджені на клітинному рівні структури, проте цей процес вимагає значного часу — зазвичай від 10 до 20 діб. Якщо ж тривалість перебування в зоні опромінення та інтенсивність електромагнітного впливу постійно зростають і перевищують компенсаторні можливості організму, клітинні пошкодження можуть набути незворотного, патологічного характеру. При цьому найбільший внесок у формування загального

електромагнітного фону будь-якої інфраструктурної будівлі (у стандартному діапазоні промислової частоти 50 Гц) робить базове потужне електротехнічне устаткування. До цієї категорії передусім належать розгалужені кабельні лінії, що забезпечують електроживлення приміщень, силові вузли систем життєзабезпечення будівлі, магістральні розподільні щити та трансформаторні підстанції [6].

Окрім базової інфраструктури, безпосередньо в самому офісному приміщенні завжди функціонує величезна кількість локальних побутових та робочих приладів, які є активними генераторами магнітних полів [6]. Наприклад, мікрохвильові печі класифікуються як джерела підвищеної небезпеки, тому під час їхньої активної роботи персоналу суворо рекомендується перебувати на безпечній відстані, яка становить не менше 30 сантиметрів. Щодо холодильного обладнання, то показники його електромагнітного випромінювання можуть суттєво варіюватися залежно від моделі, відповідно, безпечна дистанція коливається в межах від 30 сантиметрів до 1,5 метра. Навіть такі звичайні прилади, як електричні чайники, створюють навколо себе активну зону випромінювання радіусом до 25 сантиметрів. Одними з найнебезпечніших джерел в офісі традиційно вважаються телевізійні панелі та монітори; мінімальна безпечна відстань до них має становити не менше 1,5 метра, а у випадку використання екранів з діагоналлю 29 дюймів і більше цю дистанцію необхідно обов'язково збільшити щонайменше до 2 метрів. Кліматична техніка, зокрема кондиціонери, за рівнем генерації полів наближається до телевізорів, вимагаючи збереження дистанції не менше 1,5 метра. Окремої уваги заслуговують персональні комп'ютери: попри впровадження сучасними виробниками надзвичайно жорстких апаратних заходів, спрямованих на максимальне зниження рівня електромагнітної емісії, ці пристрої все ще залишаються об'єктами підвищеного ризику, що зумовлює необхідність організації робочого місця таким чином, щоб відстань від користувача до екрану становила не менше 80 сантиметрів. Стосовно мобільних телефонів та смартфонів, у сучасному науковому середовищі поки що тривають дискусії, і хоча однозначного, стовідсотково достовірного підтвердження їхнього критично негативного впливу на людину ще не сформовано, дослідники сходяться на думці, що постійне фонове

випромінювання від цих портативних гаджетів неминуче справляє певне негативне навантаження на біологічні системи організму [6].

Не менш актуальним та критично важливим залишається питання опосередкованого впливу електромагнітних полів на фізико-хімічні показники якості повітря безпосередньо в робочому просторі офісу. Внаслідок безперервної та синхронної роботи щільного масиву електронної техніки активізується ціла низка супутніх негативних чинників. Насамперед відбувається неминуче зростання температури навколишнього середовища через інтенсивне виділення теплової енергії працюючими приладами. Це явище автоматично провокує порушення балансу відносної вологості, що в комплексі завдає прямого удару по загальній якості повітряного середовища. Другим вагомим наслідком є активна взаємодія магнітних полів із дрібнодисперсними частинками: такі поля діють як своєрідні магніти, стимулюючи інтенсивне притягнення, накопичення та зависання пилу в повітрі, що призводить до його глибокого механічного забруднення. Зрештою, цей процес тісно пов'язаний із явищем електростатичного навантаження, яке зумовлює активне налипання пилових мас та мікрочастинок з повітря на пластикові поверхні електроприладів, корпусні меблі, елементи декору та текстиль. Це не лише погіршує естетичний вигляд приміщення, але й створює стійкі осередки постійного вторинного забруднення повітряного басейну, що значно ускладнює підтримання належного санітарно-гігієнічного стану в офісі.

1.5. Фундаментальні принципи та сучасні системи моніторингу і керування якістю повітряного середовища в приміщеннях

Здійснення постійного моніторингу та ефективного контролю за якістю повітряного простору в умовах сучасного офісу є надзвичайно важливим аспектом, що гарантує створення максимально комфортних, ергономічних та екологічно безпечних умов для здійснення професійної діяльності персоналу. З огляду на це, науково-обґрунтоване розроблення, проєктування та подальше практичне впровадження спеціалізованих автоматизованих комплексів, які здатні контролювати та безперервно керувати якісними параметрами мікроклімату, набуває високої актуальності в сучасних інженерних реаліях. Слід об'єктивно

зазначити, що проблематика формування здорової офісної атмосфери, і зокрема оптимізації повітряного середовища, має глибоке практичне підґрунтя. Протягом тривалого часу фахівцями було накопичено колосальний досвід у цій сфері. Цей досвід охоплює надзвичайно широкий спектр заходів: починаючи від базових принципів раціонального просторового планування робочих зон, правильного розміщення електронного та обчислювального обладнання, локального використання генераторів аероіонів, і аж до концептуального проєктування та масштабування складних, багатокомпонентних автоматизованих систем керування будівлею.

В основі архітектури систем такого інноваційного класу лежить використання високоточного вимірювального обладнання, зокрема розгалуженої мережі спеціалізованих сенсорів та первинних перетворювачів. Ці високочутливі датчики наділені здатністю в режимі реального часу фіксувати та аналізувати критично важливі фізико-хімічні параметри мікроклімату. До їхньої безпосередньої компетенції входить точне вимірювання температурних показників, визначення рівня відносної вологості, а також глибокий аналіз хімічного складу повітряних мас, включаючи безперервне детектування концентрації різноманітних шкідливих домішок, летючих органічних сполук, пилових частинок та небезпечних газів.

У переважній більшості випадків сучасні інтелектуальні системи мікроклімату не лише виконують функцію моніторингу, але й безпосередньо інтегруються з потужним комплексом виконавчих механізмів та кліматичних приладів. Завдяки цій апаратній взаємодії здійснюється автоматизована припливно-витяжна вентиляція робочого простору, його рівномірний обігрів або охолодження, а також контрольована штучна іонізація та багатоступеневе фільтрування. Саме така комплексна синергія вимірювальних та виконавчих контурів дозволяє надійно підтримувати всі регламентовані санітарно-гігієнічні показники на суворо заданому, оптимальному рівні, гнучко реагуючи на будь-які зовнішні або внутрішні зміни.

Окремої уваги заслуговує той факт, що навіть найбільш технологічно досконалі системи автоматизованого контролю якості повітря вимагають проведення регулярного кваліфікованого технічного обслуговування, а також

періодичного калібрування та тонкого програмного налаштування алгоритмів роботи. Лише за умови належного експлуатаційного супроводу стає можливим гарантувати стабільно високий рівень безпеки повітряного середовища. При цьому вкрай важливо, щоб алгоритми керування адаптувалися не лише під загальноприйняті санітарні стандарти, але й за можливості враховували індивідуальні фізіологічні потреби та специфіку роботи персоналу, що в кінцевому підсумку є головною запорукою збереження здоров'я людей та стимулювання їхньої максимальної професійної працездатності.

1.6. Аналітичний огляд існуючих концепцій та технічних рішень у сфері автоматизованого контролю повітряного середовища

На сучасному етапі розвитку інженерних технологій на ринку представлено широкий спектр різноманітних апаратно-програмних комплексів, призначених для здійснення безперервного моніторингу та регулювання якісних показників мікроклімату в закритих просторах, зокрема в умовах офісних приміщень. Для об'єктивного розуміння поточного стану розробок доцільно детально проаналізувати кілька типових прикладів практичної реалізації таких систем, описаних у фаховій літературі. Наприклад, у науковій праці [7] розглядається один із базових варіантів побудови системи контролю газового середовища. Автори наголошують, що такі поширені горючі гази, як метан або пропан, які широко застосовуються в промислових процесах чи на підприємствах громадського харчування, здатні становити критичну загрозу безпеці життєдіяльності у разі відсутності належного контролю за їх витоком. Формування високих концентрацій цих та інших небажаних газових домішок вимагає впровадження надійних систем моніторингу, які б дозволяли оперативно фіксувати перевищення гранично допустимих норм, миттєво генерувати тривожні сповіщення та автоматично ініціювати превентивні заходи безпеки. Водночас автори дослідження зазначають, що більшість комерційно доступних промислових газоаналізаторів відзначаються високою вартістю, громіздкістю та значною складністю в процесі монтажу та інтеграції. Це зумовлює гостру технічну потребу в розробці більш економічно вигідних, компактних та гнучких альтернативних рішень, які б зберігали

аналогічний рівень функціональної надійності [7].

Для розв'язання цієї прикладної проблеми дослідниками було запропоновано та спроєктовано компактну систему, архітектура якої базується на використанні мікроконтролера серії PIC18F452, що виконує роль головного обчислювального та контрольно-вимірювального ядра. У межах даного проєкту інженери передбачили можливість одночасного моніторингу концентрації зрідженого вуглеводневого газу, пропану, метану, чадного газу (оксиду вуглецю) та задимленості, паралельно з безперервним вимірюванням температури навколишнього середовища. Відповідні специфічні сенсори були інтегровані в єдину апаратну мережу та підключені до центрального блоку обробки даних. Алгоритм роботи системи передбачає, що у випадку фіксації перевищення нормативних показників хоча б по одному з контрольованих каналів, мікроконтролер миттєво генерує керуючі впливи для виконання заздалегідь запрограмованих захисних дій. При цьому актуальна інформація щодо поточних рівнів концентрації газів або температурних значень циклічно, з кроком в одну секунду, виводиться на локальний рідкокристалічний дисплей. Крім того, архітектура системи передбачає дублювання телеметричних даних шляхом їх бездротової трансляції до віддаленого командно-диспетчерського пункту. Саме там, у разі критичного перевищення рівня безпеки по будь-якому з контрольованих елементів, автоматично активується сигнал тривоги [7].

Принципову схему організації такої системи на базі контролера PIC18F452 в режимі протипожежного моніторингу ілюструє рисунок 1.2.

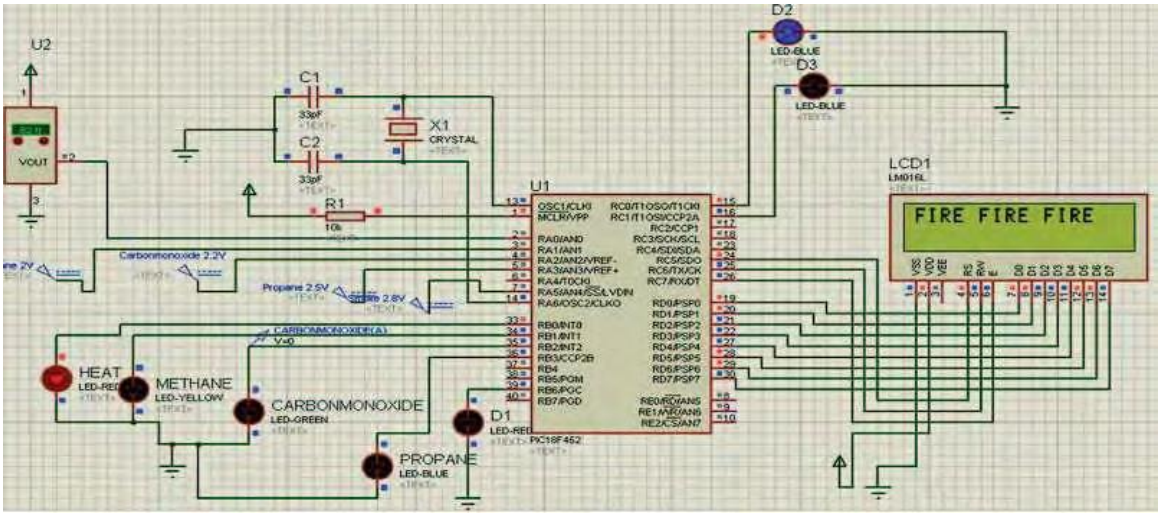


Рисунок 1.2 - Структурна організація апаратного комплексу детектування небезпечних газів та задимлення [7]

Логіка функціонування даного комплексу полягає у тому, що центральний мікропроцесор здійснює безперервне циклічне опитування всіх підключених сенсорних модулів. Як тільки будь-який із датчиків ідентифікує наявність цільового газу в повітрі, він миттєво передає відповідний електричний сигнал на вхід мікроконтролера. Останній, спираючись на закладені в його пам'ять обчислювальні алгоритми та порогові значення, приймає рішення щодо ініціації відповідного сценарію реагування [7]. Серед типових виконавчих дій системи передбачено автоматичне включення спринклерних установок водяного пожежогасіння, активацію аварійних витяжних вентиляторів, виведення попереджувальних повідомлень на локальний РК-екран та негайну передачу пакету тривожної інформації на пульт диспетчерської служби [7].

Схематична побудова віддаленого командно-диспетчерського центру представлена на рисунку 1.3.

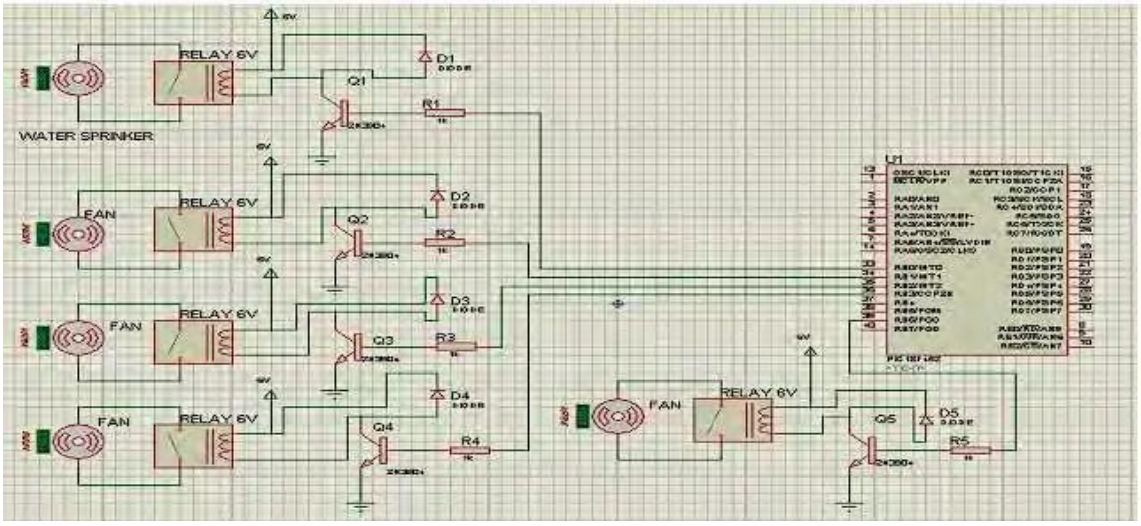


Рисунок 1.3 - Блок-схема приймально-контрольного диспетчерського пункту

Головним завданням при створенні описаної системи було досягнення балансу між економічною доступністю, фізичною портативністю та простотою розгортання, не жертвуючи при цьому базовим функціоналом безпеки. Розробка дозволяє здійснювати синхронний моніторинг цілого спектра небезпечних елементів у повітряному просторі, що дає змогу оперативно модулювати інтенсивність повітрообміну в будівлі або застосовувати інші коригувальні заходи. Завдяки повній автоматизації процесу, масив даних аналізується в режимі

реального часу, що мінімізує час реакції та сприяє швидкому прийняттю рішень щодо нормалізації ситуації [7].

Аналізуючи технічний рівень розглянутої системи, можна констатувати, що вона дійсно характеризується конструктивною простотою, легкістю інтеграції та відносно низькою собівартістю, проте водночас володіє досить обмеженим функціоналом. По суті, цей комплекс спроможний лише ідентифікувати присутність обмеженого переліку газових домішок і виконувати найпростіші, бінарні дії (увімкнення/вимкнення) щодо регулювання параметрів повітря. Слід також критично зауважити, що хоча система формально позиціонується як інструмент контролю якості повітря, її фактична архітектура та алгоритми роботи більше відповідають класичним системам протиаварійної та пожежної безпеки, чиє головне завдання зводиться до екстреного усунення шкідливих викидів за допомогою примітивної вентиляції. Крім того, застосування бюджетної елементної бази неминуче породжує сумніви щодо довгострокової експлуатаційної надійності, точності вимірювань та стабільності роботи такого комплексу в інтенсивних умовах сучасного офісу.

Для порівняння доцільно розглянути іншу, більш сучасну концепцію реалізації системи моніторингу, що базується на технологіях Інтернету речей (IoT), яка детально описана в публікації [8]. Архітектура цієї розробки, що отримала назву "e-nose" (електронний ніс), візуалізована на рисунку 1.4.

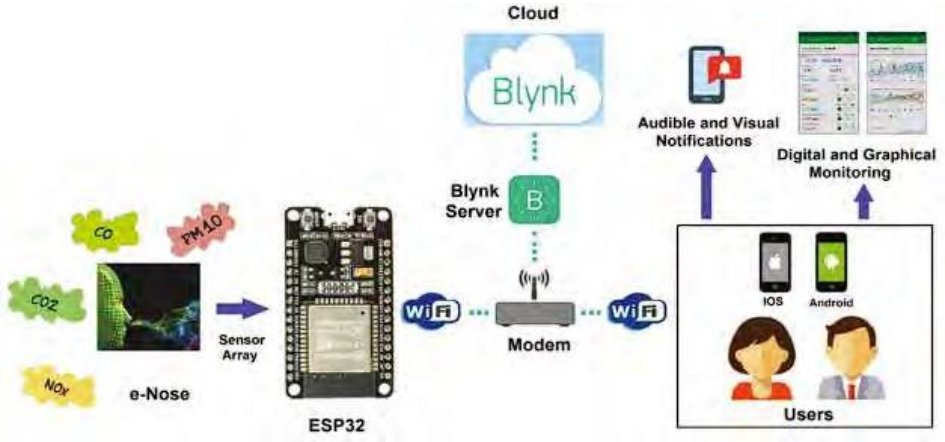


Рисунок 1.4 - Топологія запропонованої IoT-системи моніторингу мікроклімату «e-nose» [8]

Дана система орієнтована на безперервний моніторинг якості повітряного середовища в режимі реального часу з метою забезпечення користувачів

деталізованою інформацією щодо поточних концентрацій забруднюючих речовин. Отримання високоточних даних про стан мікроклімату в робочій зоні дозволяє ефективно планувати та реалізовувати стратегії, спрямовані на його довгострокове покращення [8]. Структурно апаратно-програмний комплекс "e-nose" розділений на два ключові сегменти. Перший сегмент — це апаратний блок детектування та передачі даних, ядром якого є мультисенсорна матриця, збудована навколо сучасного мікроконтролера ESP32 із вбудованим модулем бездротового зв'язку Wi-Fi. Другий сегмент являє собою програмну частину — мобільний клієнтський інтерфейс, розроблений для операційних систем Android та iOS [8].

