

## АНОТАЦІЯ

У даній роботі розглянуто питання розроблення автоматизованої системи керування мікрокліматом приватного будинку. Проведено аналіз факторів, що впливають на комфортність проживання людини, та обґрунтовано необхідність використання сучасних засобів автоматизації для забезпечення оптимальних параметрів внутрішнього середовища.

У роботі досліджено особливості контролю температури повітря, відносної вологості та концентрації вуглекислого газу в житлових приміщеннях. Розглянуто принципи роботи датчиків, виконавчих механізмів, мікроконтролерів та бездротових засобів зв'язку, а також їх роль у забезпеченні автоматичного керування параметрами мікроклімату.

Особливу увагу приділено розробленню адаптивної системи керування, яка використовує дані про фізіологічний стан користувача, отримані від смарт-годинника. Запропоновано алгоритм персоналізованого керування мікрокліматом, що враховує рівень фізичної активності, якість сну, поточний стан користувача та параметри зовнішнього середовища. Також запропоновано реалізацію принципу позитивного контрасту між внутрішнім та зовнішнім середовищем для підвищення комфортності перебування людини в будинку.

Крім того, у роботі розглянуто питання забезпечення надійності функціонування системи автоматизації, електробезпеки, пожежної безпеки та безпечної експлуатації обладнання. Розроблено структурну схему системи керування, алгоритм її функціонування та визначено перспективи практичного використання запропонованого рішення.

Ключові слова: автоматизація, мікроклімат, приватний будинок, температура повітря, вологість повітря, концентрація вуглекислого газу, вентиляція, опалення, ESP32, смарт-годинник, адаптивне керування, розумний будинок, датчики, система керування.

## **ABSTRACT**

This bachelor's thesis addresses the development of an automated microclimate control system for a private house. The factors affecting human comfort were analyzed, and the necessity of applying modern automation technologies to ensure optimal indoor environmental conditions was substantiated.

The study examines the control of air temperature, relative humidity, and carbon dioxide concentration in residential premises. The operating principles of sensors, actuators, microcontrollers, and wireless communication technologies are considered, as well as their role in providing automatic control of indoor microclimate parameters.

Particular attention is paid to the development of an adaptive control system that utilizes data on the user's physiological condition obtained from a smartwatch. A personalized microclimate control algorithm is proposed, taking into account the user's physical activity level, sleep quality, current condition, and outdoor environmental parameters. The implementation of the positive contrast principle between indoor and outdoor environments is also proposed in order to improve human comfort.

In addition, the thesis considers issues related to the reliability of the automation system, electrical safety, fire safety, and safe equipment operation. A structural diagram of the control system and its operating algorithm have been developed, and the prospects for practical implementation of the proposed solution have been determined.

## ЗМІСТ

|                                                                                                                            |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| ВСТУП.....                                                                                                                 | 5         |
| <b>РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ .....</b>                                                                                  | <b>8</b>  |
| 1.1 Необхідність автоматизації систем керування мікрокліматом приватного будинку .....                                     | 8         |
| 1.2 Основні параметри мікроклімату житлових приміщень .....                                                                | 10        |
| 1.3 Аналіз сучасних систем автоматизації мікроклімату приватного будинку .....                                             | 14        |
| 1.4 Аналіз технічних засобів автоматизації систем мікроклімату .....                                                       | 18        |
| 1.5 Висновки до розділу 1 .....                                                                                            | 22        |
| <b>РОЗДІЛ 2. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....</b>                                                                                   | <b>25</b> |
| 2.1 Вибір контрольованих параметрів системи керування мікрокліматом ....                                                   | 25        |
| 2.2 Вибір та обґрунтування датчиків системи керування мікрокліматом .....                                                  | 28        |
| 2.3 Вибір та обґрунтування центрального контролера системи керування ....                                                  | 34        |
| 2.4 Вибір та обґрунтування виконавчих механізмів системи керування мікрокліматом .....                                     | 39        |
| 2.5 Вибір та обґрунтування системи передачі даних та взаємодії зі смарт-годинником.....                                    | 44        |
| 2.6 Розроблення структурної схеми автоматизованої системи керування мікрокліматом .....                                    | 47        |
| 2.7 Висновки до розділу 2.....                                                                                             | 50        |
| <b>РОЗДІЛ 3. ПРОЕКТНО-РЕКОМЕНДАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ.....</b>                                                                      | <b>53</b> |
| 3.1 Концепція адаптивного керування мікрокліматом на основі стану користувача та параметрів навколишнього середовища ..... | 53        |
| 3.2 Використання даних смарт-годинника для персоналізації параметрів мікроклімату .....                                    | 56        |
| 3.3 Формування позитивного контрасту між внутрішнім та зовнішнім середовищем.....                                          | 60        |
| 3.4 Алгоритм прийняття рішень адаптивною системою керування мікрокліматом .....                                            | 64        |

|                                                                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.5 Рекомендована структура та програмна реалізація адаптивної системи керування мікрокліматом .....                                                  | 68 |
| 3.6 Висновки до розділу 3 .....                                                                                                                       | 72 |
| РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....                                                                                               | 74 |
| 4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів під час монтажу та експлуатації автоматизованої системи керування мікрокліматом приватного будинку ..... | 74 |
| 4.2 Заходи електробезпеки під час монтажу та експлуатації автоматизованої системи керування мікрокліматом .....                                       | 77 |
| 4.3 Пожежна безпека автоматизованої системи керування мікрокліматом приватного будинку .....                                                          | 81 |
| 4.4 Забезпечення безпечних умов праці під час технічного обслуговування автоматизованої системи керування мікрокліматом.....                          | 85 |
| 4.5 Висновки до розділу 4.....                                                                                                                        | 89 |
| ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....                                                                                                                                | 90 |

## ВСТУП

У сучасних умовах розвитку інформаційних технологій та автоматизації житлових будівель все більшого значення набуває впровадження інтелектуальних систем керування інженерними мережами будинку. Одним із найважливіших напрямків автоматизації є забезпечення комфортних параметрів мікроклімату житлових приміщень. Використання сучасних засобів автоматизації дозволяє підтримувати оптимальні умови проживання незалежно від змін зовнішнього середовища, підвищувати енергоефективність будівлі, зменшувати експлуатаційні витрати та покращувати якість життя мешканців.

Комфортність проживання людини значною мірою залежить від температури повітря, відносної вологості, якості повітря та ефективності вентиляції приміщень. Традиційні системи опалення та вентиляції зазвичай працюють за фіксованими налаштуваннями і не враховують індивідуальні потреби користувачів або зміни їх фізіологічного стану. У результаті навіть за дотримання нормативних параметрів мікроклімату не завжди забезпечується максимальний рівень комфорту та ефективне використання енергетичних ресурсів.

Сучасний розвиток технологій «розумного будинку», бездротових мереж зв'язку та носимих електронних пристроїв створює нові можливості для вдосконалення систем керування мікрокліматом. Використання даних, отриманих від смарт-годинників та інших пристроїв персонального моніторингу, дозволяє враховувати фізіологічний стан користувача, рівень його активності та особливості режиму дня під час формування параметрів внутрішнього середовища. Такий підхід відкриває перспективи створення адаптивних систем керування, орієнтованих не лише на параметри приміщення, а й безпосередньо на потреби людини.