Вибір мікроконтролера ESP32 як головного обчислювального модуля системи "e-nose" є цілком виправданим кроком. Це високопродуктивний, недорогий 32-розрядний процесор, який де-факто став стандартом індустрії для побудови різноманітних IoT-додатків. Крім двоядерної архітектури, ESP32 містить на борту багатий набір інтегрованих периферійних інтерфейсів та модулів, серед яких контролери Wi-Fi, Bluetooth, радіочастотний та інфрачервоний трансивери, шина CAN, інтерфейс Ethernet, а також апаратні датчики температури, Холла та дотику, що робить його ідеальним рішенням для проєктів «розумного будинку». Що стосується сенсорної підсистеми, то вимірювальний блок комплектується масивом датчиків (GP2Y1010AU, MH-Z14, MICS-4514, DHT22), які відповідають за прецизійне вимірювання таких критичних показників мікроклімату, як концентрація вуглекислого газу (CO_2), чадного газу (CO), діоксиду азоту (NO_2), рівень дрібнодисперсних частинок (PM10), а також поточні значення температури та відносної вологості [8].

З метою підвищення достовірності результатів, алгоритм обробки даних передбачає обчислення медіанного значення на основі вибірки з 12 послідовних вимірювань, які здійснюються з інтервалом у 5 секунд. Такий математичний підхід дозволяє ефективно відфільтрувати випадкові шуми та мінімізувати вплив апаратних похибок, викликаних можливими короткочасними збоями в роботі окремих сенсорів. Якщо обчислені показники концентрації газів або кліматичні параметри виходять за межі встановлених безпечних порогів, система негайно генерує та надсилає користувачеві тривожне сповіщення [8]. Крім того, програмне

забезпечення розраховує середні значення параметрів за п'ятихвилинні інтервали і розсилає їх у вигляді регулярних інформаційних повідомлень. Це дозволяє уникнути генерації надмірної кількості помилкових або несуттєвих попереджень, які могли б дезорієнтувати користувача.

Цікавою архітектурною особливістю запропонованої системи "e-nose" є принципова відмова від використання локальних елементів незалежної пам'яті для зберігання зібраної телеметрії. Замість цього весь масив сирих даних через мобільний шлюз транслюється безпосередньо на віддалений хмарний сервер платформи Blynk. За необхідності, користувач може ініціювати запит на вивантаження архіву даних на вказану адресу електронної пошти. Для забезпечення надійності передачі інформації, перед кожною транзакцією алгоритм перевіряє статус активності інтернет-з'єднання. У разі виявлення розриву зв'язку, пакети даних, які не вдалося відправити, тимчасово буферизуються в оперативній пам'яті контролера. Як тільки канал зв'язку відновлюється, накопичені пакети синхронізуються з хмарним сервером, при цьому кожному пакету присвоюється часова мітка (таймстемп), що відповідає реальному моменту вимірювання. Такий підхід гарантує цілісність масиву даних та забезпечує безперервність хронологічного потоку інформації навіть у нестабільних мережах [8].

Розглянута концепція IoT-системи демонструє сучасний підхід до моніторингу мікроклімату, глибоко інтегруючи хмарні технології, які надають користувачеві зручний, глобальний доступ до результатів вимірювань з будь-якої точки світу. Наявність спеціалізованого мобільного додатка значно підвищує ергономіку системи, дозволяючи візуалізувати динаміку змін параметрів та своєчасно отримувати push-сповіщення про виникнення потенційно небезпечних ситуацій. Проте головним і досить суттєвим недоліком цієї розробки є повна відсутність у її архітектурі контуру керування та виконавчих механізмів. Система здатна лише констатувати факт погіршення якості повітря, але не надає жодних технічних інструментів для безпосереднього автоматичного регулювання кліматичного обладнання та активного впливу на нормалізацію середовища в офісі.

На противагу проаналізованим рішенням, автоматизована система, що проєктується в рамках даного бакалаврського дослідження, пропонує комплексний

підхід, який органічно поєднує функції високоточного багатоканального вимірювання з активними алгоритмами керування виконавчими пристроями. Крім того, передбачається розробка та впровадження спеціалізованого програмного забезпечення (наприклад, кросплатформного мобільного додатка), яке слугуватиме єдиним центром взаємодії. Через цей інтерфейс користувач зможе не лише моніторити поточний стан мікроклімату та отримувати тривожні сповіщення, але й дистанційно коригувати налаштування виконавчих механізмів. Головна наукова та практична новизна запропонованої розробки полягає саме у створенні замкненої, повністю автономної програмно-апаратної екосистеми. Ця система здатна самостійно здійснювати безперервний збір даних, їхній аналіз та подальше адаптивне регулювання роботи кліматичного обладнання для підтримки ідеальної якості повітря в офісному приміщенні, зводячи до мінімуму необхідність ручного втручання людини в цей рутинний процес.

Висновки до розділу 1

У першому розділі було здійснено комплексний аналіз проблематики забезпечення якості повітряного середовища та параметрів мікроклімату в сучасних офісних приміщеннях. Встановлено, що неухильне дотримання нормативних параметрів мікроклімату є фундаментальною базою для забезпечення здоров'я, безпеки та комфорту персоналу. Проведений аналіз негативних факторів засвідчив, що неефективна робота систем вентиляції та хімічна емісія від офісного обладнання і меблів призводять до критичного накопичення небезпечних сполук, зокрема діоксиду вуглецю, сірководню, діоксиду азоту, аміаку, а також побутового пилу та різноманітних алергенів.

Вагомим фактором впливу на мікроклімат є електромагнітне навантаження. Щільне скупчення електронної та обчислювальної техніки в сучасному офісі генерує потужні сумарні електромагнітні поля, які не лише відчутно впливають на фізіологічне самопочуття працівників, але й опосередковано погіршують якість повітря. Це проявляється у підвищенні температури навколишнього середовища внаслідок тепловиділення приладів та створенні електростатичного навантаження,

яке стимулює інтенсивне притягнення, зависання й накопичення пилових частинок у робочому просторі.

Доведено, що одним із високоефективних методів санітарного очищення повітряного середовища є нормована та суворо контрольована штучна іонізація. Застосування сучасних іонізаторів дозволяє ефективно осаджувати зважений пил, нейтралізувати летючі алергени та суттєво знижувати концентрацію неприємних запахів. Забезпечення оптимального іонного балансу відіграє ключову роль у мінімізації ризиків поширення респіраторних та інфекційних захворювань, що безпосередньо сприяє збереженню здоров'я та підвищенню загальної працездатності колективу.

Разом з тим, аналітичний огляд існуючих систем контролю мікроклімату — від базових комплексів детектування газів до сучасних IoT-рішень — виявив їхні суттєві концептуальні та функціональні обмеження. Більшість наявних на ринку розробок здатні виконувати виключно функції пасивного моніторингу, збору телеметричних даних та генерації тривожних сповіщень. Головним їхнім недоліком є повна відсутність виконавчих механізмів та контурів для безпосереднього автоматичного регулювання роботи кліматичного обладнання.

На основі виявлених недоліків існуючих систем було глибоко обґрунтовано необхідність та актуальність розробки нової комплексної автоматизованої системи керування. Головна наукова та практична новизна запропонованого рішення полягає у створенні замкненої, повністю автономної апаратно-програмної екосистеми. Така розробка здатна не лише здійснювати безперервний прецизійний збір даних, але й забезпечувати гнучке адаптивне керування виконавчими пристроями, такими як системи вентиляції, обігріву та іонізації. Це дозволить надійно підтримувати ідеальні параметри мікроклімату в офісному приміщенні, зводячи до абсолютного мінімуму необхідність ручного втручання людини в рутинні процеси регулювання.

РОЗДІЛ 2 СТРУКТУРНА ОРГАНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ

2.1. Опис структурної схеми автоматизації керування якістю повітря в офісному приміщенні

Архітектурна побудова комплексу автоматизованого керування та безперервного моніторингу стану повітряного середовища в умовах офісу базується на фундаментальних принципах класичної теорії автоматичного керування, зокрема на використанні замкнутого контуру зі зворотним зв'язком. Концептуально запропонована система є високотехнологічним симбіозом апаратних компонентів та спеціалізованого програмного забезпечення. Їхня синхронізована та узгоджена взаємодія цілеспрямовано впливає на об’єкт керування, поточний стан якого безперервно відстежується та коригується завдяки наявності інформаційного зворотного зв'язку [8].

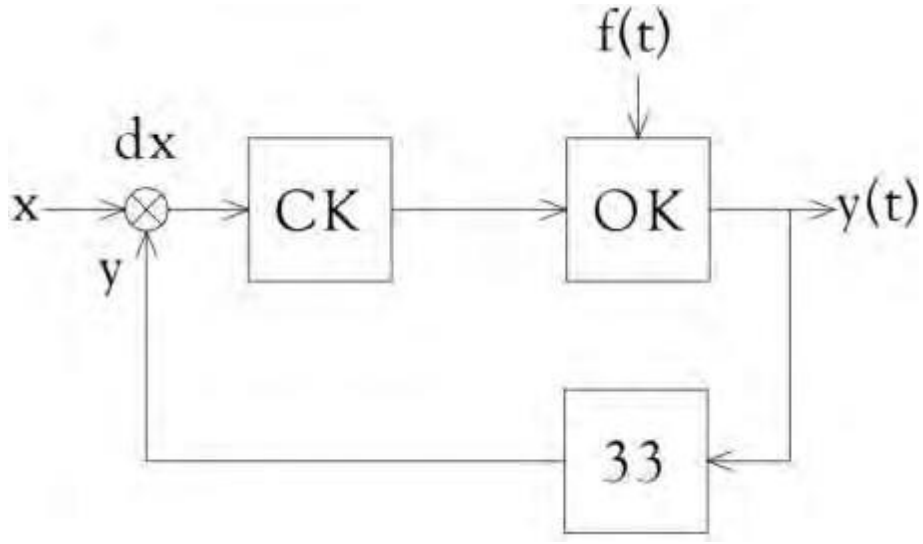


Рисунок 2.1 – Базова структурна модель автоматизованого комплексу регулювання мікроклімату в офісі із замкнутим контуром

Розроблена автоматизована система контролю якості повітря в офісному приміщенні (АСКЯПОП) належить до класу складних багатовимірних технічних систем. Вона інтегрує в собі значну кількість взаємопов’язаних компонентів, які об'єднані розгалуженими структурними, функціональними та інформаційними каналами обміну даними. За своєю суттю, АСКЯПОП є глибоко структурованою,

багатокомпонентною моделлю, для якої характерна висока міра гетерогенності, оскільки її складові відрізняються за своєю фізичною природою, принципами дії та типами взаємозв’язків. Більше того, з позицій системного аналізу, кожен окремий апаратний чи програмний вузол АСКЯПОП може розглядатися як цілком автономна підсистема в рамках єдиної глобальної макросистеми [8].

Внутрішня архітектура структурної схеми концептуально поділяється на три ключові підсистеми. Першою та головною є система керування (СК), ядром якої виступає центральний обчислювальний пристрій — сучасний мікроконтролер, промисловий контролер або спеціалізований мікрокомп’ютер. Цей блок тісно взаємодіє з комплексом виконавчих механізмів, які відповідають за безпосереднє фізичне регулювання процесів опалення, вентилювання, а також за активацію специфічних кліматичних та побутових електроприладів. У своїй сукупності ці апаратні засоби призначені для безпосередньої організації впливу на зміну параметрів повітряного середовища та їх подальшої стабілізації. Другою невіддільною складовою є об’єкт керування (ОК). У контексті даного дослідження в ролі такого об'єкта виступає безпосередньо внутрішній простір конкретного офісу, а якщо бути точнішим — сукупність фізико-хімічних параметрів його повітря, які підлягають безперервному вимірюванню та нормативному контролю. Третім критично важливим блоком є зворотний зв’язок (ЗЗ), апаратна реалізація якого забезпечується розгалуженою мережею високочутливих первинних перетворювачів. До цієї групи належать прецизійні датчики для фіксації температури, визначення відносної вологості, рівня аероіонного фону, ступеня дисперсного пилового забруднення, а також газоаналізатори для виявлення генерується масив актуальних даних про поточний санітарний стан повітря, що різноманітних хімічних домішок. Саме на виході з цього сенсорного блоку формує інформаційний вихідний сигнал, який позначається змінною «у».

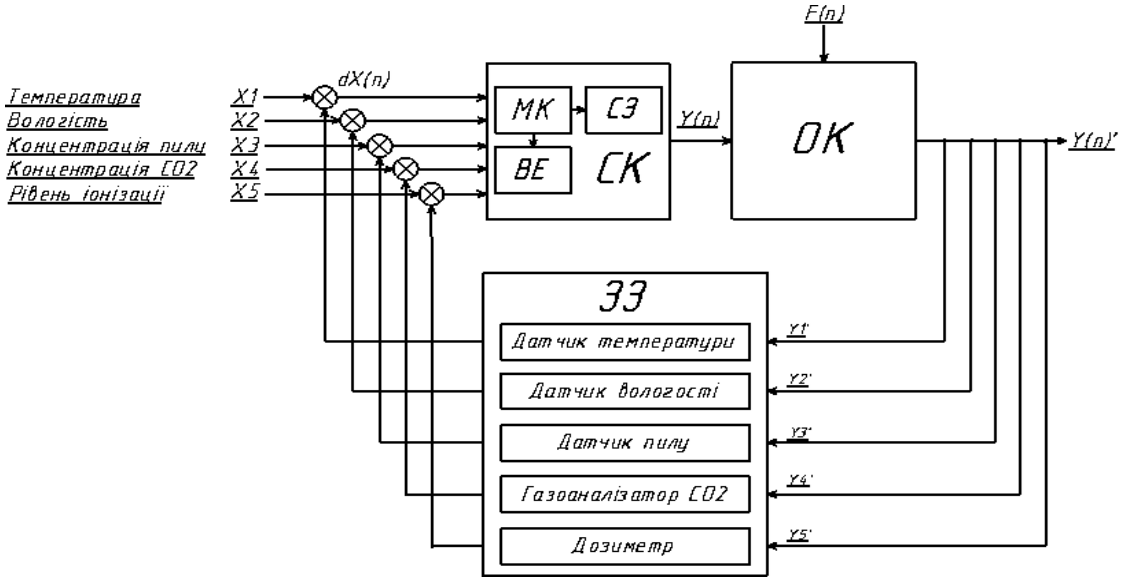


Рисунок 2.2 – Розгорнута структурно-функціональна схема роботи АСКЯПОП

Алгоритм функціонування передбачає, що на вхід системи керування (СК) безперервно надходить масив вхідної інформації «x». Цей масив репрезентує еталонні, наперед задані параметри температури, вологості, допустимої концентрації дрібнодисперсного пилу, вмісту діоксиду вуглецю (CO_2) та оптимального рівня іонізації. Ці значення суворо регламентовані чинними вимогами до якості повітря, і система зобов'язана підтримувати їх у межах встановленого діапазону з урахуванням мінімальних допустимих похибок. Відповідно до нормативної бази [2], оптимальний температурний режим для офісного простору має знаходитися в межах від +21 °C до +25 °C. Інтегрований блок системи керування акумулює в собі такі базові компоненти, як центральний мікроконтролер (МК), модуль комунікації та зв'язку (СЗ), а також набір виконавчих елементів (ВЕ), до яких належать канальні вентилятори, спліт-системи кондиціонування, електричні обігрівачі, генератори іонів тощо. Під час ініціалізації відбувається базове налаштування комплексу та здійснюється первинне зняття показників із датчиків. На основі цих даних обчислювальний модуль розраховує величину Δx — математичну різницю між поточним фактичним та ідеальним заданим значенням конкретного параметра. При цьому математичний знак отриманого числа Δx має принципове значення, оскільки він чітко вказує на напрямок відхилення — перевищення норми чи її недостатність, що безпосередньо

визначає подальший вектор дій автоматики.

Спираючись на результати обчислення цих параметрів, блок керування генерує відповідний фізичний вплив на об’єкт керування (ОК). При цьому архітектура системи обов'язково враховує той факт, що на якість внутрішнього мікроклімату безперервно впливає ціла низка непередбачуваних зовнішніх факторів. До них належать раптові зміни погодних умов за вікном, сумарне теплове випромінювання від працюючої в даний момент офісної техніки, а також динамічна зміна кількості персоналу, що одночасно перебуває в приміщенні. З точки зору теорії керування, ці чинники розглядаються як зовнішні збурюючі впливи f(t), які безпосередньо діють на об’єкт керування та можуть хаотично змінюватися в часі, залежно від часу доби, поточної погоди або навіть сезону року.

Для забезпечення глибокого розуміння процесів, що відбуваються в АСКЯПОП (згідно з рисунком 2.2), доцільно детально розглянути специфіку моніторингу кожного окремого параметра. По-перше, здійснюється суворий контроль температури. Згідно з діючими санітарними нормами України [2], ідеальним показником для офісних приміщень є діапазон від 21 °C до 25 °C. Для стабілізації температури в цих рамках активуються відповідні виконавчі пристрої: централізована система опалення, локальні електричні обігрівачі або примусова вентиляція, які в комплексі здатні ефективно модулювати тепловий фон. Датчик температури безперервно зчитує поточні дані, які мікроконтролер порівнює із заданим еталоном (наприклад, усередненим значенням 23 °C). Обчислена різниця миттєво компенсується шляхом подачі керуючих сигналів на кліматичне обладнання. По-друге, не менш важливим є контроль відносної вологості, оптимальний рівень якої має підтримуватися в межах 40–60% [2]. Цей процес реалізується завдяки синхронній роботі витяжних систем, кондиціонерів та промислових зволожувачів повітря. Алгоритм керування є аналогічним: система отримує еталонний діапазон, збирає дані з датчиків вологості, порівнює їх і, залежно від математичного знака отриманої різниці, ініціює процеси осушення або додаткового зволоження простору.

По-третє, система здійснює постійний аналіз концентрації дрібнодисперсного пилу. Цей показник є динамічним і залежить від сукупності інших факторів

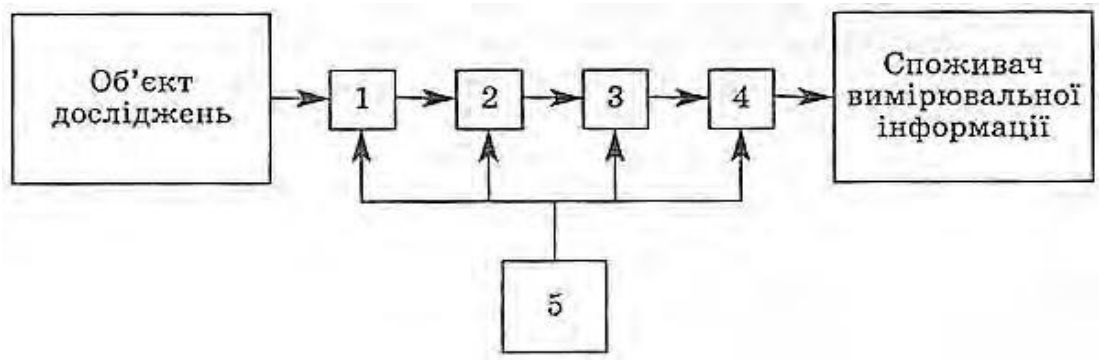
(температури, іонізації), проте, згідно з офіційними рекомендаціями ВООЗ [10], базова концентрація твердих частинок фракції PM2.5 не повинна перевищувати 12 мікрограмів на кубічний метр, а для фракції PM10 гранично допустима норма становить 20 мікрограмів на кубічний метр. Для боротьби з пиловим забрудненням система автоматично активує іонізатори та посилює повітрообмін. Оскільки повністю нівелювати пил лише автоматикою неможливо і вимагається регулярне вологе прибирання, у разі фіксації критичного забруднення система не лише вмикає очищувачі, але й генерує попереджувальний сигнал для інформування користувачів. По-четверте, критичним фактором є рівень діоксиду вуглецю (CO2), який стрімко зростає пропорційно кількості людей у кабінеті. Для підтримки високої працездатності персоналу концентрація CO_2 має обов'язково залишатися в комфортному діапазоні 400–600 ppm [11]. Спеціалізований газоаналізатор безперервно моніторить цей показник і передає дані до мікроконтролера, який, у разі перевищення норми, миттєво збільшує потужність припливної вентиляції. Нарешті, по-п'яте, система жорстко регулює рівень штучної іонізації. Доведено, що для створення максимально сприятливого та безпечного робочого середовища концентрація аероіонів має становити від 1500 до 3000 іонів на кубічний сантиметр [12]. Забезпечення та підтримання цього корисного фону в закритих офісних просторах здійснюється шляхом автоматичного керування режимами роботи інтегрованих генераторів іонів.

2.2. Поширені аналітичні методи визначення речовинного складу повітряного середовища

Для здійснення безперервного та високоточного моніторингу параметрів якості повітряного середовища, зокрема в умовах сучасних офісних приміщень, у світовій інженерній практиці застосовується надзвичайно широкий спектр спеціалізованих методів та апаратних засобів. Ці технічні рішення базуються на передових фізико-хімічних технологіях і в сукупності формують складні, багатокомпонентні вимірювальні системи. Головним завданням таких комплексів є оперативна фіксація мікрокліматичних змін та забезпечення надійної емпіричної бази даних для подальшого аналізу й регулювання.

Під поняттям вимірювальної системи (ВС) традиційно розуміють інтегрований комплекс апаратно-програмних засобів та взаємопов'язаних технічних пристроїв. До складу типової ВС обов'язково входять центральний мікропроцесорний або керуючий елемент, розгалужена мережа високочутливих датчиків (первинних перетворювачів) та відповідні виконавчі механізми. Ця архітектура цілеспрямовано спроєктована для виконання повного робочого циклу: від безпосереднього проведення процесу вимірювання фізичних величин до глибокої математичної обробки отриманих масивів даних і автоматичного контролю за дотриманням заданих мікрокліматичних параметрів.

Відповідно до базових принципів метрології, за специфікою та способом визначення шуканої величини всі засоби вимірювання (ЗВ) класифікуються на дві фундаментальні категорії: прилади прямої дії (безпосередньої оцінки) та прилади порівняння. Функціонування засобів вимірювання прямої дії ґрунтується на безпосередньому відображенні значення досліджуваної величини на відліковому пристрої. Конструктивно такі прилади складаються з низки послідовно з'єднаних елементів, функція яких полягає у первинному сприйнятті вимірюваної фізичної величини, її миттєвій трансформації у зручний для подальшої обробки електричний або цифровий сигнал та, за виникнення такої потреби, його пропорційному підсиленні. Натомість, принцип дії приладів порівняння зводиться до визначення невідомого параметра шляхом його безпосереднього зіставлення з еталонним значенням відомої величини, що відтворюється відповідною мірою [9].



1 — первинна вимірювальна підсистема (включає первинні перетворювачі, еталонні міри та блоки аналого-цифрового перетворення); 2 — модуль математичного обчислення та аналізу вимірювальної інформації; 3 — комунікаційний інтерфейс для передачі та архівації даних; 4 — блок візуального

відображення показників; 5 — модуль автоматизованого керування функціонуванням інформаційно-вимірювальної системи [9].

Рисунок 2.3 – Узагальнена структурна схема сучасного вимірювального комплексу

На сучасному етапі розвитку технологій архітектура та апаратна реалізація вимірювальних систем відзначаються надзвичайною варіативністю. Завдяки своїй універсальності та високій адаптивності, такі комплекси знаходять широке застосування в різноманітних наукових дослідженнях, важкій та легкій промисловості, складних технічних галузях, а також є невіддільною складовою глобальних автоматизованих систем керування розумними будівлями. Їхнє впровадження дозволяє гарантувати безперервний, високоточний моніторинг та реєстрацію критично важливих параметрів. Це, у свою чергу, є фундаментальною умовою для підтримання високого рівня експлуатаційної безпеки, оптимізації загального енергоспоживання та підвищення ефективності управління інфраструктурою.

У контексті моніторингу санітарного стану закритого простору, для фіксації параметрів якості повітря задіюється цілий арсенал специфічних аналітичних методів та сенсорних засобів. Їхнє комплексне використання дає змогу не лише з високою точністю вимірювати базові показники мікроклімату, але й формувати масив достовірних даних для оперативного реагування. Якщо зафіксовані показники виходять за межі допустимих санітарно-гігієнічних норм, автоматизована система на основі цих вимірювань миттєво ініціює вжиття коригувальних заходів (наприклад, посилення вентиляції чи кондиціонування) для швидкого відновлення якості повітряного середовища.

Для більш глибокого розуміння апаратної реалізації таких комплексів, доцільно детально розглянути ключові фізико-хімічні та аналітичні методи, які безпосередньо покладені в основу функціонування сучасних вимірювальних систем та спеціалізованих приладів екологічного контролю повітря.

2.3. Аналітичні та технічні методи кількісного визначення пилового забруднення повітряного простору

Здійснення безперервного моніторингу та точного вимірювання рівня концентрації дрібнодисперсного пилу в межах офісних приміщень виступає одним із найважливіших завдань комплексної оцінки мікроклімату. Це зумовлено тим, що наявність понаднормових показників твердих частинок у повітрі не лише становить самостійну загрозу, але й часто стає каталізатором низки супутніх проблем, які в синергії суттєво погіршують загальну санітарно-гігієнічну якість повітряного середовища та негативно впливають на здоров'я персоналу. Для ефективного розв'язання цієї проблеми розроблено та успішно застосовується цілий спектр різноманітних наукових методів, які на практиці реалізуються за допомогою спеціалізованих технічних засобів та інтелектуальних апаратно-програмних комплексів.

Відомо, що значну частку шкідливих викидів, які інтенсивно забруднюють атмосферне повітря, становить саме пил різного походження. Згідно з чинними санітарно-екологічними нормами, що діють на території України та в більшості інших розвинених країн світу, ступінь запиленості повітряного басейну традиційно прийнято оцінювати за допомогою спеціального розрахункового показника — масової концентрації пилу, яка позначається індексом np. Ця фізична величина математично дорівнює сумарній масі всіх твердих пилових частинок, що фактично містяться в одній стандартній одиниці об'єму досліджуваного повітря. Проте варто зауважити, що показник масової концентрації np не є єдиною характеристикою, яка становить вагомий практичний та науковий інтерес для інженерів. Не менш важливе і критичне значення для комплексної оцінки мають і такі специфічні параметри пилу, як його детальний хімічний склад, дисперсність, а також фракційний розподіл зважених частинок за їхніми аеродинамічними розмірами.

У сучасній метрологічній практиці всі існуючі методики вимірювання концентрації пилових домішок у повітряному просторі прийнято класифікувати, поділяючи їх на дві фундаментальні категорії. До першої групи відносять аналітичні методи, технологічний процес яких обов'язково базується на етапі попереднього фізичного або механічного осадження пилових мас на спеціальні

вимірювальні поверхні чи фільтри. Натомість друга група охоплює сучасні експрес-методи, які успішно реалізуються безпосередньо в динамічному газовому потоці, абсолютно не потребуючи складної та тривалої процедури попереднього осадження твердих частинок.

Детальніше розглядаючи саме ті інноваційні методи, що реалізуються без етапу попереднього осадження пилу, слід зазначити, що ця категорія є надзвичайно технологічною та затребуваною в автоматизованих системах моніторингу. За фізичним принципом дії цю групу класифікують на дві досить великі підгрупи. Першу підгрупу формують оптичні методики, в основі яких лежить прецизійна реєстрація та аналіз фізичних явищ поглинання, відбивання або розсіювання спрямованого світлового променя завислими в повітрі мікрочастинками пилу. До другої підгрупи належать електростатичні методи вимірювання, функціонування яких ґрунтується на високоточній фіксації та обчисленні сумарного електричного заряду, що генерується або переноситься хмарою пилових частинок у досліджуваному об'ємі.

При практичному застосуванні методів оптичного аналізу головним критерієм і безпосередньою мірою концентрації пилового забруднення виступає зміна інтенсивності певного виду електромагнітного випромінювання. Зокрема, вимірювальні прилади можуть фіксувати ступінь ослаблення світлового потоку, що виникає в результаті його прямого проходження через оптично щільний шар запиленого повітряного середовища. Альтернативним підходом у межах оптичної групи є вимірювання інтенсивності тієї частини світлового променя, яка була відбита та розсіяна безпосередньо самими мікроскопічними частинками пилу під різними кутами до первинного джерела випромінювання.

Своєю чергою, визначення рівня концентрації пилу за допомогою електростатичних методів спирається на принципи іонізації та вимірювання статичного електричного заряду, який природним або штучним шляхом переносять на своїй поверхні рухомі аерозольні частинки. Крім суто вимірювальних технологій, варто окремо наголосити на тому, що в комплексних автоматизованих системах, які здатні не лише моніторити параметр запиленості, але й проактивно впливати на санітарне очищення повітря, надзвичайно широко використовуються

ефективні фільтраційні методи. У таких випадках безпосередньо в магістральних каналах систем вентиляції, кондиціонування або в конструкціях локальних повітряних очищувачів монтуються спеціалізовані багатоступеневі фільтри, головним призначенням яких є фізичне уловлювання пилу та безпосереднє механічне очищення офісного простору від твердих забруднювачів для підтримання ідеального мікроклімату.

2.4. Аналітичні та апаратні методи вимірювання параметру вологості повітряного середовища

Контроль та точне вимірювання рівня вологості повітряного середовища виступає одним із найважливіших і невід'ємних параметрів комплексної оцінки якості мікроклімату. Цей фізичний показник є критично значущим не лише для сучасних офісних приміщень, але й для надзвичайно широкого спектра інших архітектурних об'єктів: житлових квартир, приватних будинків, виробничих цехів, складських комплексів та спеціалізованих лабораторій. Традиційно рівень відносної вологості вимірюється та кількісно відображається у відсотках, що демонструє ступінь насиченості повітря водяною парою відносно максимально можливого значення за даної поточної температури.

Основним технічним інструментарієм для визначення цього мікрокліматичного параметра є різноманітні класи гігрометрів. Принцип функціонування цих спеціалізованих вимірювальних приладів може спиратися на абсолютно різні фізико-хімічні методи, серед яких у сучасній практиці найчастіше виділяють конденсаційні, ємнісні та сорбційні технології. Зокрема, функціонування сорбційних методів вимірювання ґрунтується на чіткій залежності певних фізичних або електричних властивостей чутливих гігрометричних тіл від обсягу води, яку вони здатні абсорбувати з навколишнього повітря. Цей складний фізичний процес відбувається у стані безперервної динамічної рівноваги з наявною в повітрі водяною парою. У момент досягнення такої термодинамічної рівноваги інтенсивність зустрічних процесів — конденсації молекул води на поверхні сенсора та їхнього зворотного випаровування — стає абсолютно однаковою. Завдяки цьому маса поглиненої вологи стабілізується в часі і стає прямо

пропорційною виключно показнику відносної вологості досліджуваного повітряного середовища [9].

Іншим надзвичайно поширеним і класичним підходом є психрометричний метод, якому притаманна ціла низка вагомих експлуатаційних переваг, зокрема висока точність результатів за умови порівняльної апаратної простоти та загальної надійності вимірювального комплексу. Фундаментальною основою цього методу є термодинамічна залежність інтенсивності процесу випаровування рідини з відкритої водної поверхні від поточного рівня вологості повітряного потоку, що з нею контактує. Технічні пристрої, які функціонують на базі цього фізичного явища, отримали назву психрометрів. У класичному інженерному виконанні до конструктивної схеми психрометра входять два ідентичні термометри — традиційні рідинні (ртутні) або більш сучасні електронні термометри опору. Перший з них, який у метрології прийнято називати «сухим», призначений для безперервної фіксації фактичної температури навколишнього повітря в приміщенні. Другий датчик, відомий як «змочений» або «вологий» термометр, слугує для вимірювання температури безпосередньо на самій поверхні випаровування. Для цього його чутливий резервуар щільно обгортають спеціальним нейтральним гігроскопічним матеріалом (тканиною), який повинен постійно змочуватися хімічно чистою дистильованою водою [9].

Варто також додати, що точне визначення концентрації водяної пари в газових сумішах може успішно реалізовуватися із залученням широкого спектра інших передових електрофізичних методів. Проте в реальній практиці, і зокрема під час проведення професійних метеорологічних або прецизійних кліматичних вимірювань, найбільшого розповсюдження та наукового визнання набули саме ті технології, які базуються на безпосередньому використанні керованих процесів випаровування та наступної конденсації вологи [9]. Остаточний вибір конкретного методу та відповідного типу вимірювального обладнання для фіксації рівня вологості завжди здійснюється з огляду на специфічні умови експлуатації та жорсткість висунутих технічних і санітарних вимог. Висока точність, стабільність показників та експлуатаційна надійність вимірювальної апаратури відіграють вирішальну роль, особливо коли йдеться про просторі офісні приміщення

відкритого типу з масовим скупченням персоналу або ж про спеціалізовані робочі зони, де діють суворі регламенти щодо підтримки підвищеного рівня чистоти повітряного басейну.

Комплексне забезпечення та безперервне підтримання оптимального гідротермічного балансу в офісі є критично важливою задачею системи автоматизації, оскільки будь-які відхилення — як недостатній, так і понаднормовий рівень вологості — провокують цілу низку вкрай негативних наслідків для людей та інфраструктури. З медичної та фізіологічної точок зору, для надійного збереження здоров'я дихальних шляхів працівників необхідно категорично уникати тривалого перебування в умовах критично зниженої вологості. Пересушене повітря неминуче спричиняє швидке пересихання слизових оболонок носоглотки, викликає їхнє хронічне мікроподразнення і, як наслідок, різко та відчутно підвищує загальну вразливість людського організму до різноманітних вірусних та респіраторних інфекцій. Додатково, гострий дефіцит вологи в повітрі вкрай негативно позначається на стані шкірних покривів та волосся співробітників, викликаючи постійне відчуття стягнутості, передчасне лущення та загальний психофізіологічний дискомфорт, що відволікає від виконання робочих завдань.

Протилежна кліматична ситуація — систематичне перевищення нормативного рівня вологості — несе у собі не меншу, а іноді й більшу епідеміологічну загрозу. Надмірно вологе та тепле середовище створює ідеальне поживне підґрунтя для стрімкого розвитку колоній чорної плісняви та патогенних грибків на стінах і в комунікаціях будівлі. Спори цих мікроорганізмів є надзвичайно потужними алергенами та токсинами, що становлять пряму небезпеку для життя і здоров'я людини. Більше того, неправильне або нестабільне регулювання рівня вологості здатне суттєво дестабілізувати роботу суміжних інженерних мереж офісного центру. Це може призвести до критичного зниження енергоефективності систем опалення та вентиляції, спровокувати корозію обладнання або ж перетворити самі повітропроводи на небезпечні осередки розмноження шкідливих бактерій.

Підсумовуючи вищевикладений аналіз, можна з повною впевненістю стверджувати, що лише суворий, автоматизований контроль та безперервне

підтримання оптимального рівня відносної вологості в офісному просторі здатні гарантувати високу якість повітряного середовища та належний рівень комфорту для продуктивної діяльності. Для ефективного досягнення та збереження цього крихкого балансу інженерні рішення повинні обов'язково передбачати глибоку інтеграцію промислових зволожувачів повітря, систем осушення та сучасної припливно-витяжної вентиляції. При цьому алгоритми керування мікрокліматом мають бути достатньо гнучкими, щоб своєчасно враховувати та компенсувати різкі зміни зовнішніх погодних умов і сезонні кліматичні коливання.

2.5. Аналітичні та технічні методи вимірювання температурних параметрів середовища

Температурний режим та загальні показники температури відіграють фундаментальну роль у формуванні та підтримці високої якості повітряного середовища в сучасному офісному просторі. Цей фізичний параметр має комплексний вплив, оскільки від його значень безпосередньо залежить рівень відносної вологості, що, у свою чергу, визначає загальний стан здоров’я, самопочуття та рівень працездатності персоналу, а також забезпечує належні умови для безпечної та безперебійної експлуатації електронної техніки. Відсутність оптимізованого та автоматизованого контролю температури неминуче призводить до порушення процесів природної та штучної циркуляції повітряних мас у приміщенні. Як наслідок, утворюються застійні аеродинамічні зони, що провокує стрімке накопичення та небезпечне зростання концентрації вуглекислого газу (CO_2) та широкого спектра інших шкідливих забруднювачів, суттєво погіршуючи загальний мікроклімат.

З метрологічної точки зору, одним із найважливіших аспектів організації точних температурних вимірювань є правильний вибір єдиної температурної шкали, що гарантує отримання об’єктивних, достовірних та порівнянних даних щодо теплового стану досліджуваного середовища. На сучасному етапі розвитку метрології у глобальній світовій практиці термометрії як фундаментальний еталон широко використовується Міжнародна практична температурна шкала, яка була офіційно прийнята та затверджена Міжнародним комітетом мір і ваг у 1968 році

(широко відома під абревіатурою МПТШ-68) [9]. Відповідно до встановлених світових стандартів, процедура градуювання та первинної повірки абсолютно всіх сучасних засобів вимірювання температури здійснюється з обов'язковою та суворою прив'язкою виключно до нормативів МПТШ-68.