Для вирішення зазначених завдань доцільним є використання автоматизованої системи керування мікрокліматом, яка забезпечує безперервний контроль температури, вологості та якості повітря,

автоматичне керування вентиляцією та системою опалення, а також адаптацію режимів роботи відповідно до зовнішніх погодних умов та фізіологічного стану користувача. Використання сучасних датчиків, мікроконтролерів, бездротових технологій зв'язку та інтелектуальних алгоритмів керування дозволяє створити ефективну систему нового покоління.

У роботі розглядаються питання аналізу параметрів мікроклімату житлових приміщень, вибору технічних засобів автоматизації, розроблення структури автоматизованої системи керування, створення алгоритмів адаптивного керування та використання даних смарт-годинника для персоналізації параметрів середовища. Особливу увагу приділено реалізації принципу позитивного контрасту між внутрішнім та зовнішнім середовищем як одному з перспективних напрямків підвищення комфортності проживання.

**Об'єкт дослідження:** процес керування мікрокліматом приватного будинку.

**Предмет дослідження:** технічні засоби та алгоритми автоматизації систем контролю і регулювання параметрів мікроклімату житлових приміщень.

**Мета роботи:** розроблення автоматизованої системи керування мікрокліматом приватного будинку з використанням сучасних засобів автоматизації та елементів персоналізованого адаптивного керування.

**Методи дослідження:** аналіз існуючих систем автоматизації мікроклімату, аналіз технічних засобів автоматизації, структурно-функціональний аналіз систем керування, порівняння технічних рішень та оцінка ефективності їх застосування.

**Практична цінність:** полягає у можливості використання запропонованих технічних рішень під час проєктування та модернізації систем «розумного будинку» з метою підвищення комфортності проживання,

зниження енергоспоживання та покращення ефективності керування інженерними системами будівлі.

**Наукова новизна:** полягає у розробленні концепції адаптивного керування мікрокліматом приватного будинку на основі комплексного аналізу параметрів внутрішнього та зовнішнього середовища, а також використання даних смарт-годинника користувача для формування персоналізованих параметрів мікроклімату та реалізації принципу позитивного контрасту між умовами всередині будинку та навколишнім середовищем.

## **РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ**

### **1.1 Необхідність автоматизації систем керування мікрокліматом приватного будинку**

Сучасний розвиток житлового будівництва характеризується постійним зростанням вимог до комфорту проживання, енергоефективності та безпеки експлуатації інженерних систем. Якщо ще декілька десятиліть тому основним завданням систем опалення було підтримання прийнятної температури в приміщенні, то сьогодні поняття комфортного середовища включає значно ширший перелік параметрів. До них належать температура повітря, відносна вологість, концентрація вуглекислого газу, інтенсивність повітрообміну та загальна якість повітряного середовища. Сукупність цих показників формує мікроклімат приміщення та безпосередньо впливає на самопочуття людини, її працездатність, якість відпочинку та стан здоров'я.

Особливістю сучасних приватних будинків є висока герметичність огорожувальних конструкцій. Використання енергоефективних вікон, утеплених фасадів та сучасних покрівельних матеріалів дозволяє суттєво знизити тепловтрати, проте одночасно погіршує природний повітрообмін. У результаті виникає необхідність застосування механічної вентиляції та систем автоматичного контролю якості повітря. За відсутності належного керування вентиляцією в приміщеннях може накопичуватися вуглекислий газ, підвищуватися вологість, утворюватися конденсат і створюватися умови для розвитку плісняви та грибків.

Традиційне ручне керування опаленням, вентиляцією та кондиціонуванням не дозволяє оперативно реагувати на зміни внутрішніх і зовнішніх факторів. Людина не здатна постійно контролювати всі параметри мікроклімату та своєчасно вносити необхідні корективи в роботу обладнання. У більшості випадків регулювання здійснюється вже після виникнення дискомфорту, що призводить до перевитрат енергоресурсів та погіршення умов проживання.

Впровадження автоматизованих систем керування дозволяє вирішити зазначені проблеми шляхом безперервного моніторингу параметрів навколишнього середовища та автоматичного формування керуючих впливів на виконавчі механізми. Система може в режимі реального часу оцінювати поточний стан приміщення, порівнювати його із заданими значеннями та виконувати корекцію роботи опалення, вентиляції, кондиціонування або зволоження повітря.

Особливого значення автоматизація набуває в умовах постійного зростання вартості енергетичних ресурсів. Ефективне використання теплової та електричної енергії стає одним із головних критеріїв оцінки сучасного житла. Автоматизоване керування дозволяє мінімізувати непродуктивні витрати енергії шляхом оптимізації режимів роботи обладнання відповідно до фактичних потреб користувачів. Це забезпечує не лише економічний ефект, але й сприяє зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище.

Важливою тенденцією останніх років є інтеграція систем мікроклімату в концепцію «розумного будинку», Рисунок 1.1. У таких системах обладнання функціонує як єдиний інформаційний комплекс, здатний обмінюватися даними між окремими підсистемами. Це створює передумови для впровадження адаптивних алгоритмів керування, які враховують не лише показники датчиків, а й поведінку користувачів, режим їхньої активності та зовнішні погодні умови.



Рис1.1 Система розумний будинок

Таким чином, автоматизація систем керування мікрокліматом приватного будинку є необхідною умовою забезпечення комфортного проживання, підвищення енергоефективності будівлі, зниження експлуатаційних витрат та створення передумов для впровадження сучасних інтелектуальних технологій керування житловим середовищем.

## **1.2 Основні параметри мікроклімату житлових приміщень**

Одним із найважливіших чинників забезпечення комфортних умов проживання людини є створення та підтримання оптимального мікроклімату в житлових приміщеннях. Під поняттям мікроклімату розуміють сукупність параметрів внутрішнього середовища, які безпосередньо впливають на тепловий стан організму людини, її самопочуття, працездатність та загальний рівень комфорту. Формування сприятливого мікроклімату є складним технічним завданням, оскільки на нього одночасно впливає значна кількість внутрішніх та зовнішніх факторів. До внутрішніх факторів належать

кількість людей у приміщенні, інтенсивність використання побутової техніки, робота систем опалення та вентиляції, особливості планування будинку та теплоізоляційні характеристики огорожувальних конструкцій. Зовнішні фактори представлені температурою навколишнього середовища, вологістю атмосферного повітря, швидкістю вітру, сонячною радіацією та сезонними змінами кліматичних умов.

Серед усіх параметрів мікроклімату найбільш важливим є температура повітря. Саме температура безпосередньо визначає тепловий комфорт людини та значною мірою впливає на її фізіологічний стан. Організм людини постійно підтримує внутрішню температуру на рівні близько 36,6 °C, тому будь-які відхилення температури навколишнього середовища викликають відповідні механізми терморегуляції. При зниженні температури організм змушений витратити додаткову енергію для підтримання теплового балансу, а при підвищенні температури активізуються процеси тепловіддачі через потовиділення та розширення кровоносних судин. Тривале перебування в умовах надмірно низьких або високих температур призводить до погіршення самопочуття, зниження працездатності та виникнення ризику розвитку різноманітних захворювань.

Для житлових приміщень найбільш комфортним вважається температурний діапазон від 20 до 24 °C. Однак слід зазначити, що оптимальна температура може змінюватися залежно від функціонального призначення приміщення, віку людини, рівня її фізичної активності та навіть часу доби. Наприклад, під час сну комфортна температура зазвичай є дещо нижчою, ніж під час активної діяльності. Саме ця особливість у майбутньому створює передумови для впровадження адаптивних систем керування, які здатні автоматично змінювати параметри мікроклімату відповідно до потреб конкретного користувача.

Не менш важливим параметром є відносна вологість повітря. Вона характеризує ступінь насичення повітря водяною парою та істотно впливає на процеси теплообміну між організмом людини та навколишнім

середовищем. За надто низької вологості відбувається пересихання слизових оболонок, що сприяє розвитку респіраторних захворювань та створює дискомфорт під час тривалого перебування у приміщенні. Надмірно висока вологість, навпаки, ускладнює природні процеси тепловіддачі та створює сприятливі умови для розвитку грибків, бактерій та інших мікроорганізмів.

Особливо актуальною проблема контролю вологості стає в сучасних енергоефективних будинках із високим рівнем герметичності. Відсутність достатнього повітрообміну призводить до накопичення водяної пари, яка утворюється під час приготування їжі, прання, прийняття душу та навіть у процесі дихання людини. У таких умовах ефективне функціонування систем вентиляції та автоматичний контроль вологості стають необхідною умовою забезпечення здорового мікроклімату.

Ще одним важливим показником є концентрація вуглекислого газу в повітрі приміщення. Вуглекислий газ утворюється внаслідок дихання людей та накопичується в замкнених просторах за недостатньої вентиляції. Незважаючи на те, що  $\text{CO}_2$  не є токсичною речовиною у звичайних концентраціях, його підвищений вміст негативно впливає на самопочуття людини. Високий рівень  $\text{CO}_2$  може викликати втому, сонливість, зниження концентрації уваги та погіршення когнітивних функцій. Особливо помітними ці ефекти стають у приміщеннях, де одночасно перебуває велика кількість людей або де недостатньо організований повітрообмін.

У сучасних будинках концентрація  $\text{CO}_2$  дедалі частіше використовується як один із ключових параметрів автоматичного керування вентиляцією. Такий підхід дозволяє забезпечувати необхідний рівень якості повітря без зайвих витрат енергії на надмірну вентиляцію приміщень. Фактично концентрація вуглекислого газу стає непрямим показником комфортності середовища та ефективності роботи системи вентиляції.

Окрему увагу необхідно приділити швидкості руху повітря. Навіть за оптимальних значень температури та вологості надмірна швидкість повітряних потоків може викликати відчуття дискомфорту. Людина дуже

чутливо реагує на протяги, особливо в холодний період року. Водночас повна відсутність руху повітря також є небажаною, оскільки призводить до застійних зон та нерівномірного розподілу температури в приміщенні. Саме тому сучасні системи вентиляції та кондиціювання повинні забезпечувати збалансований розподіл повітряних потоків без створення локальних зон дискомфорту.

Важливим компонентом мікроклімату є також загальна якість повітря. Під цим поняттям розуміють наявність у повітрі пилу, алергенів, летких органічних сполук, продуктів згоряння та інших домішок. Зростання рівня урбанізації та використання великої кількості синтетичних матеріалів у будівництві призводить до того, що питання очищення повітря набуває все більшого значення. Сучасні автоматизовані системи мікроклімату дедалі частіше комплектуються датчиками якості повітря та багатоступеневими системами фільтрації, що дозволяє підтримувати безпечне середовище для проживання.

Слід зазначити, що всі параметри мікроклімату є взаємопов'язаними. Зміна температури впливає на відносну вологість, робота вентиляції впливає на концентрацію CO<sub>2</sub>, а інтенсивність повітрообміну може змінювати тепловий баланс приміщення. Саме тому ефективне керування мікрокліматом неможливе без комплексного підходу, який враховує взаємодію всіх основних параметрів та забезпечує їх одночасне регулювання.

Перспективним напрямком розвитку сучасних систем автоматизації є перехід від підтримання фіксованих нормативних значень до формування індивідуалізованого мікроклімату. Такий підхід передбачає врахування особистих уподобань користувача, його фізіологічного стану, рівня активності та особливостей добового режиму. Завдяки розвитку цифрових технологій та появі носимих пристроїв стає можливим створення адаптивних систем керування, які автоматично підлаштовуються під конкретну людину та забезпечують максимально комфортні умови проживання.

### **1.3 Аналіз сучасних систем автоматизації мікроклімату приватного будинку**

Розвиток сучасних технологій автоматизації призвів до суттєвих змін у підходах до забезпечення комфортних умов проживання в житлових будинках. Якщо раніше системи опалення, вентиляції та кондиціонування розглядалися як окремі інженерні підсистеми, що функціонують незалежно одна від одної, то сьогодні переважає концепція їх комплексної інтеграції в єдину автоматизовану систему керування мікрокліматом. Такий підхід дозволяє не лише підвищити рівень комфорту користувачів, але й значно зменшити споживання енергетичних ресурсів, забезпечити більш ефективне використання обладнання та підвищити загальну надійність функціонування будинку.

Основою будь-якої сучасної системи керування мікрокліматом є автоматичний збір інформації про стан внутрішнього середовища. Для цього використовуються датчики температури, вологості, концентрації вуглекислого газу, атмосферного тиску, освітленості та інших параметрів. Отримані дані надходять до центрального контролера, який аналізує поточний стан системи та формує керуючі сигнали для виконавчих механізмів. Завдяки такому принципу функціонування забезпечується безперервний контроль параметрів мікроклімату та своєчасне реагування на будь-які зміни умов експлуатації.

Найбільш поширеними системами автоматизації мікроклімату залишаються системи автоматичного опалення. Основним завданням таких систем є підтримання заданої температури в приміщеннях незалежно від зміни зовнішніх погодних умов. У найпростішому випадку керування здійснюється за допомогою кімнатного термостата, який контролює роботу котла або іншого джерела теплової енергії. Проте сучасні системи значно складніші та можуть враховувати температуру зовнішнього повітря, час доби, режим перебування мешканців у будинку та інші фактори.

Особливу популярність останнім часом отримали погодозалежні системи керування опаленням. Їх принцип роботи полягає у зміні температури теплоносія відповідно до температури зовнішнього середовища. За зниження температури на вулиці система автоматично підвищує температуру теплоносія, а за потепління зменшує її. Це дозволяє уникнути перегріву приміщень та забезпечити більш економічне використання енергії. Крім того, погодозалежне регулювання зменшує кількість циклів увімкнення та вимкнення обладнання, що позитивно впливає на його довговічність.

Значну роль у забезпеченні комфортного мікроклімату відіграють системи вентиляції. Їх основною функцією є підтримання необхідного повітрообміну між внутрішнім та зовнішнім середовищем. Традиційна природна вентиляція, яка широко застосовувалася протягом багатьох десятиліть, дедалі частіше поступається місцем механічним системам вентиляції. Причиною цього є підвищення герметичності сучасних будівель та необхідність більш точного контролю параметрів повітряного середовища.

Сучасні припливно-витяжні вентиляційні установки здатні забезпечувати контрольований повітрообмін із заданою продуктивністю незалежно від погодних умов. Автоматичне регулювання дозволяє змінювати інтенсивність вентиляції залежно від кількості людей у приміщенні, рівня вологості або концентрації вуглекислого газу. Завдяки цьому досягається оптимальне поєднання комфортних умов проживання та економії енергетичних ресурсів.

Окремого розгляду заслуговують системи вентиляції з рекуперацією тепла. Принцип їх роботи базується на передачі теплової енергії від витяжного повітря припливному без змішування повітряних потоків. У зимовий період це дозволяє суттєво знизити витрати енергії на підігрів свіжого повітря, а в літній період — зменшити навантаження на системи кондиціонування. Використання рекуператорів є одним із найбільш ефективних способів підвищення енергоефективності сучасних житлових будівель.