Залежно від базового фізичного принципу дії, всі існуючі методики вимірювання температури, які активно застосовуються у практиці екологічного та санітарного контролю стану природного й робочого середовища, прийнято класифікувати на дві фундаментальні категорії: прямі та непрямі методи [9]. Група прямих методів ґрунтується на практичному застосуванні спеціальних термометричних тіл (ТТ). Фізична суть цього вимірювального процесу полягає в тому, що термометричне тіло безпосередньо вводиться в досліджуване газове чи рідинне середовище і через певний проміжок часу, внаслідок процесів теплообміну, переймає його фактичну температуру, досягаючи стану повної термодинамічної рівноваги. Серед найпоширеніших вимірювальних приладів, що безпосередньо реалізують ці прямі контактні методи, традиційно виділяють класичні рідинні (ртутні) термометри, де функцію термометричного тіла виконує ртуть, яка пропорційно змінює свій геометричний об’єм під впливом температурних коливань. Не менш розповсюдженими та технологічними термометричними тілами є твердотільні терморезистори; у цьому випадку тепловий стан середовища високоточно визначається шляхом електронної фіксації змін їхнього активного електричного опору [9]. Завдяки своїй експлуатаційній надійності, високій точності та відносній апаратній простоті, саме прямі контактні методи вимірювання температури середовища набули найширшого практичного впровадження в сучасних системах моніторингу стану довкілля та мікроклімату [9].

Що стосується групи непрямих методів, то їхня аналітична база повністю спирається на використання строгих математичних та фізичних залежностей певних вторинних характеристик досліджуваного середовища від його поточного теплового стану. Класичним ілюстративним прикладом такого технічного підходу є визначення температури повітряних мас шляхом вимірювання швидкості поширення в них акустичних (звукових) коливань, оскільки цей аеродинамічний

параметр є жорстко температурно-залежним [9]. Окрему, надзвичайно важливу та технологічну підгрупу непрямих методів становлять методики, що ґрунтуються на фундаментальних законах температурного (переважно інфрачервоного) випромінювання фізичних тіл. У фаховій науковій літературі їх прийнято класифікувати як безконтактні або дистанційні методи вимірювання [9]. Сучасні безконтактні технології (такі як пірометрія чи радіометрія) масово використовуються для дистанційного моніторингу температурних полів різноманітних об'єктів земної поверхні, архітектурних споруд чи цілих атмосферних шарів. Вимірювання та глибокий комп'ютерний аналіз інтегральної температури обширних досліджуваних територій або акваторій дозволяє екологам та інженерам оперативно й з високою роздільною здатністю оцінювати, зокрема, і рівень їхнього теплового чи хімічного забруднення [9].

Повертаючись до проблематики оптимізації офісного простору, слід чітко розуміти, що поняття ідеального мікроклімату має подвійну природу. Значення об'єктивно оптимального діапазону температур може суттєво розбігатися з індивідуальними фізіологічними відчуттями та суб'єктивними вподобаннями кожного окремого працівника. Проте існують суворі державні санітарні норми та ергономічні стандарти, які науково обґрунтовують та чітко регламентують мінімальні й максимальні межі задовільних температурних показників для робочих зон тривалого перебування людей. При проєктуванні та повсякденній експлуатації сучасних автоматизованих систем керування кліматом надзвичайно важливо знаходити раціональний компроміс: беззаперечно враховувати базові санітарні норми як фундамент, але водночас надавати гнучку можливість локального регулювання температурних режимів з урахуванням індивідуальних потреб персоналу. Тільки реалізація такого збалансованого та людиноорієнтованого підходу дозволить досягти максимального показника загального комфорту, зберегти високу продуктивність праці команди та гарантувати бездоганну, екологічно безпечну якість повітря в офісному приміщенні.

Висновки до розділу 2

У другому розділі було здійснено ґрунтовний аналіз методів вимірювання

параметрів якості повітря та розроблено загальну структурну схему автоматизованої системи керування мікрокліматом офісного приміщення. За результатами проведеного дослідження спроєктовано архітектуру автоматизованої системи контролю якості повітря (АСКЯПОП), яка концептуально базується на фундаментальних принципах застосування замкнутого контуру зі зворотним зв'язком. Ця система функціонально складається з трьох ключових підсистем: системи керування, що включає центральний мікроконтролер та виконавчі механізми, об'єкта керування, яким виступають фізико-хімічні параметри повітря, та блоку зворотного зв'язку, реалізованого через розгалужену мережу високочутливих датчиків.

Визначено, що для оперативної фіксації мікрокліматичних змін та забезпечення системи достовірними даними застосовуються інтегровані вимірювальні комплекси. За специфікою визначення шуканої величини всі засоби вимірювання поділяються на прилади прямої дії та прилади порівняння. Їхнім головним завданням є безперервне сприйняття фізичних величин навколишнього середовища та їхня миттєва трансформація в електричний або цифровий сигнал для подальшої математичної обробки обчислювальним блоком.

Окрему увагу було приділено дослідженню аналітичних методів кількісного визначення концентрації дрібнодисперсного пилу. Встановлено, що для автоматизованих систем моніторингу найбільш технологічними та доцільними є сучасні експрес-методи, які реалізуються безпосередньо в газовому потоці без етапу попереднього осадження частинок. До цієї передової групи належать оптичні методики, що фіксують явища поглинання або розсіювання світла, та електростатичні методи, засновані на обчисленні сумарного електричного заряду аерозолів. Разом з тим, проаналізовано апаратні методи визначення відносної вологості повітря. З'ясовано, що основним інструментарієм у цій сфері виступають різноманітні класи гігрометрів та психрометрів, принцип дії яких найчастіше ґрунтується на застосуванні конденсаційних, ємнісних, сорбційних та класичних психрометричних технологій.

Оцінюючи технічні методи вимірювання температури, було визначено їхню класифікацію на прямі контактні та непрямі (безконтактні) методи. Доведено, що у

повсякденній практиці контролю офісного мікроклімату найширшого впровадження набули саме прямі методи із застосуванням надійних терморезисторів. При цьому критично важливою умовою є те, що градуювання абсолютно всіх сучасних засобів вимірювання температури має суворо і неухильно відповідати стандартам Міжнародної практичної температурної шкали (МПТШ-68).

Підсумовуючи результати розділу, можна констатувати, що здійснений глибокий аналіз фізико-хімічних методів вимірювання та розроблена на його основі структурна схема створюють міцну науково-технічну базу. Вона є необхідним і надійним фундаментом для подальшого проєктування детальної функціональної схеми та розробки спеціалізованого програмно-алгоритмічного забезпечення комплексної системи керування.

РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ ТА АЛГОРИТМУ РОБОТИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ МІКРОКЛІМАТУ

3.1 Розробка алгоритму роботи автоматизованої системи керування якістю повітря в офісному приміщенні

Проєктування та розробка логіки функціонування автоматизованої системи керування якістю повітряного середовища є одним із найважливіших етапів створення надійного кліматичного комплексу для офісних приміщень. Будь-яка програмна реалізація керуючого алгоритму обов'язково розпочинається з базового етапу первинної ініціалізації, підготовки та системного налаштування. Ця стартова процедура має фундаментальне значення, оскільки вона дозволяє керуючому мікроконтролеру продіагностувати технічний стан та підтвердити справність кожного підключеного апаратного вузла. У разі виявлення апаратного збою або відсутності відгуку від певного модуля, алгоритм передбачає миттєве генерування тривожного сповіщення для інформування користувача про виникнення технічної проблеми (див. рис. 3.1).

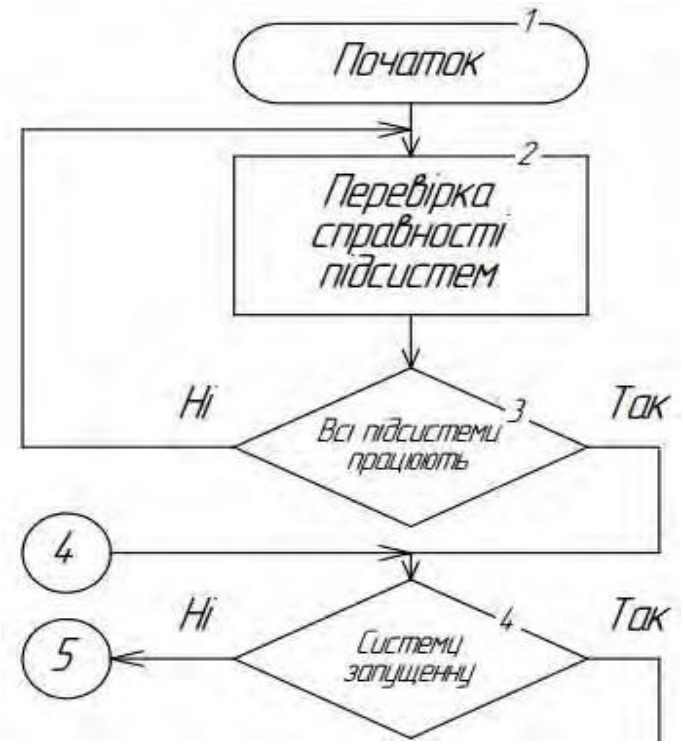


Рисунок 3.1 – Блок-схема етапу ініціалізації та попереднього налаштування апаратно-програмного комплексу

Процедура системного налаштування та перевірки експлуатаційної працездатності містить спеціалізований діагностичний блок. Його головним завданням є послідовне опитування всіх інтегрованих у мережу вимірювальних датчиків та виконавчих пристроїв. У процесі цього опитування на панелі керування або в інтерфейсі користувача динамічно відображається поточний статус кожного системного елемента. Якщо під час виконання діагностичних умов певний компонент ідентифікується як непрацездатний, програмне забезпечення робить спробу програмного скидання та автоматичного переналаштування цього модуля. У випадку невдачі, користувач через мобільний або веб-додаток отримує деталізоване повідомлення про те, який саме вузол вийшов з ладу і потребує фізичної перевірки чи технічного обслуговування. Наявність такого багаторівневого діагностичного механізму є критично необхідною, адже система повинна володіти надійними алгоритмами самозахисту та гарантувати безпеку експлуатації. Ігнорування несправності модуля може призвести до хибних вимірювань, що, у свою чергу, зумовить неадекватну реакцію виконавчих механізмів, значне погіршення санітарного стану повітря в офісі або навіть виникнення аварійних ситуацій. Після успішного завершення фази діагностики та підтвердження готовності всіх компонентів, алгоритм переходить до перевірки глобальної умови щодо дозволу на початок вимірювального циклу. Цей логічний бар'єр є необхідним інструментом енергозбереження та безпеки, який гарантує, що система буде проявляти активність виключно за наявності такої потреби, а також дозволяє користувачеві в будь-який момент безпечно деактивувати комплекс дистанційно.

Після вдалої ініціалізації та надходження команди на старт, система запускає основний робочий цикл безперервного моніторингу мікрокліматичних параметрів, який виконується у суворо визначеній послідовності. Кожен етап цього глобального вимірювального циклу реалізується через окремі логічні блоки, які містять процедури зняття фактичних показників та їхнього математичного порівняння із заздалегідь заданими еталонними нормами.

За результатами цього порівняння мікроконтролер приймає рішення: якщо показники знаходяться в межах допустимої норми, відбувається лише реєстрація

даних у пам'яті; якщо ж фіксується відхилення, автоматика генерує керуючий сигнал на запуск відповідних кліматичних агрегатів для якнайшвидшої нормалізації середовища. Першочерговим кроком у цій послідовності є зняття теплових показників офісного простору (див. рис. 3.2).

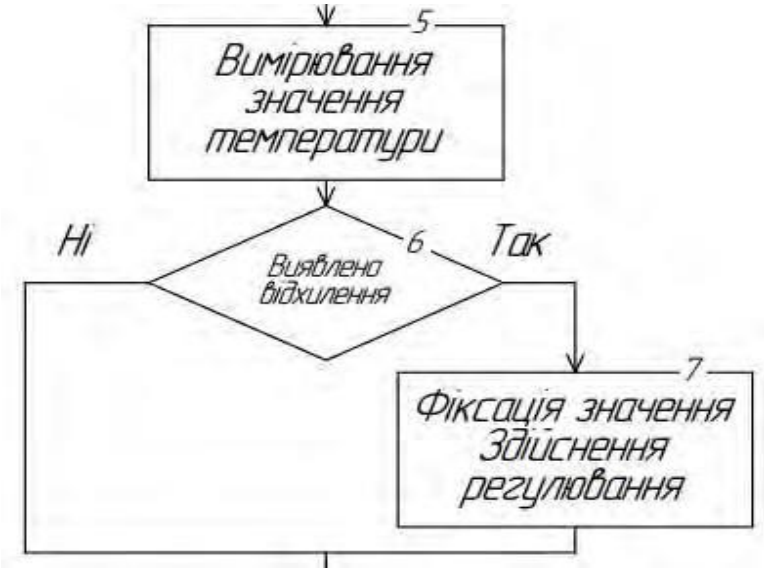


Рисунок 3.2 – Алгоритмічний блок контролю та стабілізації температурного режиму

На етапі температурного контролю здійснюється паралельне зчитування даних з усіх термальних датчиків, розподілених по приміщенню. Отримані масиви значень порівнюються з цільовим температурним профілем. Якщо алгоритм виявляє, що в якійсь із робочих зон офісу температура вийшла за межі комфортного та санітарно допустимого діапазону, негайно ініціюється процес активного термального регулювання. Залежно від знаку температурної різниці (переохолодження чи перегрів), контролер віддає команду на активацію систем опалення, увімкнення електричних конвекторів або ж, навпаки, запуск систем кондиціонування для охолодження повітряних мас.

Безперервно продовжуючи цикл, програма переходить до оцінки гідротермічного балансу, розпочинаючи процедуру вимірювання відносної вологості в усіх контрольованих зонах (див. рис. 3.3).

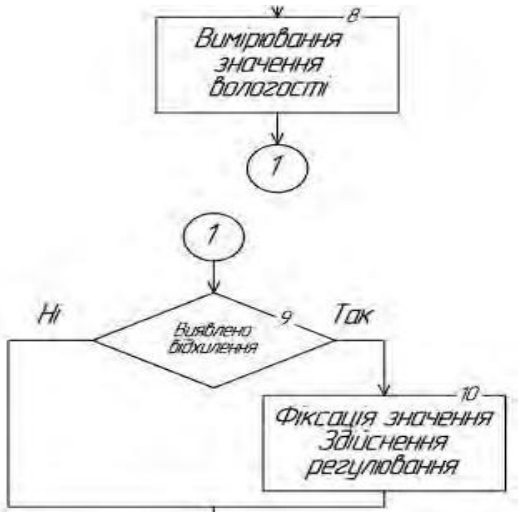


Рисунок 3.3 – Структура алгоритму моніторингу та регулювання відносної вологості

У межах цього логічного блоку відбувається збір телеметрії з гігрометричних датчиків, розташованих у кабінетах. Актуальні значення вологості не лише зберігаються в базі даних для подальшої аналітики, але й проходять жорстку процедуру порівняння з еталонними межами. Якщо виявляється критичне пересихання або надмірне перезволоження повітряного середовища у визначеному секторі, алгоритм формує керуючі імпульси для вмикання зволожувачів, витяжної вентиляції або систем осушення, мета яких — оперативно повернути показники вологості до оптимального балансу.

Наступним, не менш критичним кроком вимірювального циклу є сканування простору на предмет механічного забруднення, а саме — визначення масової концентрації дрібнодисперсних пилових часток у повітрі (див. рис. 3.4).

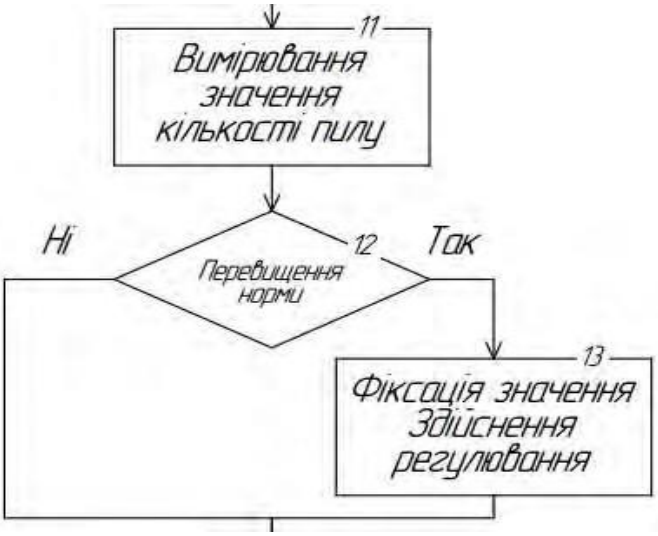


Рисунок 3.4 – Логіка функціонування підсистеми детектування та мінімізації

пилового забруднення

На цьому етапі система приділяє особливу увагу пиловому забрудненню, оскільки підвищена концентрація твердих частинок (PM2.5 та PM10) є вкрай небезпечним фактором для здоров'я персоналу в закритих офісах. Програмний модуль почергово опитує оптичні або лазерні датчики пилу в кожному приміщенні, фіксуючи ступінь забруднення. Далі виконується математичне зіставлення отриманих цифр із гранично допустимими санітарними нормами. У ситуації, коли рівень пилу залишається в межах норми, автоматика обмежується лише записом логів. Однак у разі детектування наднормативної кількості зважених частинок, система миттєво реагує: ініціюється посилена робота припливно-витяжної вентиляції з HEPA-фільтрацією, можуть активуватися локальні очищувачі повітря, а також надсилається інформаційне повідомлення адміністратору щодо необхідності проведення позачергового вологого прибирання.

Одним із найголовніших етапів, що безпосередньо відповідає за екологічну та токсикологічну безпеку працівників, є газоаналітичний контроль. Цей алгоритмічний блок призначений для виявлення високої концентрації шкідливих хімічних сполук, таких як залишки тютюнового диму, летючі органічні речовини або надлишковий вуглекислий газ (див. рис. 3.5).

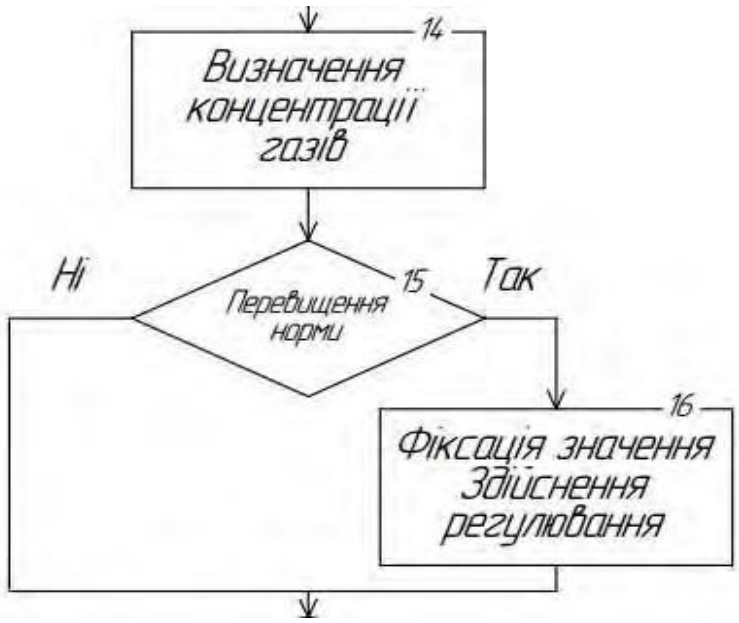


Рисунок 3.5 – Алгоритм газоаналітичного контролю та усунення шкідливих домішок

Під час виконання цієї фази мікроконтролер аналізує дані з мультисенсорних газоаналізаторів. Спектр газів, що підлягають детектуванню, повністю залежить від апаратної комплектації, проте найчастіше сучасні комбіновані датчики здатні одночасно розпізнавати цілий перелік найнебезпечніших забруднювачів. За відсутності хімічних загроз система зберігає поточний стан обладнання. Якщо ж фіксується різке зростання, наприклад, концентрації CO_2 через велике скупчення людей, алгоритм безапеляційно активує режим інтенсивного провітрювання та максимальної продуктивності вентиляційних установок до моменту повної нормалізації газового складу.