Важливою складовою сучасних систем мікроклімату є кондиціонування повітря. Основним призначенням кондиціонерів є підтримання комфортної температури в теплий період року, проте сучасні пристрої здатні виконувати значно ширший спектр функцій. Багато моделей можуть працювати в режимах нагрівання, осушення, очищення та циркуляції повітря. Інверторні технології дозволяють плавно регулювати продуктивність компресора, забезпечуючи високу точність підтримання температури та знижуючи споживання електричної енергії.

Автоматизація систем кондиціонування передбачає використання програмованих алгоритмів керування, які враховують температуру зовнішнього повітря, теплові навантаження будинку та режим присутності людей. Завдяки цьому забезпечується не лише комфортний температурний режим, але й підвищується енергоефективність системи в цілому.

Останніми роками значного поширення набули системи зонального керування мікрокліматом. Їх особливістю є можливість незалежного регулювання параметрів середовища в окремих приміщеннях або функціональних зонах будинку. Наприклад, температура в спальні може відрізнятися від температури у вітальні або робочому кабінеті. Такий підхід дозволяє враховувати індивідуальні потреби користувачів та забезпечувати більш раціональне використання енергетичних ресурсів.

Подальший розвиток систем автоматизації пов'язаний із впровадженням концепції інтелектуального будинку. У межах цієї концепції всі інженерні підсистеми об'єднуються в єдину інформаційно-керуючу мережу. Дані від різних датчиків обробляються централізовано, а рішення щодо роботи обладнання приймаються з урахуванням великої кількості взаємопов'язаних факторів. Завдяки цьому система здатна більш точно прогнозувати потреби користувачів та забезпечувати оптимальні режими функціонування.

Сучасні інтелектуальні системи дедалі частіше використовують можливості мережі Інтернет та технологій Інтернету речей. Це дозволяє

здійснювати дистанційний моніторинг параметрів мікроклімату, змінювати налаштування обладнання за допомогою смартфона та отримувати повідомлення про виникнення аварійних ситуацій. Крім того, використання хмарних сервісів відкриває можливість накопичення статистичних даних та аналізу поведінки користувачів протягом тривалого часу.

Особливо перспективним напрямком розвитку є використання персоналізованих систем керування. На відміну від традиційних рішень, які орієнтуються на усереднені нормативні показники, персоналізовані системи враховують особливості конкретної людини. Джерелом такої інформації можуть бути носимі пристрої, зокрема смарт-годинники та фітнес-браслети. Вони здатні визначати частоту серцевих скорочень, рівень фізичної активності, якість сну, температуру поверхні шкіри та інші показники, що характеризують поточний стан організму.

Аналіз зазначених даних дозволяє адаптувати параметри мікроклімату до індивідуальних потреб користувача. Наприклад, під час сну система може автоматично підтримувати більш прохолодне середовище, а після фізичного навантаження посилювати вентиляцію приміщення. Подібні рішення поки що не набули масового поширення, проте саме вони визначають перспективний напрямок розвитку автоматизованих систем керування мікрокліматом.

Таким чином, аналіз сучасних систем автоматизації показує, що основною тенденцією їх розвитку є перехід від простого підтримання заданих параметрів до інтелектуального адаптивного керування, яке враховує як характеристики навколишнього середовища, так і індивідуальні потреби користувачів. Саме такий підхід доцільно покласти в основу розроблення автоматизованої системи керування мікрокліматом приватного будинку, що розглядається в даній роботі.

## **1.4 Аналіз технічних засобів автоматизації систем мікроклімату**

Ефективність функціонування будь-якої автоматизованої системи керування мікрокліматом значною мірою визначається правильністю вибору технічних засобів автоматизації. Саме апаратна складова забезпечує отримання інформації про стан контролюваного об'єкта, її обробку, формування керуючих сигналів та реалізацію необхідних керуючих впливів. Від точності роботи датчиків, швидкодії контролерів, надійності виконавчих механізмів та якості каналів передачі даних залежить не лише ефективність підтримання комфортних умов у приміщенні, а й загальна надійність функціонування системи.

Сучасна система автоматичного керування мікрокліматом складається з декількох взаємопов'язаних рівнів. Нижній рівень представлений первинними вимірювальними перетворювачами, які здійснюють контроль параметрів середовища. Середній рівень виконує функції збору та обробки інформації, а також реалізує алгоритми керування. Верхній рівень забезпечує взаємодію з користувачем, візуалізацію інформації та можливість дистанційного контролю системи. Така структура є типовою для більшості сучасних систем автоматизації та дозволяє забезпечити високу ефективність їх функціонування.

Особливе місце серед технічних засобів займають датчики температури. Саме температура є одним із найважливіших параметрів мікроклімату, тому вимоги до точності її вимірювання є досить високими. У сучасних системах широко використовуються терморезистивні, напівпровідникові та цифрові датчики температури. Їх основною перевагою є висока точність вимірювання, простота інтеграції до автоматизованих систем та тривалий термін експлуатації. Завдяки розвитку мікроелектроніки сучасні цифрові датчики дозволяють отримувати результати вимірювання безпосередньо у цифровому вигляді, що суттєво спрощує обробку інформації контролером.

Важливим елементом систем мікроклімату є датчики відносної вологості повітря. Їх використання дозволяє здійснювати автоматичний контроль процесів зволоження та вентиляції приміщень. Найбільшого поширення набули ємнісні датчики вологості, які характеризуються високою стабільністю параметрів та достатньою точністю вимірювань. У сучасних умовах часто застосовуються комбіновані датчики, що одночасно вимірюють температуру та вологість повітря. Такий підхід дозволяє зменшити кількість обладнання та спростити монтаж системи.

Окрему категорію становлять датчики концентрації вуглекислого газу. Значення цих датчиків постійно зростає через підвищення вимог до якості повітря в житлових приміщеннях. Найбільш поширеним принципом вимірювання концентрації CO<sub>2</sub> є інфрачервона абсорбція. Датчики такого типу дозволяють отримувати досить точні результати та характеризуються тривалим терміном експлуатації. Контроль концентрації вуглекислого газу дає можливість організувати роботу вентиляції залежно від фактичної кількості людей у приміщенні, що забезпечує суттєву економію енергетичних ресурсів.

Для підвищення функціональних можливостей систем автоматизації можуть також використовуватися датчики атмосферного тиску, освітленості, руху повітря та якості повітря. Хоча такі пристрої не завжди належать до обов'язкових елементів системи мікроклімату, їх використання дозволяє реалізувати більш складні алгоритми керування та підвищити рівень комфорту користувачів. Особливо це актуально для інтелектуальних систем, які прагнуть максимально адаптувати параметри середовища до поточних умов експлуатації.

Центральним елементом будь-якої автоматизованої системи є контролер. Саме він виконує функції обробки інформації, аналізу стану об'єкта та формування керуючих впливів. У сучасних системах мікроклімату використовуються як промислові програмовані логічні контролери, так і спеціалізовані мікроконтролерні платформи. Вибір конкретного рішення

залежить від складності системи, вимог до надійності та економічних обмежень.

Промислові контролери характеризуються високою надійністю, стійкістю до впливу зовнішніх факторів та широкими можливостями інтеграції з різноманітним обладнанням. Вони розраховані на безперервну роботу протягом тривалого часу та можуть використовуватися в умовах значних коливань температури, вологості та електромагнітних завад. Саме тому програмовані логічні контролери широко застосовуються в промисловості та системах автоматизації будівель.