Завершальною ланкою в циклі активних вимірювань є перевірка та коригування рівня штучної іонізації простору (див. рис. 3.6).

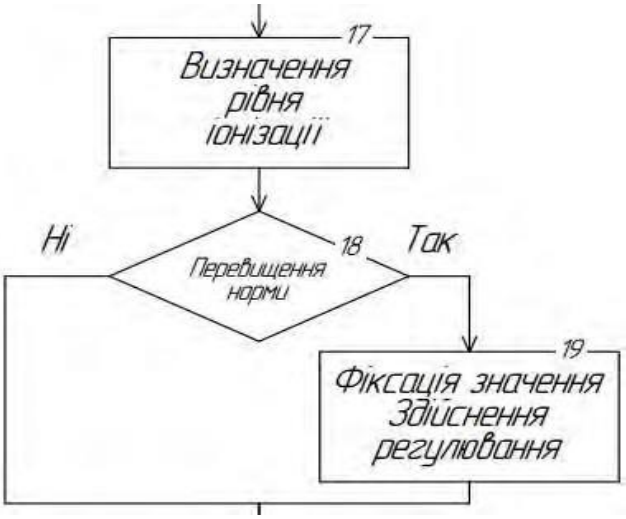


Рисунок 3.6 – Блок керування аероіонним фоном офісного простору

Програма ініціює зняття показників з іонних лічильників. Доведено, що підтримка оптимального аероіонного фону не лише сприяє кращому самопочуттю людей, але й діє як ефективний механізм осадження пилу. Відповідно, алгоритм прагне утримувати цей параметр у вузькому еталонному коридорі. При виявленні дисбалансу або недостатньої кількості негативно заряджених іонів система керування автоматично регулює потужність стаціонарних іонізаторів, запобігаючи при цьому перенасиченню повітря та утворенню побічного озону.

Здійснивши повний прохід по всіх сенсорних модулях, цикл поточного вимірювання вважається виконаним. Після цього алгоритм автоматично повертається до початкового блоку, щоб перевірити наявність глобального дозволу

на продовження роботи. Така циклічна архітектура надає чудову можливість запровадити гнучке планування: користувач через мобільний додаток може налаштувати роботу комплексу за певним часовим графіком або задати фіксовані інтервали між вимірюваннями (наприклад, сканувати середовище кожні 30 або 60 секунд). Подібний підхід дозволяє суттєво оптимізувати обчислювальні ресурси, запобігти передчасному зносу релейних механізмів та забезпечити ідеальний баланс між високою якістю мікроклімату та енергоефективністю. У випадку, якщо алгоритм не фіксує підтверджувального сигналу на продовження роботи (наприклад, після закінчення робочого дня), відбувається плавний перехід обладнання у сплячий або неактивний режим (див. рис. 3.7). У цьому стані система очікує нових зовнішніх команд на пробудження.



Рисунок 3.7 – Алгоритмічний перехід системи в режим очікування

Описана вище логічна послідовність є фундаментальним стрижнем програмного забезпечення. Вона охоплює всі критично важливі аспекти життєдіяльності кліматичного комплексу: від глибокої самодіагностики та прецизійного збору телеметрії до інтелектуального прийняття рішень і безпосереднього фізичного впливу на формування здорового середовища. Для візуалізації повної картини взаємодії всіх описаних програмних модулів, узагальнена архітектура розробленого алгоритму представлена на комплексній графічній схемі (див. рис. 3.8).

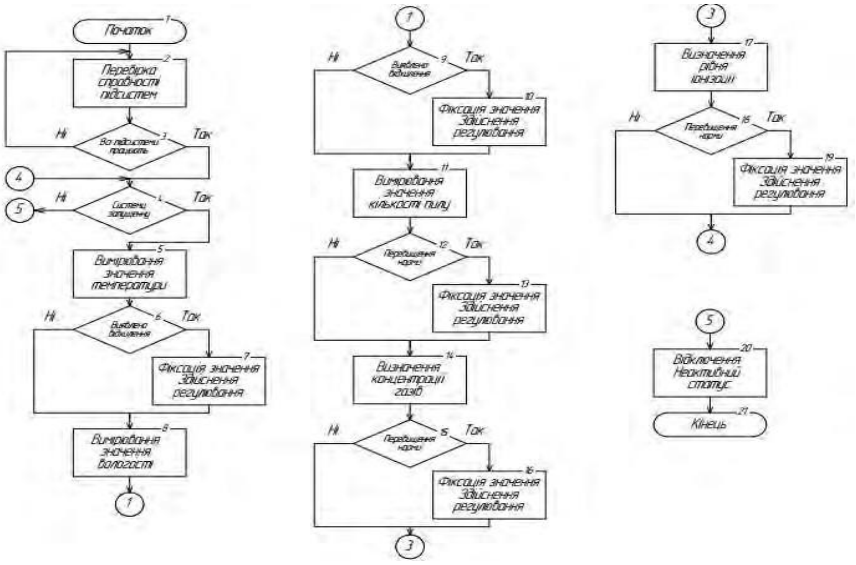


Рисунок 3.8 – Комплексна алгоритмічна блок-схема функціонування автоматизованої системи.

3.2 Детальний опис та принципи організації функціональної схеми розробленої системи

Для глибокого розуміння архітектури, принципів взаємодії апаратних компонентів та логіки роботи розробленого комплексу доцільно детально проаналізувати спроєктовану функціональну схему [9]. Вона наочно ілюструє загальну структуру та топологію автоматизованої системи безперервного регулювання і моніторингу показників якості повітряного середовища в типовому офісному просторі (рисунок 3.9).

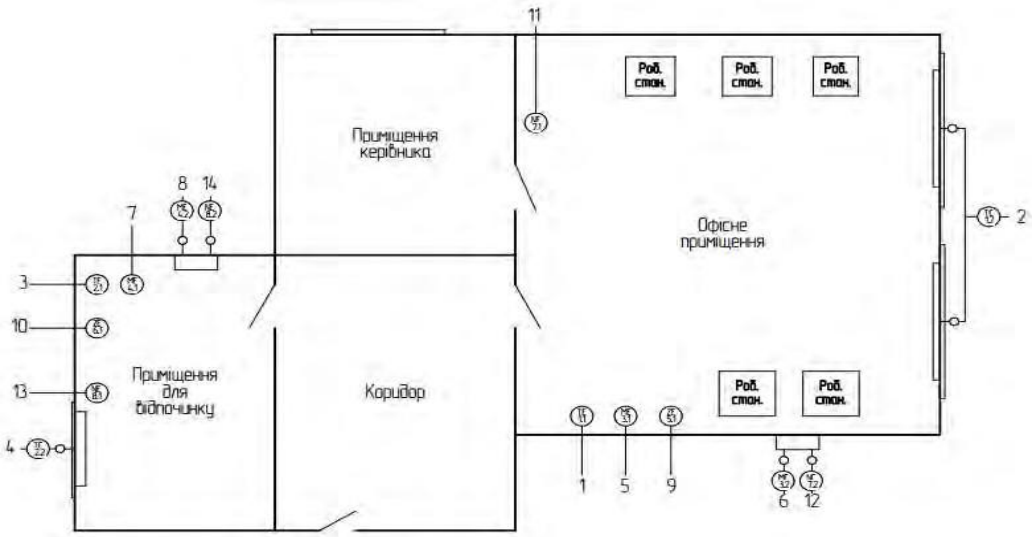


Рисунок 3.9 – Принципова організація та архітектура функціональної схеми апаратно-програмного комплексу контролю мікроклімату

На представленій графічній моделі схематично відображено конфігурацію стандартного офісного приміщення, просторове планування якого передбачає наявність кількох логічно відокремлених зон. До них належать головний робочий кабінет (основний простір офісу), санітарно-гігієнічний вузол (вбиральня), а також спеціалізована неробоча зона, що традиційно відводиться під кімнату для відпочинку та психологічного розвантаження персоналу. Безпосередньо в межах цього робочого простору стратегічно розміщено цілий комплекс високоточних первинних перетворювачів (сенсорів) та керованих виконавчих механізмів. Головна мета інтеграції цього апаратного обладнання полягає у забезпеченні безперервного, автоматизованого вимірювання критичних параметрів мікроклімату, а також у їхній оперативній стабілізації та постійній підтримці в межах оптимальних діапазонів, що суворо регламентуються чинними державними санітарно-гігієнічними нормами та стандартами з охорони праці.

Для більш детального аналізу та системного розуміння апаратної бази, усі задіяні сенсорні пристрої та керовані виконавчі елементи були структуровані та зведені до спеціальної таблиці, яка візуалізована на рисунку 3.10. У цій зведеній відомості надається вичерпний перелік інтегрованих технічних засобів, які формують вимірювальний та керуючий контури запропонованої автоматизованої системи.

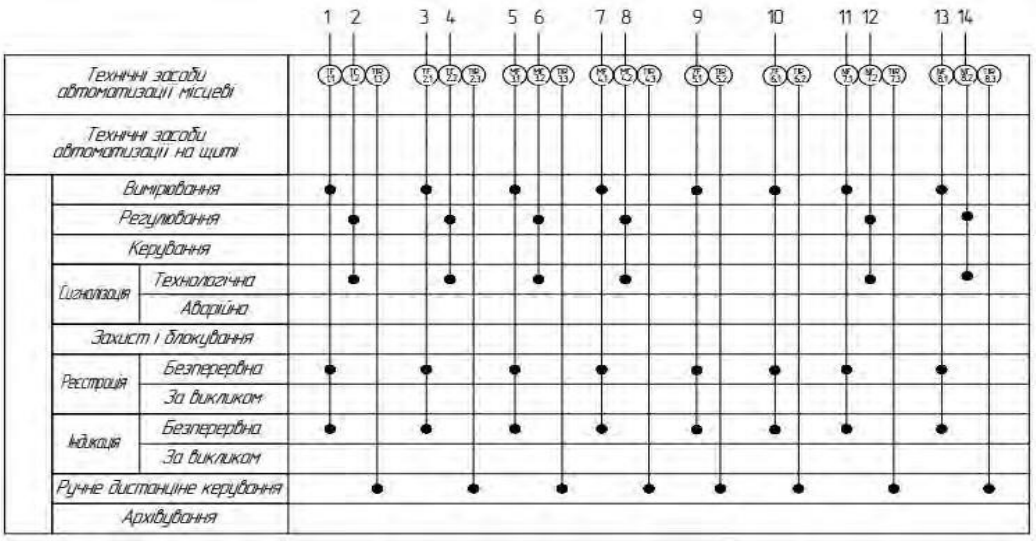


Рисунок 3.10– Зведена специфікація задіяних первинних вимірювальних перетворювачів та виконавчих пристроїв

Відповідно до наведеної вище специфікації, первинний вимірювальний елемент, що позначається маркуванням TE, виконує функцію безперервного прецизійного моніторингу температурного режиму безпосередньо в приміщенні. Зібрані телеметричні дані він передає дистанційним каналом зв'язку до центрального обчислювального ядра системи. Отримавши та проаналізувавши цю інформацію, контролер ініціює роботу відповідного виконавчого механізму під індексом TC. У ролі такого механізму найчастіше виступає електричний конвектор, обігрівач або керований елемент системи центрального опалення (електрична батарея). Саме завдяки його адаптивній роботі відбувається компенсація тепловтрат та підтримання заданого еталонного рівня температури. Наступним критично важливим компонентом є датчик QE, прямим призначенням якого є високоточне визначення відносної вологості повітряних мас в офісі з подальшою трансляцією отриманих показників у дистанційному режимі на головний пульт керування. За нормалізацію цього мікрокліматичного параметра відповідає виконавчий пристрій QC, функцію якого переважно виконує інтегрована система кондиціонування або автоматизований промисловий зволожувач. Варто зауважити, що процес стабілізації гідротермічного балансу є комплексним та багатовимірним, тому для досягнення ідеального рівня вологості система керування може паралельно та синхронно задіювати опалювальні прилади для нагрівання та осушення повітря.

Окрім базових кліматичних показників, система забезпечує суворий контроль механічного забруднення простору. Для цього використовується елемент ZE — спеціалізований сенсор, що аналізує поточний рівень дрібнодисперсного пилового забруднення і миттєво відправляє масив даних на мікроконтролер для здійснення подальшої математичної обробки. Оскільки автоматизоване фізичне видалення пилу за допомогою лише кліматичного обладнання є малоефективним, підтримка ідеальної чистоти вимагає безпосереднього втручання людини, тобто регулярного вологого прибирання силами персоналу офісу або професійної клінінгової служби. Проте інтелектуальна роль системи в цьому процесі полягає в тому, що вона здатна своєчасно генерувати візуальні чи звукові тривожні сповіщення та оперативно інформувати користувачів про небезпечне перевищення допустимої концентрації

пилових часток у повітряному басейні. Нарешті, екологічна безпека робочого середовища гарантується завдяки функціонуванню високочутливого вимірювального елемента МЕ, який здійснює перманентний газовий аналіз. Його головне завдання — виявляти в офісному повітрі наявність шкідливих чи небажаних газових домішок, таких як токсичний цигарковий дим, або ж фіксувати понаднормове накопичення діоксиду вуглецю (CO_2), спричинене щільним скупченням людей. У разі детектування критичних концентрацій, що виходять за межі норми, мікроконтролер без затримок активує виконавчий пристрій МС, яким виступає система примусової припливно-витяжної вентиляції. Її інтенсивна робота дозволяє швидко здійснити необхідний повітрообмін, видалити відпрацьовані маси та кардинально знизити концентрацію шкідливих газів до абсолютно безпечного рівня.

3.3. Аналітичний огляд та обґрунтування вибору апаратних засобів вимірювання мікрокліматичних параметрів

3.3.1. Дослідження та аналіз первинних перетворювачів температури і відносної вологості

Сенсорні пристрої для вимірювання температурних показників виступають фундаментальною та невід'ємною складовою будь-яких сучасних інформаційно-вимірювальних систем. Їхня інтеграція є критично актуальною і для розроблюваної автоматизованої системи контролю якості повітря в умовах сучасного офісу. Ці високотехнологічні прилади здатні з високою точністю фіксувати поточний тепловий стан навколишнього середовища та генерувати об'єктивні числові масиви даних. Отримана інформація відіграє вирішальну роль у процесі безперервного моніторингу та подальшого адаптивного регулювання температурного режиму в приміщенні. Окрім температурних сенсорів, надзвичайно важливе місце в архітектурі систем екологічного моніторингу займають датчики вологості. Їх застосування є абсолютно доречним і технічно обґрунтованим для комплексного клімат-контролю, оскільки рівень насиченості повітря водяною парою має прямий і глибокий вплив на загальну ефективність робочого процесу, фізіологічне

самопочуття персоналу, а також на швидкість розповсюдження та життєздатність шкідливих патогенних бактерій у закритому просторі.

Одним із перших та найпоширеніших на ринку апаратних рішень, яке може бути ефективно задіяне у складі системи контролю якості офісного повітря, є комбінований цифровий модуль вимірювання вологості та температури моделі DHT21 (також відомий під маркуванням AM2301A), зовнішній вигляд якого представлено на рисунку 3.11.



Рисунок 3.11 – Зовнішній вигляд комбінованого цифрового перетворювача температури та вологості DHT21/AM2301A [10]

Як зазначається у технічній документації [10], пристрій DHT21/AM2301A класифікується як сенсор підвищеної точності для синхронного вимірювання температурно-вологісних характеристик, який використовує зручний однопровідний цифровий інтерфейс передачі даних (1-wire). Серед його ключових конструктивних особливостей та експлуатаційних переваг виробник виділяє наявність надійного захисного пластикового корпусу, що теоретично дозволяє монтувати датчик навіть за межами приміщення, в умовах відкритого вуличного середовища. Додатковою перевагою є відсутність потреби в організації будь-якої складної зовнішньої апаратної обв'язки. Згідно з експлуатаційними рекомендаціями до цього сенсора, для забезпечення стабільної передачі сигналу не варто перевищувати довжину з'єднувальних комунікацій більше ніж на 30 метрів при номінальній напрузі живлення 5 В, та обмежувати її до 100 сантиметрів при використанні логіки 3,3 В. Також для досягнення заявленої в офіційному паспорті (даташиті) точності вимірювань настійно рекомендується використовувати підтягувальний резистор номіналом 5,1 кОм [10]. Аналізуючи загальні технічні

специфікації цього компонента, слід відзначити його тридротовий тип фізичного підключення та цифровий стандарт інтерфейсу. Забезпечувана точність температурної шкали становить 0,1 ºС, при цьому загальний робочий діапазон вимірювання вологості охоплює весь спектр від 0 до 100%, а вимірювання температури гарантується в межах від екстремальних -40 до +80 ºС. Абсолютна похибка при фіксації відносної вологості не перевищує ± 2% RH, тоді як точність температурних вимірювань тримається в межах похибки ± 0,5%.

Наступним технологічним пристроєм, що заслуговує на глибокий аналіз у рамках даного дослідження, є спеціалізований датчик вологості та температури модифікації DHT22, конструкцію якого проілюстровано на рисунку 3.12.



Рисунок 3.12 – Візуальне представлення вимірювального модуля мікроклімату серії DHT22 [10]

Зазначений модуль являє собою висококласний цифровий вимірювальний прилад, який також спроможний забезпечувати підвищену точність збору даних. Його застосування є особливо доречним та обґрунтованим у тих інженерних системах, архітектура яких вимагає суворого дотримання режимів ультранизького енергоспоживання у поєднанні з високою експлуатаційною надійністю. Цей сенсор, аналогічно до більшості споріднених пристроїв своєї лінійки, зберігає стабільну працездатність при подачі напруги живлення в діапазоні від 3,3 до 6 В. Як і попередня модель, він допускає організацію фізичного підключення із застосуванням подовжених провідникових ліній. У контексті побудови масштабної офісної мережі буде цілком доречним організувати на його базі окремий

автономний вузол, який зможе безперебійно транслювати зібрану телеметрію в дистанційному режимі. Звертаючись до паспортних характеристик датчика на базі чипа AM2302 [10], варто підкреслити його цифровий тип обробки сигналу з базовою роздільною здатністю 0,1 ºС. Діапазон реєстрації вологості традиційно становить від 0 до 100%, а температурний ліміт коливається в межах від -40 до +80 ºС. Гарантована точність вимірювання відносної вологості дорівнює ± 2% RH, а температурна похибка не перевищує ± 0,5 градуса Цельсія. Прилад комплектується чотирма контактними виводами, відзначається заявленим ультранизьким споживанням струму та абсолютно не вимагає встановлення додаткових компонентів обв'язки. Враховуючи те, що цей пристрій належить до середньої цінової категорії, але при цьому демонструє високі показники надійності та прецизійності, він є надзвичайно раціональним і доречним вибором для інтеграції в автоматизовані комплекси контролю якості повітря як в офісах, так і в системі «розумний будинок».

Ще одним перспективним вимірювальним компонентом, який варто детально розглянути під час вибору апаратної бази, є компактний датчик вологості та температури моделі AM2320, зовнішній вигляд якого наведено на рисунку 3.13.



Рисунок 3.13 – Конструктивне виконання сенсора температури та відносної вологості AM2320 [10]

Аналізований сенсор також функціонує на базі цифрових алгоритмів обробки і здатний забезпечувати вимірювання з достатньо високим рівнем точності. Однак варто об'єктивно зазначити, що він позиціонується в більш бюджетному ціновому сегменті і володіє дещо скромнішими технічними показниками у прямому

порівнянні з флагманськими моделями, розглянутими раніше. Незважаючи на це, його ключовою перевагою залишається екстремально низьке енергоспоживання, що відкриває широкі перспективи для його успішної інтеграції у портативні вимірювальні модулі з тривалим автономним циклом роботи від акумуляторних батарей. Вивчаючи заводські специфікації, можна виділити такі базові параметри: цифровий тип детектора з використанням поширеної промислової шини передачі даних I2C. Робочий діапазон фіксації відносної вологості тут дещо звужений і становить від 1 до 99%, тоді як температурний спектр залишається незмінним — від -40 до +80 °C. Паспортна точність реєстрації вологості декларується на рівні ± 3% RH, роздільна здатність шкали температури становить 0,1 °C при загальній допустимій похибці вимірювання ± 0,5 °C. Модуль стабільно функціонує при напрузі живлення від 3,3 до 5,5 В. Важливою експлуатаційною вимогою є дотримання мінімального часового інтервалу між послідовними циклами зчитування показань, який має становити не менше 2 секунд. Пристрій характеризується ультранизьким струмоспоживанням (у сплячому режимі очікування цей показник падає до 10 мкА) та має надзвичайно компактні габаритні розміри, що становлять лише 20x12x4 міліметрів.

Завершуючи огляд приладів цього класу, необхідно звернути увагу на високотехнологічний цифровий датчик температури та вологості серії SHT-31D, візуалізація якого подана на рисунку 3.14.



Рисунок 3.14 – Зовнішній вигляд прецизійного цифрового модуля мікроклімату SHT-31D [10]

Відмінною рисою та головною технологічною перевагою даного мікрочипа є його складна внутрішня архітектура [10]. Вона включає в себе інтегровану схему первинної обробки та потужного посилення аналогового сигналу, виділений блок

незалежної пам’яті для зберігання заводських калібрувальних коефіцієнтів, високоточний аналого-цифровий перетворювач (АЦП), а також вбудовану схему безпечного скидання живлення. Завдяки такому багатому апаратному оснащенню, цей сенсор може бути надзвичайно ефективно застосований для розробки та реалізації складних автоматизованих алгоритмів у складі центральної системи контролю якості повітря в офісних приміщеннях. Як і його аналоги, модуль оптимізований для систем з низьким енергоспоживанням. Його технічні можливості [10] включають фіксацію температури в межах від 0 до +90 °C з безпрецедентно високою точністю, де похибка становить всього +/- 0.2 °C. Похибка визначення діапазону відносної вологості також є мінімальною і не перевищує 2%. Зв'язок із мікроконтролером здійснюється за допомогою стандартного протоколу I2C. Час відгуку при скануванні показників вологості становить близько 8 секунд. Модуль вимагає живлення в межах від 2,15 до 5,5 В, споживаючи при цьому мінімальну потужність на рівні 5 мВт при напрузі 2,4 В. При цьому загальний діапазон робочих температур, при яких чип зберігає свою фізичну цілісність, коливається від глибоких -40 до екстремальних +125 °C.

3.3.2. Дослідження та вибір апаратних модулів для детектування пилового забруднення

Спеціалізовані датчики для визначення концентрації пилу масово застосовуються у переважній більшості сучасних комплексів забезпечення екологічної якості повітря. Сфери їхнього впровадження охоплюють величезний спектр різноманітних галузей: від важкої промисловості та об'єктів охорони здоров’я до комерційних бізнес-центрів та звичайних офісних приміщень. З огляду на це, виникає гостра необхідність детально проаналізувати наявні на ринку сенсори, які адаптовані для використання в автоматизованих інженерних системах, та визначити серед них найбільш оптимальні і збалансовані варіанти. Першим претендентом для глибокого вивчення є популярний модуль оптичного детектора пилу моделі GP2Y1010AU0F, конструкція якого зображена на рисунку 3.15.



Рисунок 3.15 – Зовнішній вигляд оптичного детектора дрібнодисперсних частинок GP2Y1010AU0F [10]

У технічних специфікаціях до цього пристрою [10] наголошується, що він володіє достатньою роздільною здатністю для ідентифікації в повітряному потоці надзвичайно дрібних зважених частинок з діаметром понад 0,8 мкм, завдяки чому він здатен ефективно розпізнавати навіть легкий сигаретний дим. Прилад спроєктовано з урахуванням сучасних вимог щодо низького енергоспоживання і комплектується вбудованим стабілізатором напруги, що дозволяє йому безперебійно функціонувати в умовах нестабільного або широкого діапазону живлячої напруги. Метрологічні характеристики сенсора є досить показовими: його чутливість досягає показника 0,5 В на кожні 100 мкг/м3 виявлених частинок, при загальному ефективному діапазоні вимірювання до 500 мкг/м3. Пристрій потребує для своєї роботи напругу живлення в коридорі від 2,5 В до 5,5 В, при цьому його максимальний робочий струм не перевищує 20 мА. Допустимий температурний режим експлуатації становить від -10 °C до +65 °C. Прилад виконаний у компактному форм-факторі з габаритними розмірами 63,2 × 41,3 × 21,1 міліметрів, а діаметр спеціального аеродинамічного отвору для забору повітря дорівнює 9,0 мм. Завдяки таким параметрам, цей компонент може бути успішно інтегрований як базовий елемент у складні багатоступеневі системи очищення повітря, інтелектуальні комплекси кондиціонування, станції моніторингу мікроклімату, а також виконувати роль прецизійного детектора небезпечної фракції PM2.5. Проведений аналіз підтверджує, що розглянутий датчик повною мірою відповідає всім суворим інженерним вимогам. Це дозволяє впевнено

використовувати його як основний базовий модуль підсистеми моніторингу пилового забруднення в рамках розроблюваного автоматизованого комплексу керування повітряним середовищем офісу.

Як гідну альтернативу, варто розглянути ще один споріднений електронний пристрій, який може бути застосований для безперервного вимірювання наявності твердих пилових часток та аерозолів у повітрі — це спеціалізований оптичний сенсор пилу і диму моделі GP2Y1010AU0F виробництва компанії SHARP (див. рисунок 3.16).



Рисунок 3.16 – Оптичний аналізатор пилу та задимленості GP2Y1010AU0F від SHARP [10]

Цей японський датчик, за аналогією з попередньо розглянутим модулем, наділений здатністю високоточного вимірювання та ідентифікації поточного рівня пилу і диму у закритому просторі приміщення, підтримуючи здатність фіксувати концентрації забруднювачів аж до позначки 0,6 мг/м3. Його технічні можливості дозволяють широко використовувати цей компонент у розгалужених системах автоматизації мікроклімату, а також у промислових установках припливно-витяжної вентиляції та кондиціонування. Фундаментальний принцип роботи сенсора GP2Y1010AU0F SHARP базується на оптичному методі: високочутливий внутрішній фотодатчик безперервно вимірює ступінь фізичного розсіювання інфрачервоного випромінювання, яке генерується вбудованим світлодіодом і проходить крізь досліджуване повітряне середовище. Важливою технологічною особливістю є те, що процес вимірювання здійснюється не постійно, а в строго імпульсному режимі, що дозволяє радикально знизити обсяг струму, який споживається від первинного джерела живлення [10]. Досліджуючи заводські

специфікації цього модуля, можна виділити такі базові показники: чутливість сенсора становить 0,5 В на кожні 0,1 мг/м3 забруднення. Прилад розрахований на стабільну роботу в температурному коридорі від -10 °С до +65 °С. Середнє енергоспоживання варіюється в межах від 11 до 20 мА при номінальній напрузі живлення від 4,5 до 5,5 В. Загальна потужність, що розсіюється компонентами плати, становить близько 55 мВт. Прилад використовує суто аналоговий тип виходу сигналу, а його фізичні габарити дорівнюють 46,0 × 30,0 × 17,6 міліметрів. Крім того, імпульсний струм споживання досягає пікового значення 20 мА виключно в момент активної фази вимірювання. Унікальною перевагою цієї моделі є здатність апаратно розрізняти природу забруднення (відрізняти сигаретний дим від звичайного побутового пилу) за рахунок формування різних рівнів вихідної напруги. Цикл одного вимірювання займає всього 32 мілісекунди, при цьому час апаратного встановлення необхідних параметрів становить 28 мс. Не менш важливим є той факт, що сенсор виготовлено з повним дотриманням суворих європейських екологічних директив RoHS (2002/95/EC). Підсумовуючи, можна стверджувати, що цей оптичний пристрій є чудовим і високонадійним представником свого класу, який здатен гарантувати бездоганно точне вимірювання концентрації зваженого пилу, мікроскопічних часток та диму. Його інтеграція в архітектуру створюваної системи дозволить реалізувати максимально якісний та надійний контур автоматизованого контролю стану повітря у сучасному офісі.

3.3.3. Аналіз та підбір багатофункціональних газоаналізаторів

Промислові та побутові газоаналізатори є незамінними інструментами, які цілеспрямовано використовуються для глибокого аналізу та визначення точного хімічного складу газових сумішей, що можуть утворюватися або накопичуватися у повітряному басейні. Практичне застосування цих приладів є надзвичайно поширеним у найрізноманітніших наукоємних галузях, і вони об'єктивно виступають критично важливою ланкою у складі автоматизованих комплексів управління якістю повітря в офісних просторах. З огляду на це, виникає потреба ґрунтовно розглянути існуючі різновиди сучасних газоаналізаторів, дослідити їхні апаратні модифікації та проаналізувати ключові аспекти їхнього практичного

застосування в системах вимірювальної автоматики. Насамперед, значний інтерес становить інтегрований комбінований модуль якості повітря, який об'єднує на одній платі одразу два високотехнологічні сенсори — CCS811 та HDC1080. Цей комплекс призначений для комплексного моніторингу базових параметрів мікроклімату, а також для точного визначення концентрації діоксиду вуглецю (CO2) та летючих органічних сполук (VOCs). Візуальне представлення цього модуля наведено на рисунку 3.17.



Рисунок 3.17 – Зовнішній вигляд комбінованої сенсорної платформи CCS811 та HDC1080 для аналізу газів [10]

Завдяки своїй гібридній архітектурі, дана плата спроможна одночасно і з високою точністю проводити вимірювання температури навколишнього середовища та відносної вологості (цю функцію бере на себе чип HDC1080), а паралельно — виявляти присутність та концентрацію широкого спектра газів у повітрі за допомогою сенсора CCS811. Розглядаючи безпосередньо чип CCS811, слід відзначити, що це ультрамініатюрний цифровий датчик оксиду металу (МОКС), який був спеціально спроєктований для інтелектуального контролю якості повітря в приміщеннях. У його архітектуру закладено алгоритми для точного обчислення загального еквівалента концентрації шкідливих летючих органічних сполук (eTVOCs), а також розрахункового еквівалентного вмісту діоксиду вуглецю (eCO2). Унікальною математичною особливістю цього чипа є те, що базове значення вмісту газу піддається алгоритмічній самокорекції. Цей процес відбувається в режимі реального часу, спираючись на актуальні показники температури і вологості, після чого відкалібровані дані автоматично записуються у внутрішні регістри пам'яті CCS811 [10]. Такий підхід робить цей сенсор чудовим,

високоточним представником свого класу, ідеальним для роботи у складі складних автоматизованих вимірювальних мереж. Крім того, він відзначається низьким рівнем енергоспоживання, що є надзвичайно вагомим аргументом при проєктуванні автономних бездротових систем екологічного моніторингу. Детально аналізуючи технічні можливості складової частини — датчика температури та вологості HDC1080 [10], варто відмітити його стабільну роботу в діапазоні температур від глибоких -20 °C до жарких +70 °C. Вологісний сенсор здатен фіксувати показники від 0 до 100% RH з високою 14-бітною роздільною здатністю, де похибка становить не більше ± 2% відносної вологості, а точність повторюваності результатів досягає видатних ± 0,1% RH. Час апаратного відгуку при скануванні вологості займає близько 15 секунд, при цьому безпосередній процес перетворення аналогового сигналу в цифровий триває від 2,5 мс (при 8-бітному розширенні) до 6,5 мс (при 14-бітному). Вбудований термометр демонструє точність ± 0,4 °C у комфортному діапазоні середовища (від +5 до +60 °C), з такою ж високою повторюваністю ± 0,1 °C та аналогічною швидкістю перетворення сигналу. Зв'язок із платою керування здійснюється через цифрову шину I2C на робочій частоті 400 кГц, з використанням апаратної адреси 1000000x (включаючи контрольний біт для читання/запису). Виробник рекомендує живити цей блок стабілізованою напругою 3,3 В. Що стосується другої половини модуля — газоаналізатора CCS811 [10], то його номінальна напруга живлення також становить 3,3 В, при загальній розсіюваній потужності до 60 мВт. Обмін даними відбувається через той самий швидкісний інтерфейс I2C (400 кГц). Динамічний діапазон виявлення летючих органічних сполук (eTVOC) охоплює значення від 0 до 32768 ppb (частин на мільярд), тоді як еквівалент вуглекислого газу (eCO2) фіксується в широкому коридорі від 400 до 32768 ppm. Важливо враховувати, що внутрішні алгоритми автоматичної корекції базової лінії сенсора вимагають періоду адаптації до вихідних умов протягом 24 годин, а після холодного старту пристрою необхідно витримати технологічну паузу не менше 20 хвилин перед початком зчитування достовірних показань.

Продовжуючи пошук оптимальних рішень, доцільно розглянути ще один вузькоспеціалізований модуль — аналізатор якості повітря MICS-5524 TVOC. Цей

газовий детектор також володіє великим потенціалом для включення до загальної апаратної структури системи безперервного контролю мікроклімату в офісі (схематичне зображення наведено на рисунку 3.18).



Рисунок 3.18 – Електрохімічний газоаналізатор MICS-5524 TVOC для виявлення летючих сполук [10]

Електрохімічний датчик моделі MICS-5524 TVOC цілеспрямовано розроблений для оперативного детектування у повітряному просторі широкого спектра небезпечних газів та летючих парів. До його компетенції входить виявлення парів етанолу (у концентрації від 10 до 500 ppm), токсичного чадного газу або CO (від 1 до 1000 ppm), молекулярного водню (від 1 до 1000 ppm), їдкого аміаку (від 1 до 500 ppm), а також вибухонебезпечних вуглеводневих газів, таких як метан, бутан або ізопропан (при концентраціях понад 1000 ppm). Проте архітектурною та функціональною особливістю цього компонента є те, що він не спроможний диференціювати, концентрацію якої саме конкретної речовини він наразі фіксує. Його внутрішня логіка зводиться до генерації загального тривожного сигналу, виходячи з презумпції, що значне перевищення фону будь-якої з перерахованих хімічних сполук автоматично та невідворотно свідчить про критичне зниження якості повітряного середовища [10]. Ознайомлення з технічним паспортом дозволяє виділити такі характеристики пристрою: він належить до класу електрохімічних газових сенсорів та живиться від джерела постійного струму напругою +5 В. Струм, що споживається інтегрованим нагрівальним елементом та вимірювальними ланцюгами, становить від 25 до 35 мА. Віддача результатів вимірювання реалізована виключно у вигляді безперервного аналогового сигналу,

який змінює свою амплітуду пропорційно до загального рівня загазованості. Зважаючи на такі функціональні можливості, цей датчик найдоцільніше використовувати як загальний індикатор або сигналізатор наявності небезпечних газових сумішей у приміщенні. Оскільки він обділений здатністю розпізнавати конкретну хімічну речовину або видавати точні цифрові значення концентрації кожного газу окремо, його застосування у високоточних аналітичних системих може бути дещо обмеженим. Проте, в контексті побудови базової та надійної системи контролю якості офісного повітря, його інтеграція є абсолютно виправданою. Такий підхід дозволить з мінімальними витратами автоматизувати первинний процес виявлення шкідливих викидів, забезпечити їх негайне усунення шляхом активації витяжної вентиляції та вчасно генерувати попереджувальні сигнали для персоналу. Додатковим бонусом є те, що його помірне енергоспоживання сприятиме загальній енергоефективності автономних контрольних систем.

Завершуючи аналітичний огляд апаратного забезпечення, не можна залишити без уваги ще один надзвичайно актуальний та інноваційний елемент — спеціалізований цифровий датчик якості повітря модифікації AGS02MA (зовнішній вигляд якого представлено на рисунку 3.19).