Поряд із промисловими контролерами дедалі більшого поширення набувають сучасні мікроконтролерні платформи. Їх перевагами є відносно невисока вартість, висока продуктивність, підтримка бездротових каналів зв'язку та простота програмування. Такі контролери дозволяють реалізувати складні алгоритми обробки даних і забезпечити інтеграцію системи з мобільними пристроями та хмарними сервісами. Розвиток технологій Інтернету речей сприяв значному зростанню популярності подібних рішень у сфері побутової автоматизації.

Для реалізації керуючих впливів використовуються різноманітні виконавчі механізми. До них належать електромагнітні клапани, сервоприводи, реле, контактори, вентилятори, насоси, електричні нагрівачі та інші пристрої. Саме вони безпосередньо впливають на параметри мікроклімату шляхом зміни режимів роботи інженерних систем будинку.

У системах опалення найбільшого поширення набули циркуляційні насоси та регулюючі клапани. Насоси забезпечують рух теплоносія по трубопроводах системи опалення, а клапани дозволяють регулювати кількість теплової енергії, що надходить до окремих контурів або приміщень. Автоматичне керування такими пристроями забезпечує підтримання необхідної температури з високою точністю та мінімізує непродуктивні втрати енергії.

У вентиляційних системах основними виконавчими механізмами виступають вентилятори та повітряні заслінки. Зміна швидкості обертання вентиляторів або положення заслінок дозволяє регулювати інтенсивність повітрообміну залежно від поточних потреб приміщення. Такий підхід забезпечує ефективне використання електроенергії та сприяє створенню комфортного середовища для користувачів.

Суттєву роль у сучасних системах автоматизації відіграють засоби передачі даних. Для обміну інформацією між окремими елементами системи можуть використовуватися як дротові, так і бездротові канали зв'язку. Дротові інтерфейси характеризуються високою надійністю передачі інформації та стійкістю до електромагнітних завад. Водночас бездротові технології забезпечують значно більшу гнучкість монтажу та дозволяють легко інтегрувати нові пристрої без необхідності прокладання додаткових кабельних ліній.

Особливого значення набуває питання забезпечення надійності функціонування автоматизованих систем. Оскільки система мікроклімату безпосередньо впливає на умови проживання людей, вона повинна забезпечувати безперервну роботу навіть у разі виникнення окремих несправностей. Для цього застосовуються джерела резервного живлення, системи самодіагностики, захист від перенапруг та засоби контролю справності обладнання. Використання таких рішень дозволяє суттєво підвищити експлуатаційну надійність системи та зменшити ризик виникнення аварійних ситуацій.

Сучасні тенденції розвитку технічних засобів автоматизації спрямовані на підвищення рівня інтеграції, інтелектуалізації та енергоефективності систем. Дедалі більшого значення набувають пристрої, здатні не лише виконувати окремі функції вимірювання або керування, а й здійснювати попередню обробку інформації безпосередньо на місці її отримання. Це дозволяє зменшити навантаження на центральний контролер та підвищити загальну швидкодію системи.

Таким чином, аналіз технічних засобів автоматизації показує, що сучасний рівень розвитку апаратного забезпечення дозволяє створювати високоефективні системи керування мікрокліматом, здатні забезпечувати комфортні умови проживання, високу енергоефективність та можливість реалізації складних адаптивних алгоритмів керування. Саме на основі таких технічних засобів доцільно здійснювати розроблення автоматизованої системи керування мікрокліматом приватного будинку, що є предметом даної роботи.

### **1.5 Висновки до розділу 1**

У першому розділі було проведено аналіз сучасних підходів до автоматизації систем керування мікрокліматом приватних будинків та визначено основні фактори, що впливають на необхідність впровадження таких систем. Встановлено, що забезпечення комфортних умов проживання людини є складним технічним завданням, яке потребує постійного контролю та регулювання параметрів внутрішнього середовища. Сучасні тенденції розвитку житлового будівництва, спрямовані на підвищення енергоефективності будівель, призводять до збільшення герметичності приміщень, що, своєю чергою, підвищує вимоги до систем вентиляції, опалення та кондиціювання повітря.

У ході аналізу було встановлено, що основними параметрами мікроклімату, які визначають комфортність перебування людини в житлових приміщеннях, є температура повітря, відносна вологість, концентрація вуглекислого газу та інтенсивність повітрообміну. Саме ці показники найбільш суттєво впливають на самопочуття людини, її працездатність та загальний рівень комфорту. Підтримання зазначених параметрів у нормативних межах є необхідною умовою створення здорового та безпечного житлового середовища.

Проведений аналіз існуючих систем автоматизації показав, що сучасні рішення поступово переходять від традиційного підтримання фіксованих

установ до використання адаптивних алгоритмів керування. Значного поширення набули погодозалежні системи регулювання опалення, автоматизовані системи вентиляції з контролем якості повітря, кондиціонування з інтелектуальним керуванням та системи рекуперації тепла. Застосування таких рішень дозволяє одночасно підвищити рівень комфорту користувачів та знизити споживання енергетичних ресурсів.

Окрему увагу було приділено аналізу перспективних напрямків розвитку систем керування мікрокліматом. Встановлено, що одним із найбільш перспективних напрямків є використання персоналізованого підходу до керування параметрами середовища. На відміну від традиційних систем, які орієнтуються на усереднені нормативні значення, персоналізовані системи враховують індивідуальні особливості користувачів, їх рівень активності, режим дня та поточний фізіологічний стан. Реалізація такого підходу стала можливою завдяки широкому поширенню носимих електронних пристроїв, здатних здійснювати моніторинг параметрів організму людини в режимі реального часу.

У результаті аналізу технічних засобів автоматизації встановлено, що сучасна елементна база дозволяє створювати високоефективні системи керування мікрокліматом із широкими функціональними можливостями. Для контролю параметрів середовища можуть використовуватися цифрові датчики температури, вологості та концентрації вуглекислого газу, які забезпечують необхідну точність вимірювання та надійність роботи. Виконавчі механізми у вигляді вентиляторів, насосів, клапанів та сервоприводів дозволяють реалізувати автоматичне регулювання параметрів мікроклімату відповідно до заданих алгоритмів керування.

На підставі проведеного аналізу зроблено висновок про доцільність розроблення автоматизованої системи керування мікрокліматом приватного будинку, яка поєднуватиме функції контролю температури, вологості та якості повітря із можливістю адаптації до індивідуальних потреб користувача. Як перспективний напрямок розвитку запропоновано

використання даних, отриманих від смарт-годинника або інших носимих пристроїв, для автоматичного коригування параметрів мікроклімату залежно від фізіологічного стану людини. Крім того, система повинна враховувати параметри зовнішнього середовища та формувати комфортний внутрішній мікроклімат шляхом реалізації принципу позитивного контрасту між зовнішніми та внутрішніми умовами.

Отримані результати створюють теоретичну основу для виконання наступного розділу роботи, присвяченого вибору та обґрунтуванню елементної бази автоматизованої системи керування мікрокліматом приватного будинку, а також розробленню її структурної схеми та алгоритмів функціонування.

## **РОЗДІЛ 2. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ**

### **2.1 Вибір контрольованих параметрів системи керування мікрокліматом**

Під час розроблення автоматизованої системи керування мікрокліматом одним із найважливіших етапів є визначення параметрів, які підлягають контролю та регулюванню. Саме від правильності вибору контрольованих величин залежить ефективність функціонування системи, її здатність забезпечувати комфортні умови проживання та рівень енергоефективності будинку. Недостатня кількість контрольованих параметрів не дозволяє повною мірою оцінювати стан внутрішнього середовища, тоді як надмірне ускладнення системи призводить до збільшення її вартості та складності експлуатації.

Для житлових приміщень основною метою автоматизованого керування є підтримання комфортного середовища для людини. На відміну від виробничих об'єктів, де технологічні процеси мають жорстко визначені вимоги до параметрів середовища, житлові приміщення повинні забезпечувати комфортні умови перебування людей різного віку, рівня активності та індивідуальних фізіологічних особливостей. Саме тому система повинна не лише контролювати параметри мікроклімату, але й створювати умови для їх адаптації до конкретних потреб користувача.

У результаті проведеного аналізу встановлено, що до основних параметрів, які повинні контролюватися автоматизованою системою, належать температура повітря, відносна вологість повітря, концентрація вуглекислого газу, температура теплоносія системи опалення та температура зовнішнього середовища.

Температура повітря є базовим параметром мікроклімату та безпосередньо впливає на тепловий комфорт людини. Відхилення температури навіть на декілька градусів можуть суттєво впливати на самопочуття мешканців будинку. Саме тому система повинна здійснювати

постійний контроль температури та автоматично регулювати роботу опалювального обладнання або систем кондиціонування залежно від поточних умов. Особливістю запропонованої системи є можливість зміни температурних уставок відповідно до режиму активності користувача. Наприклад, під час сну система може автоматично підтримувати нижчу температуру, ніж у період активної діяльності.

Другим важливим параметром є відносна вологість повітря. Вологість істотно впливає на тепловідчуття людини та ефективність природних механізмів терморегуляції організму. Надмірно сухе повітря викликає дискомфорт, пересихання слизових оболонок та підвищує ризик виникнення респіраторних захворювань. Надмірна вологість сприяє розвитку грибків та плісняви, погіршує якість повітря та може негативно впливати на будівельні конструкції. Тому підтримання оптимального рівня вологості є необхідною умовою забезпечення комфортного мікроклімату.

Наступним контрольованим параметром є концентрація вуглекислого газу. У сучасних герметичних будинках саме цей показник часто визначає якість повітря в приміщенні. Збільшення концентрації CO<sub>2</sub> свідчить про недостатню інтенсивність вентиляції та погіршення умов перебування людей. Автоматичний контроль цього параметра дозволяє регулювати роботу вентиляційної системи відповідно до фактичного рівня забруднення повітря та забезпечувати необхідний повітрообмін лише тоді, коли це дійсно потрібно.

Для ефективного керування системою опалення доцільно контролювати температуру теплоносія. Даний параметр дозволяє оцінювати ефективність роботи теплогенеруючого обладнання та оптимізувати витрати енергії. Крім того, контроль температури теплоносія необхідний для реалізації погодозалежного регулювання та забезпечення стабільної роботи всієї системи тепlopостачання.

Особливе значення для розроблюваної системи має температура зовнішнього середовища. На відміну від традиційних систем керування, які

реагують лише на зміни внутрішніх параметрів, запропонована система повинна враховувати погодні умови та адаптувати власні алгоритми функціонування до змін зовнішнього середовища. Такий підхід дозволяє реалізувати принцип позитивного контрасту між зовнішнім та внутрішнім середовищем, який є одним із ключових елементів даної роботи.

Сутність принципу позитивного контрасту полягає в тому, що система не підтримує постійні незмінні параметри мікроклімату, а формує такі умови, які забезпечують максимальне відчуття комфорту відносно поточного стану навколишнього середовища. Наприклад, у холодний зимовий період система створює теплий і комфортний внутрішній простір без надмірного перегріву приміщення. У літній період вона забезпечує охолодження повітря таким чином, щоб уникнути різких температурних перепадів між вулицею та будинком.

Крім перелічених параметрів, перспективним напрямком розвитку системи є використання даних, отриманих від носимих пристроїв користувача. Сучасні смарт-годинники здатні визначати частоту серцевих скорочень, рівень фізичної активності, якість сну та інші показники, які можуть використовуватися для адаптації параметрів мікроклімату до поточного фізіологічного стану людини. У межах даної роботи зазначені дані розглядаються як додаткове джерело інформації для коригування режимів роботи системи.

Таким чином, для забезпечення ефективного функціонування автоматизованої системи керування мікрокліматом доцільно здійснювати контроль температури повітря, відносної вологості, концентрації вуглекислого газу, температури теплоносія та температури зовнішнього середовища. Саме зазначені параметри забезпечують достатній рівень інформації для реалізації алгоритмів автоматичного керування та створення комфортних умов проживання в приватному будинку.

## **2.2 Вибір та обґрунтування датчиків системи керування мікрокліматом**

Одним із найважливіших етапів проєктування автоматизованої системи керування мікрокліматом є вибір первинних вимірювальних перетворювачів, за допомогою яких здійснюється отримання інформації про стан контрольованого об'єкта. Саме датчики формують інформаційну основу роботи всієї системи, оскільки будь-який алгоритм керування може функціонувати лише за наявності достовірних даних про параметри внутрішнього та зовнішнього середовища. Помилки вимірювання або недостатня точність датчиків можуть призводити до формування неправильних керуючих впливів, погіршення комфортності проживання та збільшення витрат енергетичних ресурсів.

Під час вибору датчиків для системи керування мікрокліматом необхідно враховувати декілька основних критеріїв. До них належать точність вимірювання, стабільність характеристик протягом тривалого часу експлуатації, простота інтеграції до контролера, енергоспоживання, вартість та надійність роботи в умовах житлового приміщення. Оскільки розроблювана система орієнтована на використання сучасного мікроконтролера ESP32, Рисунок 2.1, доцільним є застосування цифрових датчиків, які забезпечують безпосередню передачу результатів вимірювання в цифровому форматі та не потребують складних схем обробки аналогових сигналів.



Рис 2.1 Мікроконтролер ESP32

Для контролю температури та відносної вологості повітря пропонується використовувати цифровий датчик SHT31, Рисунок 2.2. Даний пристрій належить до сучасного покоління високоточних комбінованих сенсорів та дозволяє одночасно здійснювати вимірювання двох основних параметрів мікроклімату. Використання одного комбінованого датчика замість двох окремих вимірювальних пристроїв дозволяє зменшити кількість обладнання, спростити монтаж та підвищити загальну надійність системи.



Рис 2.2 Цифровий датчик температури та відносної вологості повітря  
SHT31

Принцип роботи датчика базується на використанні окремих вимірювальних елементів для контролю температури та вологості. Вбудований мікропроцесор здійснює обробку отриманих сигналів та передає готові результати вимірювання контролеру через цифровий інтерфейс. Важливою перевагою SHT31 є висока точність вимірювання температури та вологості в широкому діапазоні умов експлуатації. Крім того, датчик характеризується низьким енергоспоживанням та високою довгостроковою стабільністю параметрів.

Застосування SHT31 у даній системі дозволяє забезпечити безперервний контроль двох основних параметрів мікроклімату та реалізувати алгоритми автоматичного керування опаленням, вентиляцією та зволоженням повітря. Отримані дані використовуватимуться для оцінювання комфортності внутрішнього середовища та формування керуючих сигналів для виконавчих механізмів.

Для контролю концентрації вуглекислого газу в повітрі доцільно застосувати датчик МН-Z19В, Рисунок 2.3. Даний пристрій належить до класу інфрачервоних датчиків концентрації CO<sub>2</sub> та широко використовується в системах автоматизації житлових і громадських будівель. Основною перевагою такого типу датчиків є висока точність вимірювання та відсутність необхідності частого технічного обслуговування.