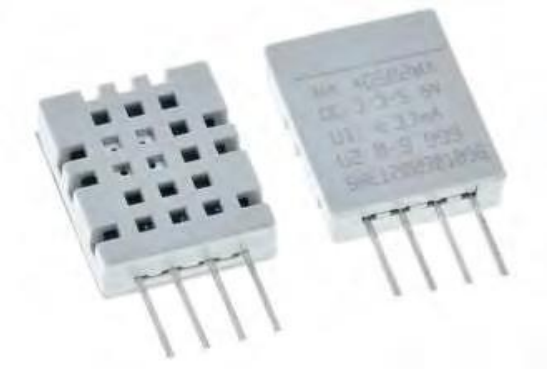


Рисунок 3.19 – Високопродуктивний мікрочип-аналізатор якості повітря AGS02MA [10]

Представлений сенсор AGS02MA позиціонується на ринку як високопродуктивний детектор загального рівня літучих органічних сполук (TVOC). Його принциповою технологічною перевагою є наявність на борту спеціалізованого обчислювального мікрочипа (ASIC), у надрах якого апаратно

реалізовані пропрієтарні алгоритми та передові технології глибокого аналізу і виявлення газових домішок. Завдяки цій інноваційній архітектурі, датчик демонструє неперевершену загальну продуктивність, високу стабільність та надійність у довгостроковій перспективі, поєднуючи ці якості з екстремально низьким енергоспоживанням та відмінною чутливістю до мікроскопічних змін у складі повітря [10]. Згідно з даними розробника, цей напівпровідниковий детектор шкідливих речовин блискуче справляється із завданням виявлення та кількісної оцінки присутності в повітрі молекул етанолу, агресивного аміаку, токсичних сульфідних сполук, парів отруйного бензолу та дрібнодисперсного диму. Детальний розгляд технічної специфікації детектора розкриває наступні паспортні характеристики [10]: прилад спроєктований для роботи з джерелами постійного струму в широкому діапазоні напруг від 3,3 В до 5,5 В. Номінальний робочий струм, що споживається сенсором у штатному режимі, становить 28 ± 5 мА. Процес аналізу відбувається циклічно, з періодом вибірки даних не менше 2 секунд. Для забезпечення максимальної точності хімічних реакцій на поверхні чутливого елемента, конструкція вимагає попереднього апаратного нагрівання тривалістю щонайменше 120 секунд після подачі живлення. Оптимальний кліматичний коридор для експлуатації датчика знаходиться в температурних межах від 0 °C до +50 °C при широкому діапазоні відносної вологості навколишнього середовища від 0 до 95%. Виробник декларує високу довговічність напівпровідникового чутливого шару, прогнозуючи тривалість його безперебійного життя понад 5 років (за умови експлуатації в умовно чистому повітрі при еталонній температурі 25 °C). Для комунікації з керуючим мікроконтролером використовується цифровий стандарт I2C у веденому (slave) режимі з тактовою частотою до 30 кГц. За своєю фізичною природою цей пристрій належить до категорії металооксидних напівпровідникових датчиків газів. Він забезпечує феноменально широкий динамічний діапазон вимірювання — від 0 до 99 999 частин на мільярд (ppb). При цьому його типова абсолютна точність становить близько 25%, що є дуже достойним показником для приладів цього класу (калібрування здійснюється при стандартних умовах: 25 °C та 50% відносної вологості).

Висновки до розділу 3

У третьому розділі було здійснено комплексне проєктування алгоритмів функціонування та розроблено детальну функціональну схему автоматизованої системи керування якістю повітряного середовища в офісному приміщенні. Сформований алгоритм роботи системи охоплює всі критично важливі аспекти клімат-контролю, розпочинаючись із базового етапу первинної ініціалізації, самодіагностики та перевірки технічного стану всіх підключених апаратних вузлів. Після успішного налаштування система переходить до основного робочого циклу безперервного моніторингу, який включає послідовне зняття показників і стабілізацію температури, відносної вологості, концентрації дрібнодисперсного пилу, газоаналітичний контроль шкідливих домішок (зокрема CO_2 та летючих органічних сполук), а також коригування рівня штучної іонізації простору.

Для практичної реалізації розроблених алгоритмів було спроєктовано функціональну схему апаратно-програмного комплексу, яка враховує просторове планування стандартного офісу з його робочими та неробочими зонами. Ця схема стратегічно об'єднує розгалужену мережу високоточних первинних перетворювачів (сенсорів) та керованих виконавчих механізмів, таких як системи опалення, кондиціонування, вентиляції та зволоження. Завдяки такій архітектурі система здатна не лише здійснювати безперервне автоматизоване вимірювання критичних параметрів мікроклімату, але й оперативно генерувати керуючі впливи для їх стабілізації в межах жорстких санітарно-гігієнічних норм.

Окрему увагу в розділі приділено ґрунтовному аналітичному огляду та обґрунтуванню вибору сучасної апаратної бази для побудови вимірювальних контурів системи. Для прецизійного вимірювання температурно-вологісних характеристик проаналізовано лінійку цифрових перетворювачів (зокрема моделі DHT21, DHT22, AM2320 та SHT-31D), які відзначаються високою точністю та ультранизьким енергоспоживанням. Підсистему детектування пилового забруднення запропоновано реалізувати на базі чутливих оптичних аналізаторів серії GP2Y1010AU0F, що здатні ефективно фіксувати наявність твердих мікрочастинок та диму. Для забезпечення екологічної безпеки та контролю хімічного складу повітря обрано інтеграцію високопродуктивних

багатофункціональних газоаналізаторів (таких як комбінований модуль CCS811 з HDC1080, MICS-5524 TVOC та AGS02MA), спроможних оперативно виявляти критичні концентрації вуглекислого газу та летючих органічних сполук.

У підсумку, спроєктований алгоритм, деталізована функціональна схема та ретельно підібраний комплекс сенсорного обладнання формують надійну, автономну та ефективну апаратно-програмну екосистему. Вона повністю готова до практичного впровадження і здатна гарантувати створення та підтримання максимально комфортного, здорового та безпечного мікроклімату для працівників сучасного офісу.

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Охорона праці являє собою складний комплекс нормативно-правових актів, а також організаційно-технічних, соціально-економічних, санітарно-гігієнічних та лікувально-профілактичних заходів. Головною метою цієї багаторівневої системи є гарантування повної безпеки співробітників, захист їхнього життя, збереження фізичного та психологічного здоров’я, а також підтримання високого рівня працездатності протягом усього періоду виконання професійних обов'язків.

Стрімкий науково-технічний прогрес суттєво трансформував умови виробничого середовища, і особливо відчутно це вплинуло на фахівців, зайнятих у сфері інтелектуальної діяльності. Сучасна розумова праця набула надзвичайно високої інтенсивності та безперервної напруженості, що, у свою чергу, вимагає від працівника колосальних витрат не лише когнітивної, але й психоемоційної та фізичної енергії. Такі кардинальні зміни викликали гостру потребу в комплексному підході до вирішення актуальних проблем ергономіки робочого простору, дотримання суворих гігієнічних норм, оптимізації процесів організації праці, а також чіткого законодавчого регламентування періодів активної роботи та повноцінного відпочинку.

На сьогоднішній день збереження здоров'я робочого колективу, гарантування абсолютно безпечних умов виконання посадових інструкцій, а також цілеспрямована ліквідація ризиків виникнення професійних захворювань чи виробничого травматизму виступають одними з пріоритетних завдань сучасного цивілізованого суспільства. Особливий акцент робиться на важливості активного впровадження інноваційних та прогресивних методів наукової організації праці. Цей підхід передбачає максимальне скорочення частки ручної та низькокваліфікованої роботи завдяки засобам автоматизації, а також формування такого робочого мікроклімату, який би гарантовано унеможливлював ймовірність отримання травм або розвитку хвороб, пов'язаних зі специфікою професійної діяльності.

З огляду на актуальність вищезазначеної проблематики, даний розділ магістерського дослідження цілеспрямовано присвячений глибокому аналізу

ключових аспектів охорони праці в галузі інформаційних технологій. Зокрема, у ньому детально розглядаються питання правильної та ергономічної організації індивідуального робочого місця програміста, а також здійснюється комплексне визначення та обґрунтування оптимальних умов праці, які є критично необхідними для безпечної, комфортної та високопродуктивної діяльності фахівця з розробки програмного забезпечення.

4.1 Опис робочого місця програміста

Робочим місцем фахівця вважається визначена зона у просторі приміщення, де інженер-програміст виконує свої безпосередні професійні обов'язки та проводить переважну більшість свого робочого часу. Якщо ця зона є ергономічною, грамотно пристосованою до специфіки інтелектуальної діяльності, а також раціонально організованою з точки зору габаритів, форми та просторового розміщення, вона здатна гарантувати працівникові максимально комфортне положення тіла. Це, у свою чергу, забезпечує досягнення високих показників продуктивності праці за умови критичного зниження як фізичної, так і психоемоційної втоми. Дослідження підтверджують, що завдяки правильній та продуманій організації робочого простору, загальна ефективність роботи інженера може зрости на суттєвий показник, що коливається в межах від 8 до 20 відсотків.

Відповідно до встановлених державних стандартів, зокрема ГОСТ 12.2.032-78, конструктивні особливості робочого місця та просторове взаєморозташування всіх його складових частин повинні суворо відповідати комплексу антропометричних, фізіологічних та психологічних норм. Надзвичайно вагоме значення у цьому процесі відіграє специфіка самої трудової діяльності. Зокрема, під час облаштування робочої зони для програміста вимагається обов'язкове дотримання низки базових умов. До них належить необхідність оптимального та логічного розміщення всього технічного устаткування, що формує робочий комплекс. Також має бути передбачений достатній вільний простір, який не обмежуватиме працівника та дозволятиме йому безперешкодно здійснювати всі потрібні рухи чи просторові переміщення. Крім того, критично важливим є забезпечення належного рівня як природного, так і штучного освітлення для комфортного виконання

професійних завдань, а також суворий контроль за тим, щоб інтенсивність акустичного шуму в приміщенні не перевищувала встановлених допустимих і безпечних меж.

Фундаментальними та невід'ємними компонентами індивідуального робочого місця ІТ-фахівця виступають спеціалізований письмовий або комп'ютерний стіл та ергономічне крісло. Специфіка професії передбачає, що базовим робочим положенням тіла є поза сидячи. Саме таке положення в просторі генерує найменший рівень фізичної стомлюваності для програміста під час тривалих сесій кодування. Грамотне та раціональне планування робочої зони обов'язково передбачає підтримання чіткого порядку, а також постійне, логічно обґрунтоване розміщення всіх необхідних предметів, технічних засобів праці та робочої документації. Головне правило ергономіки полягає в тому, що всі речі, які використовуються працівником найчастіше, повинні розташовуватися в зоні максимально швидкої та легкої досяжності в межах робочого столу.

У контексті організації простору виділяють поняття моторного поля, яке являє собою визначену площу навколо робочого місця, де людина здатна фізично здійснювати різноманітні рухові маніпуляції. У межах цього поля визначається максимальна зона досяжності рук — це специфічна ділянка моторного простору, яка обмежується уявними дугами, що їх описують повністю витягнуті руки працівника під час їхнього руху безпосередньо в плечовому суглобі. Водночас виокремлюють і оптимальну робочу зону. Вона являє собою ту частину простору моторного поля, яка обмежується дугами, що описуються передпліччями під час їхнього руху в ліктьових суглобах, за умови, що лікті мають надійну точку опори, а плечовий відділ залишається у відносно нерухомому стані.

У процесі проєктування або вибору письмового столу для програміста слід обов'язково брати до уваги кілька ключових критеріїв. Насамперед, висота стільниці має підбиратися таким чином, щоб працівник мав змогу сидіти абсолютно вільно, перебуваючи в природній та зручній позі, маючи можливість повноцінно спиратися на підлокітники крісла. Нижня архітектура столу повинна бути сконструйована так, щоб гарантувати достатньо вільного місця для комфортного розташування ніг, аби фахівець не був змушений постійно підгинати

їх під себе чи сидіти в неприродному положенні. Робоча поверхня столу обов'язково повинна володіти матовими властивостями або мати спеціальне антивідблискове покриття, яке повністю виключає виникнення світлових бліків у полі зору людини. Додатково, конструкція столу має передбачати наявність вбудованих або приставних висувних ящиків у кількості не менше трьох штук, які є необхідними для зручного та систематизованого зберігання робочої документації, лістингів коду, дрібного канцелярського приладдя та особистих речей працівника.

Не менш значущим та критично важливим елементом для забезпечення фізичного здоров'я програміста є робоче крісло. При розробці конструкції або виборі такого крісла головним орієнтиром виступає те, що за будь-якого робочого положення тіла спеціаліста його поза має залишатися фізіологічно правильною та обґрунтованою, тобто просторове положення всіх частин тіла повинно бути максимально збалансованим. Для того щоб повною мірою задовольнити всі фізіологічні та анатомічні потреби, які випливають із біомеханічного аналізу пози людини під час тривалого сидіння, конструкція робочого сидіння має відповідати низці строгих параметрів. Зокрема, воно повинно допускати вільну зміну положення тіла, забезпечуючи безперешкодне переміщення тулуба та кінцівок відносно одне одного. Крім того, крісло має обов'язково оснащуватися надійним механізмом регулювання висоти сидіння в діапазоні від 400 до 550 міліметрів, щоб легко адаптуватися під індивідуальний зріст конкретної працюючої людини. Поверхня самого сидіння повинна мати злегка увігнуту анатомічну форму, а спинка крісла має бути спроєктована з невеликим ергономічним нахилом назад для ефективного зняття навантаження з хребетного стовпа.

Формування сприятливих умов для трудової діяльності та грамотне естетичне оформлення офісного простору відіграють надзвичайно важливу роль не лише у фізичному полегшенні праці, але й у підвищенні загальної привабливості робочого процесу, що в кінцевому підсумку позитивно позначається на продуктивності розробника. Кольорове оформлення інтер'єру приміщення та робочих меблів має бути підібране так, щоб максимально сприяти комфортному зоровому сприйняттю та підтримці гарного емоційного настрою в колективі. Для службових кабінетів, де фахівці виконують переважно одноманітну, проте складну інтелектуальну роботу,

яка вимагає тривалого зосередження та високого рівня нервово-емоційної напруги, рекомендується застосовувати фарбування у спокійних, ненав'язливих тонах. Найкраще для цього підходять малонасичені, пастельні відтінки холодного зеленого або м'якого блакитного кольорів. Підсумовуючи всі наведені вимоги до організації робочого простору, варто зазначити, що для створення ідеальних та безпечних умов праці програміста абсолютно необхідно здійснювати комплексний контроль та обов'язково враховувати такі фундаментальні фактори, як якість освітленості, рівень акустичного навантаження та підтримка оптимальних параметрів мікроклімату в приміщенні.

4.2 Організація системи освітлення робочої зони програміста

Грамотно спроєктоване та раціональне освітлення робочого простору виступає одним із фундаментальних чинників, які безпосередньо визначають загальну ефективність професійної діяльності фахівця. Воно відіграє критичну роль у профілактиці виробничого травматизму та запобіганні розвитку хронічних професійних захворювань. Оптимальна організація світлового середовища формує максимально сприятливі та безпечні умови для роботи, що автоматично стимулює зростання загальної працездатності та підвищує показники продуктивності праці. Світлове забезпечення безпосередньо на робочому місці розробника програмного забезпечення має бути налаштоване таким чином, щоб фахівець мав змогу виконувати свої щоденні завдання без будь-якого дискомфорту чи надмірної напруги для зорового апарату. Процес швидкої стомлюваності органів зору зазвичай провокується кількома основними факторами, до яких належать хронічна нестача світла, його надмірна та засліплююча інтенсивність, а також некоректно підібраний кут падіння світлових променів на робочу поверхню.

Дефіцит освітленості змушує очі постійно напружуватися, що неминуче призводить до розсіювання уваги, зниження концентрації та швидкого настання передчасної фізичної і ментальної втоми. З іншого боку, занадто яскравий світловий потік провокує ефект засліплення, викликає гостре подразнення слизової оболонки та відчуття різі в очах. Крім того, неправильно спрямоване джерело світла здатне утворювати на моніторі та столі глибокі різкі тіні або яскраві

відблиски, що суттєво дезорієнтує працівника та заважає нормальному сприйняттю інформації. У сукупності всі ці негативні явища не лише знижують якість роботи, але й можуть стати прямою причиною нещасних випадків на виробництві або розвитку стійких патологій зору. Саме тому процедура точного, науково обґрунтованого розрахунку параметрів освітленості набуває винятково важливого значення при облаштуванні офісного простору.

Система штучного освітлення традиційно реалізується із застосуванням електричних джерел світла, які глобально поділяються на дві основні категорії: класичні лампи розжарювання та більш сучасні газорозрядні люмінесцентні лампи. Для забезпечення потреб розглядуваного робочого місця передбачається використання саме люмінесцентних джерел світла. Їхній вибір цілком виправданий низкою беззаперечних експлуатаційних та економічних переваг порівняно зі звичайними лампами розжарювання. Насамперед, за своїми спектральними характеристиками генерований ними світловий потік є максимально наближеним до природного сонячного світла, що робить його фізіологічно комфортним для людського ока. Крім того, вони характеризуються значно вищим коефіцієнтом корисної дії, який перевищує аналогічний показник ламп розжарювання в середньому у півтора-два рази. Також ці лампи демонструють підвищені параметри світловіддачі, залишаючи застарілі аналоги позаду у три-чотири рази, та відзначаються набагато тривалішим експлуатаційним ресурсом, що суттєво зменшує загальні витрати на їхнє періодичне обслуговування та заміну.

Процедура математичного розрахунку параметрів освітлення у даному дослідженні виконується для типового робочого кабінету, загальна площа якого становить 15 квадратних метрів. При цьому габаритна ширина приміщення дорівнює 3,5 метра, а висота стелі сягає 4 метрів. Для виконання розрахунків найбільш доцільним є застосування класичного методу коефіцієнта використання світлового потоку. Щоб коректно обчислити необхідну кількість освітлювальних приладів, першочергово слід визначити загальний світловий потік, який має падати на розрахункову робочу поверхню. Це значення обчислюється за допомогою наступної спеціалізованої формули:

$$F = (E \cdot K \cdot S \cdot Z) / n$$

У наведеній математичній моделі змінна F позначає шуканий розрахунковий світловий потік, який вимірюється в люменах (Лм). Параметр E відповідає за нормований показник мінімальної освітленості, виражений у люксах (Лк). Цей показник обирається на основі спеціальних нормативних таблиць залежно від характеру зорової роботи. Оскільки діяльність програміста вимагає високої концентрації та тривалого фокусування на дрібних деталях інтерфейсу, її класифікують як роботу високої точності. Зважаючи на це, при використанні газорозрядних ламп мінімально допустима норма освітленості приймається на рівні E = 300 Лк. Змінна S у формулі відображає загальну площу приміщення, що підлягає освітленню, і для поточного розрахунку вона становить 15 м2. Показник Z являє собою коефіцієнт нерівномірності освітлення, тобто відношення середнього рівня освітленості до його мінімального значення; у стандартних інженерних розрахунках він зазвичай приймається в межах від 1,1 до 1,2. Змінна K вказує на коефіцієнт запасу, призначення якого полягає у компенсації неминучого поступового зниження інтенсивності світлового потоку ламп через їхнє природне старіння та фізичне забруднення світильників пилом під час експлуатації. Це значення також регламентується довідковими таблицями для різних типів приміщень, і в умовах даного офісу коефіцієнт запасу K дорівнює 1,5. Нарешті, дільник n (який в літературі часто позначається літерою η) репрезентує коефіцієнт використання світлового потоку конкретної освітлювальної установки, орієнтовне значення якого для подібних розрахунків коливається в діапазоні від 1,1 до 1,2.