Рис 2.3 Датчик контролю концентрації вуглекислого газу МН-Z19В

Принцип роботи МН-Z19В базується на здатності молекул вуглекислого газу поглинати інфрачервоне випромінювання певної довжини хвилі. Усередині датчика розташовані інфрачервоний випромінювач та фотоприймач. Під час проходження випромінювання через досліджуване повітря частина енергії поглинається молекулами CO<sub>2</sub>. Аналізуючи зміну інтенсивності випромінювання, датчик визначає концентрацію вуглекислого газу в повітрі та передає результат до контролера.

Використання датчика  $\text{CO}_2$  є важливим елементом запропонованої системи, оскільки саме концентрація вуглекислого газу може виступати одним із головних критеріїв керування вентиляцією. У разі перевищення допустимих значень система автоматично збільшуватиме продуктивність вентиляційного обладнання. Такий підхід дозволяє забезпечити якісне повітряне середовище та водночас уникнути зайвих витрат електроенергії.

Для контролю температури теплоносія системи опалення пропонується використовувати цифровий датчик DS18B20, Рисунок 2.4. Даний датчик широко застосовується в автоматизованих системах керування завдяки простоті використання, достатній точності вимірювання та високій надійності роботи. Його конструкція дозволяє використовувати спеціальні захисні металеві гільзи, що забезпечує можливість встановлення безпосередньо на трубопроводах або в технологічних вузлах системи опалення.

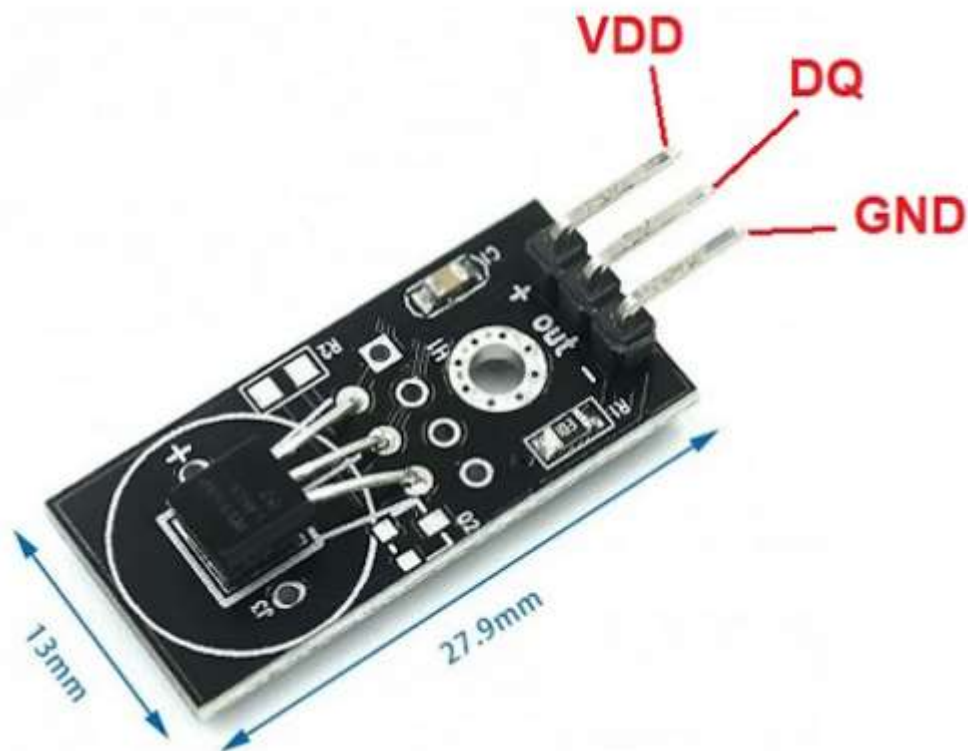


Рис 2.4 Датчик контролю температури теплоносія системи опалення  
DS18B20

Принцип роботи DS18B20 базується на використанні напівпровідникового температурного сенсора та вбудованого аналого-цифрового перетворювача. Отримані результати вимірювання передаються контролеру в цифровому вигляді через інтерфейс OneWire. Особливістю цього інтерфейсу є можливість підключення декількох датчиків до однієї лінії зв'язку, що значно спрощує побудову системи та зменшує кількість кабельних з'єднань.

Температура теплоносія є важливим параметром для оцінювання ефективності роботи системи опалення та реалізації погодозалежного регулювання. Отримуючи інформацію про температуру теплоносія, контролер може визначати необхідність зміни режимів роботи опалювального обладнання та забезпечувати більш точне підтримання заданої температури повітря в приміщеннях.

Для контролю температури зовнішнього середовища також доцільно використовувати датчик DS18B20 у герметичному виконанні. Застосування однакових типів датчиків для вимірювання температури теплоносія та зовнішнього повітря дозволяє уніфікувати елементну базу системи та спростити її обслуговування. Зовнішній датчик встановлюється на зовнішній стіні будинку в місці, захищеному від прямого сонячного випромінювання та атмосферних опадів.

Контроль температури навколишнього середовища необхідний для реалізації погодозалежних алгоритмів керування та принципу позитивного контрасту, який покладено в основу даної роботи. Аналізуючи зовнішні погодні умови, система може прогнозувати зміну теплового навантаження будинку та заздалегідь коригувати режими роботи обладнання.

Важливою особливістю запропонованої системи є можливість використання додаткових джерел інформації про стан користувача. У сучасних умовах такими джерелами можуть виступати смарт-годинники та фітнес-браслети. Хоча ці пристрої не належать до класичних датчиків систем автоматизації, вони здатні надавати інформацію про фізіологічний стан

людини, рівень її активності та якість сну. Передача таких даних до центрального контролера через смартфон або безпосередньо через бездротові канали зв'язку дозволяє реалізувати адаптивне керування мікрокліматом та підвищити рівень персоналізації системи.

При виборі датчиків також необхідно враховувати питання надійності та довговічності роботи. Усі обрані пристрої мають достатній ресурс експлуатації, характеризуються стійкістю до впливу факторів навколишнього середовища та підтримуються великою кількістю програмних бібліотек для роботи з контролером ESP32. Це значно спрощує процес розроблення програмного забезпечення та забезпечує можливість подальшої модернізації системи.

Таким чином, для контролю основних параметрів мікроклімату доцільно використовувати датчик температури та вологості SHT31, датчик концентрації вуглекислого газу MH-Z19B, а також цифрові датчики температури DS18B20 для вимірювання температури теплоносія та зовнішнього повітря. Обрана елементна база забезпечує необхідну точність вимірювань, високу надійність роботи та повністю відповідає вимогам автоматизованої системи керування мікрокліматом приватного будинку.

### **2.3 Вибір та обґрунтування центрального контролера системи керування**

Центральний контролер є ключовим елементом будь-якої автоматизованої системи, оскільки саме він забезпечує збір інформації від датчиків, виконання алгоритмів обробки даних, формування керуючих сигналів та координацію роботи всіх компонентів системи. Від правильності вибору контролера значною мірою залежить функціональність, надійність, можливість подальшого розвитку та загальна ефективність автоматизованої системи керування мікрокліматом.

У сучасних системах автоматизації можуть використовуватися різні типи контролерів. Найбільш поширеними є програмовані логічні контролери

промислового призначення, спеціалізовані контролери для систем «розумного будинку» та універсальні мікроконтролерні платформи. Кожне з цих рішень має власні переваги та недоліки, тому вибір повинен здійснюватися з урахуванням особливостей конкретного об'єкта автоматизації.