4.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Поняття небезпеки охоплює надзвичайно широкий спектр явищ, різноманітних фізичних та хімічних процесів, матеріальних об’єктів, інформаційних потоків та безпосередньо самих людей, які здатні провокувати вкрай небажані наслідки. Такі наслідки найчастіше проявляються у формі суттєвого погіршення стану фізичного чи психологічного здоров’я, прямої загрози життю людини, а також у вигляді нанесення масштабної шкоди навколишньому природному середовищу та різноманітним об’єктам господарської діяльності.

Багатовіковий життєвий досвід людства переконливо доводить, що потенційну шкоду може приховувати в собі абсолютно будь-яка сфера життєдіяльності. Це стосується не лише безпосередньої роботи на промисловому виробництві чи в умовах сучасного офісу, але й різноманітних видів активного та пасивного відпочинку, повсякденних розваг і навіть процесів, що тісно пов’язані із здобуттям освіти чи підвищенням кваліфікації.

Фундаментальними джерелами виникнення небезпек традиційно виступають неконтрольовані стихійні природні процеси та явища, складне техногенне середовище, створене та експлуатоване людиною, а також безпосередні людські дії чи злочинна бездіяльність. Будь-яка небезпека об’єктивно існує в багатовимірному просторі та часі, реалізуючись на практиці у вигляді потужних потоків енергії, хімічних чи біологічних речовин та деструктивної інформації. Варто зазначити, що у переважній більшості випадків небезпечні фактори мають глибоко прихований, латентний характер. Їхня трансформація у реальну, відчутну загрозу відбувається виключно за умови одночасного збігу кількох критичних обставин. Насамперед, сама небезпека повинна реально існувати в даному середовищі. По-друге, людина має безпосередньо перебувати в зоні активної дії цього негативного фактора. По-третє, критичною умовою є те, що особа не володіє ефективними засобами індивідуального чи колективного захисту, свідомо ігнорує їхнє використання, або ж наявні захисні механізми виявляються абсолютно неефективними чи несправними проти конкретної загрози.

З огляду на це, слід акцентувати увагу на тому, що абсолютно вся свідома та несвідома життєдіяльність людини апріорі є потенційно небезпечною. Потенційна небезпека являє собою такий стан середовища, який носить прихований характер, але завжди зберігає здатність перетворитися на реальну загрозу при настанні вищезгаданих трьох умов. Хоча потенційна загроза здатна реалізуватися у формі важких професійних хвороб чи серйозних фізичних травм, її наявність далеко не завжди супроводжується миттєвим негативним впливом на організм людини, адже для цього потрібен каталізатор у вигляді комплексу відповідних умов. Специфічні обставини, за яких прихована загроза отримує можливість реалізуватися у конкретну негативну подію, прийнято називати небезпечною ситуацією. У свою

чергу, перехід локальної небезпеки до масштабу повноцінної надзвичайної ситуації визначається за чіткими критеріями. До таких критеріїв належить фактична наявність або висока ймовірність загрози масової загибелі людей, стрімке та значне погіршення базових умов їхнього повсякденного життя, заподіяння катастрофічних економічних збитків підприємству чи державі загалом, а також істотне та незворотне погіршення екологічного стану довкілля.

У контексті виконання професійних обов'язків, зокрема під час інтенсивної експлуатації електронно-обчислювальних машин (ЕОМ) та супутньої офісної техніки, персонал може зіткнутися з низкою специфічних надзвичайних ситуацій. Серед найбільш імовірних загроз експерти з охорони праці виділяють раптові пожежі, масштабні аварії систем теплопостачання чи водопроводу, а також надзвичайно високий ризик ураження працівників електричним струмом. Слід особливо підкреслити, що сама комп'ютерна техніка досить часто виступає першоджерелом таких небезпечних інцидентів, як загоряння ізоляції внаслідок перегріву або коротке замикання. У разі виникнення будь-яких ознак надзвичайної ситуації, користувач зобов'язаний діяти згідно з чітко затвердженим алгоритмом. Необхідно негайно припинити виконання робочих завдань, повністю знеструмити комп'ютерне обладнання та іншу периферійну електротехніку, після чого оперативно доповісти про інцидент безпосередньому керівнику. Такі екстрені заходи є обов'язковими, якщо працівник візуально помітив механічні пошкодження корпусів апаратури або порушення цілісності ізоляції електропроводки. Також беззаперечним сигналом для негайної зупинки роботи є нетипово підвищений рівень акустичного шуму під час функціонування обладнання, аномально високе виділення теплової енергії від системних блоків чи блоків живлення, постійне або періодичне неконтрольоване блимання екрана монітора, хаотичне стрибання текстової чи графічної інформації на дисплеї. Окрім цього, критичними індикаторами наближення аварії є поява різкого запаху горілого пластику, виділення диму з вентиляційних отворів техніки, а також раптове припинення централізованої подачі електроенергії. За таких умов категорично забороняється відновлювати робочий процес та вмикати техніку до моменту повного з'ясування

причин інциденту та остаточного усунення всіх виявлених технічних несправностей кваліфікованими фахівцями.

У випадку виявлення відкритого загоряння або початку пожежі в робочому приміщенні, всі присутні співробітники повинні без паніки, але максимально оперативно припинити будь-яку діяльність, надійно відімкнути електроприлади від мережі живлення та негайно викликати професійну пожежну команду. Паралельно з цим необхідно сповістити керівництво організації та, адекватно оцінивши власні сили й рівень загрози, розпочати локалізацію та ліквідацію осередку загоряння за допомогою вогнегасників та інших первинних засобів пожежогасіння, що є в наявності. У разі виникнення аварійної ситуації, пов'язаної з проривом водопровідної мережі або розгерметизацією системи центрального опалення, першочерговою дією є терміновий виклик чергового слюсаря-сантехніка. Одночасно персонал повинен швидко евакуювати в безпечне місце всі хімічні речовини та реактиви, які здатні вступати в бурхливу хімічну реакцію при контакті з водою, а також вжити вичерпних заходів для надійного захисту дороговартісного електронного обладнання та чутливих приладів від згубного впливу вологи. Якщо масштаби затоплення не дозволяють усунути проблему силами місцевих технічних спеціалістів, керівництво повинно негайно залучити міську аварійну службу. У екстремальних ситуаціях, коли надзвичайна подія призвела до фізичного травмування працівника, найголовнішим і першочерговим завданням є термінове та надзвичайно обережне звільнення потерпілого від подальшого руйнівного впливу травмуючого фактора. Одразу після цього необхідно оперативно сповістити керівника робіт, викликати бригаду екстреної медичної допомоги та невідкладно надати постраждалому кваліфіковану першу долікарняну допомогу. Водночас, наскільки це є фізично можливим і якщо це не створює жодної додаткової небезпеки для життя та здоров'я оточуючих, слід максимально зберегти обстановку на місці інциденту в абсолютно незмінному вигляді. Такий підхід дозволить компетентним органам та спеціальній комісії провести максимально об’єктивне, точне та всебічне розслідування всіх причин, передумов і обставин нещасного випадку на виробництві.

Висновки до розділу 4

У четвертому розділі бакалаврської роботи було проведено ґрунтовний аналіз питань охорони праці та безпеки життєдіяльності в контексті професійної діяльності інженера-програміста. Встановлено, що сучасна інтелектуальна праця характеризується високою нервово-емоційною напруженістю та значними когнітивними навантаженнями, що потребує комплексного підходу до організації робочого простору. Визначено, що ергономічне облаштування робочого місця, яке відповідає антропометричним та психофізіологічним характеристикам людини, здатне підвищити продуктивність праці фахівця на 8–20% та мінімізувати ризики виникнення професійних захворювань опорно-рухового апарату.

Особливу увагу приділено розрахунку параметрів освітленості робочої зони як одного з критичних факторів збереження зорової працездатності. За допомогою методу коефіцієнта використання світлового потоку було визначено необхідну кількість люмінесцентних джерел світла для забезпечення нормативного рівня освітленості у 300 Лк, що відповідає розряду точних зорових робіт. Доведено, що використання джерел світла зі спектральним складом, наближеним до природного, у поєднанні зі спокійним кольоровим оформленням інтер'єру в холодних тонах, суттєво знижує зорову стомлюваність та сприяє підтриманню стабільного психоемоційного стану працівника протягом робочого дня.

У межах аналізу безпеки в надзвичайних ситуаціях було систематизовано потенційні загрози техногенного характеру, які можуть виникнути під час експлуатації обчислювальної техніки в офісних центрах. Розглянуто алгоритми дій персоналу у разі виникнення пожеж, аварій інженерних мереж або ураження електричним струмом. Акцентовано увагу на тому, що впровадження автоматизованої системи контролю параметрів мікроклімату, розробленої в даній роботі, виконує додаткову захисну функцію, оскільки дозволяє виявляти критичні стани середовища (задимлення, перегрів обладнання) на ранніх стадіях, що значно підвищує загальний рівень безпеки праці в офісному приміщенні.

ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК

У кваліфікаційній роботі було розв'язано актуальне науково-практичне завдання з розробки енергоефективної автоматизованої системи керування параметрами мікроклімату в офісних приміщеннях. На основі проведених досліджень та отриманих результатів можна сформулювати наступні підсумкові висновки.

Проведений аналіз сучасного стану офісних центрів та санітарно-гігієнічних вимог до умов праці підтвердив, що якість повітряного середовища безпосередньо впливає на працездатність та здоров’я персоналу. Було встановлено, що традиційні методи контролю мікроклімату часто є неефективними через значний вплив людського фактора та відсутність оперативного реагування на зміну концентрації шкідливих домішок, таких як вуглекислий газ, дрібнодисперсний пил та летючі органічні сполуки. Крім того, виявлено, що щільне скупчення техніки створює додаткове електромагнітне та теплове навантаження, що потребує інтелектуального підходу до автоматизації.

В ході виконання роботи була спроєктована структурна модель системи, що базується на принципах замкнутого контуру зі зворотним зв'язком. Це дозволило забезпечити безперервний моніторинг фізико-хімічних параметрів середовища та їхнє автоматичне коригування за допомогою виконавчих механізмів. Особливу увагу приділено теоретичному обґрунтуванню методів вимірювання температури, вологості та запиленості повітря, що стало основою для подальшого вибору сучасної елементної бази.

На етапі технічної реалізації було розроблено функціональну схему та здійснено вибір високонадійних компонентів, зокрема мікроконтролерів та прецизійних цифрових сенсорів серій DHT, SHT та спеціалізованих газоаналізаторів. Розроблений алгоритм функціонування системи передбачає багатоетапний цикл опитування датчиків, математичне порівняння отриманих даних з еталонними нормами та адаптивне керування системами вентиляції, опалення та іонізації. Впровадження програмного забезпечення з можливістю дистанційного моніторингу через мобільний додаток дозволило підвищити

ергономічність системи та забезпечити прозорість контролю за якістю повітря в реальному часі.

Окремим аспектом дослідження став аналіз питань охорони праці та безпеки життєдіяльності. Було доведено, що раціональна організація робочого місця програміста та підтримка нормованих показників освітленості й мікроклімату дозволяють підвищити продуктивність праці на 8–20%. Розроблена система виконує не лише регулюючу, а й захисну функцію, вчасно сповіщаючи про критичні рівні забруднення чи загрозу виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру.

Узагальнюючи результати, можна констатувати, що створена автоматизована система є ефективним інструментом для створення здорового робочого середовища. Її впровадження в офісних центрах дозволить мінімізувати енерговитрати на підтримку мікроклімату, суттєво знизити ризик професійних захворювань працівників та забезпечити стабільно високу якість повітряного простору без необхідності постійного втручання людини.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автоматизація процесів та систем / [М. Ю. Ільченко, С. О. Кравчук]: Підручник. — К.: Наукова думка, 2011. — 350 с.
2. Енергоефективність будівель та споруд / [О.С. Ковальчук, В.М. Борис]: Навчальний посібник. — Київ: КНУБА, 2018. — 210 с.
3. Інженерне обладнання будівель. Вентиляція та кондиціонування / [С. С. Жуковський, О. Т. Возняк, О. М. Довбуш]: Навчальний посібник. — Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. — 308 с.
4. Мікропроцесорні системи керування в автоматиці / [В. П. Квасніков, Г. П. Кондратов]: Підручник. — К.: Каравела, 2015. — 412 с.
5. Основи енергозбереження та енергетичного менеджменту / [М. М. Касьянов, О. П. Лютий]: Підручник. — Дніпро: Ліра, 2019. — 280 с.
6. Автоматизація систем опалення та вентиляції / [П. Г. Смірнов, Ю. В. Дорош]: Навчальний посібник. — Одеса: ОДАБА, 2020. — 195 с.
7. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. — К.: Мінрегіон України, 2013. — 141 с.
8. ДСТУ EN 15232:2017. Енергоефективність будівель. Вплив автоматизації, моніторингу та управління будівлями. — К.: Держспоживстандарт, 2017— 112 с.
9. ДСанПіН 3.3.2.007-98. Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами. — К.: МОЗ України, 1998. — 45 с.
10. Теорія автоматичного керування / [М. Г. Попович, О. В. Гавриш]: Підручник. — К.: Либідь, 2010. — 448 с.
11. Сенсорна техніка в автоматизованих системах / [А. М. Сидоренко, В. О. Поліщук]: Монографія. — Харків: ХНУРЕ, 2021. — 185 с.
12. Екологія офісних приміщень: гігієнічні та технічні аспекти / [Л. М. Савченко]: Посібник. — К.: Освіта, 2017. — 120 с.
13. Розумний дім: технології та компоненти / [О. Г. Бондар, В. І. Іванов]: Навчальний посібник. — Запоріжжя: ЗНУ, 2022. — 160 с.
14. Енергетичний аудит та термомодернізація громадських будівель / [Р. М. Степанюк]: Монографія. — Рівне: НУВГП, 2019. — 225 с.

15.Комп’ютерно-інтегровані технології в будівництві / [І. В. Антоненко]: Навчальний посібник. — К.: Політехніка, 2020. — 190 с.

16.Охорона праці в галузі автоматизації / [О. П. Бережний]: Підручник. — Харків: Гімназія, 2016. — 305 с.

17.ДСТУ-Н Б А.2.2-5:2007. Проектування. Настанова з розроблення розділу «Енергоефективність». — К.: Мінрегіонбуд, 2008. — 34 с.

18.Системи автоматичного регулювання мікроклімату: математичне моделювання / [В. П. Лисенко]: Монографія. — К.: Аграрна освіта, 2014. — 240 с.

19.Автоматизація керування теплоспоживанням в офісних центрах / [С. П. Михайлов]: Стаття // Вісник НТУУ «КПІ». — 2018. — № 4. — С. 45–52.

20.Інформаційні технології в енергозбереженні / [Л. П. Головко]: Навчальний посібник. — К.: КНЕУ, 2015. — 215 с.

21.Моніторинг якості повітря в закритих приміщеннях / [Ю. М. Коваль]: Монографія. — Львів: Манускрипт, 2021. — 140 с.

22.Захист від електромагнітних випромінювань в офісах / [Б. І. Гнатенко]: Посібник. — К.: Техніка, 2019. — 110 с.

23.Енергоефективність як чинник сталого розвитку / [Т. В. Мороз]: Монографія. — Полтава: ПНТУ, 2020. — 195 с.

24.ДСТУ В EN ISO 7730:2011. Ергономіка теплового середовища. — К.: Держстандарт, 2011. — 62 с.

25. Energy Efficiency in Buildings: Concepts and Applications / [J. Clarke, N. Moore]: Textbook. — London: Routledge, 2015. — 310 p.

26.Smart Buildings: Advanced Control and Optimization / [M. Casini]: Monograph. — Cambridge: Woodhead Publishing, 2016. — 245 p.

27.Indoor Air Quality and HVAC Systems / [D. Bearg]: Technical Guide. — Berlin: Springer Nature, 2019. — 215 p.

28.Automation and Control in Smart Cities / [L. Fischer, H. Weber]: Academic Press. — Munich: Elsevier, 2020. — 340 p.

29.Sensors and Actuators for Environmental Control / [P. Lefevre]: Textbook. — Paris: Lavoisier, 2018. — 290 p.

30.ISO 50001:2018. Energy management systems — Requirements with guidance for

use. — Geneva: International Organization for Standardization, 2018. — 50 p.
31.Building Automation Systems (BAS): Design and Implementation / [T. Loncavic]: European Engineering Review. — Vienna: Springer, 2017. — 180 p.
32.HVAC Control Systems: A Practical Approach / [R. Montgomery, R. McDowall]: Handbook. — New York/London: CRC Press, 2014. — 450 p.
33.Wireless Sensor Networks for Building Monitoring / [G. Ferrari]: Monograph. — Zurich: Wiley-ISTE, 2019. — 230 p.
34.Sustainable Office Buildings: Design and Management / [K. Steemers]: Academic Journal. — Cambridge University Press, 2016. — 260 p.
35.Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) 2018/844/EU. — Brussels: European Parliament, 2018. — 35 p.
36.Microclimate Control in Commercial Spaces / [F. Rossi]: Monograph. — Milan: Politecnico di Milano, 2021. — 190 p.
37.IoT Solutions for Intelligent Buildings / [S. Madakam, R. Ramaswamy]: Research Paper. — Barcelona: IOT Review, 2020. — 125 p.
38.CO2 Monitoring and Ventilation Efficiency in Workplaces / [A. Persily]: Journal of Indoor Air. — Copenhagen: Munksgaard, 2017. — pp. 15–28.
39.Advanced Energy Management in Smart Grids / [D. P. Kothari]: Textbook. — New Delhi/London: McGraw-Hill, 2019. — 380 p.
40.Thermal Comfort in Office Buildings: European Standards / [P. O. Fanger]: Classic Edition. — Denmark: Technical University of Denmark, 2015. — 210 p.
41.Renewable Energy Integration in Commercial Buildings / [E. G. Das]: Monograph. — Amsterdam: North-Holland, 2018. — 240 p.
42.Building Management Systems (BMS): The Future of Energy Saving / [M. Braun]: European Technical Series. — Frankfurt: VDE Verlag, 2022. — 175 p.
43.ASHRAE Standard 62.1-2019. Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. — Atlanta: ASHRAE, 2019. — 78 p.
44.Digital Transformation in Building Automation / [H. J. Bullinger]: Monograph. — Stuttgart: Fraunhofer, 2020. — 205 p.
45.Computational Fluid Dynamics (CFD) for Indoor Airflows / [Q. Chen]: Academic Press. — Beijing/London: Science Press, 2016. — 320 p.

46.Eco-efficient Construction and Building Materials / [F. Pacheco-Torgal]: Monograph. — Lisbon: Elsevier, 2013. — 560 p.

47.Artificial Intelligence in Building Energy Management / [X. Lu, J. Zhao]: Research Book. — Singapore: Springer, 2021. — 280 p.

48.Occupant Behavior and Energy Use in Buildings / [G. Y. Zheng]: Journal of Building Performance. — London: Taylor & Francis, 2018. — 315 p.

49.Passive Cooling Strategies for Commercial Buildings in Europe / [M. Santamouris]: Monograph. — Athens: James & James, 2015. — 245 p.