Промислові програмовані логічні контролери традиційно використовуються в системах автоматизації виробничих процесів. Вони характеризуються високою надійністю, стійкістю до електромагнітних завад та можливістю роботи в складних умовах експлуатації. Однак для автоматизації приватного будинку застосування таких пристроїв не завжди є економічно доцільним. Крім відносно високої вартості, промислові контролери часто мають обмежені можливості бездротового зв'язку та інтеграції з мобільними пристроями, що ускладнює реалізацію сучасних концепцій інтелектуального керування.

Іншим варіантом є використання спеціалізованих контролерів систем «розумного будинку». Такі рішення зазвичай мають розвинені засоби інтеграції з побутовим обладнанням та підтримують популярні протоколи автоматизації. Разом із тим вони часто прив'язані до конкретних виробників програмного забезпечення або обладнання, що може обмежувати можливості модернізації та розширення системи в майбутньому.

З урахуванням поставлених завдань найбільш доцільним рішенням для даної роботи є використання мікроконтролерної платформи ESP32. Цей контролер поєднує достатньо високу продуктивність, широкий набір комунікаційних можливостей, простоту програмування та доступну вартість. Саме ці характеристики роблять його одним із найпоширеніших рішень у сфері автоматизації житлових будівель та систем Інтернету речей.

Однією з головних переваг ESP32 є наявність вбудованих модулів Wi-Fi та Bluetooth. Це дозволяє організувати обмін інформацією між контролером, мобільними пристроями користувача та зовнішніми сервісами без застосування додаткового обладнання. Для системи керування

мікрокліматом така можливість має особливе значення, оскільки забезпечує дистанційний моніторинг параметрів середовища, віддалене керування обладнанням та інтеграцію з носимими пристроями.

Застосування Bluetooth відкриває перспективу використання смарт-годинників як додаткового джерела інформації про стан користувача. Сучасні носимі пристрої можуть визначати частоту серцевих скорочень, рівень фізичної активності, якість сну, температуру поверхні шкіри та інші параметри, які характеризують поточний фізіологічний стан людини. Передача цих даних до системи автоматизації дозволяє реалізувати принцип персоналізованого керування мікрокліматом, що є одним із ключових елементів даної роботи.

Не менш важливою перевагою ESP32 є його висока обчислювальна продуктивність. Контролер оснащений двоядерним процесором, що дозволяє одночасно виконувати декілька функцій. Наприклад, один із процесорних ядер може використовуватися для обробки даних від датчиків та виконання алгоритмів керування, тоді як друге ядро забезпечуватиме роботу мережевих сервісів, передачу інформації через Wi-Fi та взаємодію з користувачем. Така архітектура дозволяє підвищити стабільність роботи системи та забезпечити швидке реагування на зміни параметрів мікроклімату.

Важливим фактором є також наявність великої кількості входів і виходів. Контролер підтримує роботу з цифровими та аналоговими сигналами, інтерфейсами I<sup>2</sup>C, UART, SPI та іншими протоколами обміну даними, Рисунок 2.4. Завдяки цьому забезпечується можливість одночасного підключення декількох датчиків температури, вологості, концентрації CO<sub>2</sub>, а також різноманітних виконавчих механізмів без необхідності використання додаткових модулів розширення.

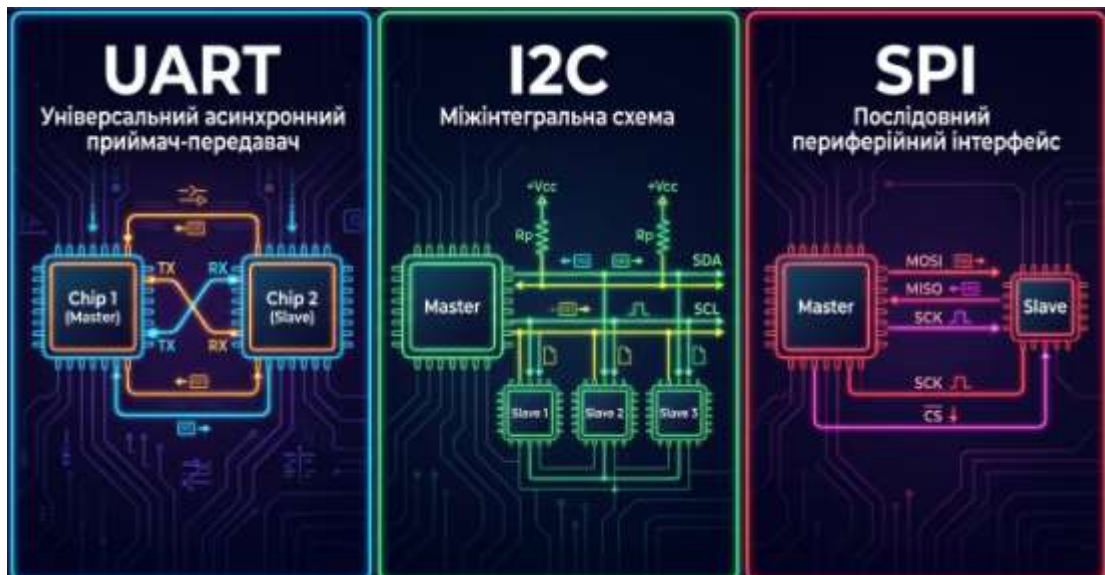


Рис 2.5 Інтерфейси системи I<sup>2</sup>C, UART, SPI

Для автоматизованої системи мікроклімату важливим є питання енергоспоживання. Контролер ESP32 характеризується низьким споживанням електричної енергії та підтримує декілька режимів енергозбереження. Хоча дана система передбачає постійне живлення від електричної мережі будинку, низьке енергоспоживання сприяє підвищенню загальної енергоефективності обладнання та зменшує тепловиділення всередині електронних вузлів.

Особливе значення для даної роботи має можливість реалізації складних алгоритмів керування. На відміну від класичних систем, які підтримують фіксовані уставки температури та вологості, запропонована система повинна здійснювати адаптивне регулювання параметрів мікроклімату. Для цього контролер повинен аналізувати дані від внутрішніх датчиків, враховувати температуру зовнішнього середовища, обробляти інформацію від смарт-годинника та формувати оптимальні керуючі впливи відповідно до поточного стану користувача.

Наприклад, якщо система визначає, що користувач перебуває в стані сну, температура повітря може автоматично знижуватися до більш комфортного для відпочинку рівня. У разі підвищення фізичної активності або повернення людини додому після тренування система може збільшувати

інтенсивність вентиляції та коригувати температурний режим приміщення. Реалізація подібних алгоритмів потребує достатнього запасу обчислювальних ресурсів, які забезпечуються контролером ESP32.

Ще однією важливою перевагою є можливість підключення до погодних сервісів через мережу Інтернет. Отримуючи інформацію про температуру, вологість та інші погодні параметри, система може прогнозувати зміну умов навколишнього середовища та завчасно коригувати власний режим роботи. Саме на основі таких даних у подальшому буде реалізовано принцип позитивного контрасту між внутрішнім і зовнішнім середовищем.

Сутність цього принципу полягає в тому, що система не підтримує однаковий температурний режим незалежно від зовнішніх умов, а формує найбільш комфортне середовище відносно поточного стану навколишнього середовища. Для реалізації такого підходу необхідно постійно аналізувати значну кількість даних та виконувати адаптивні розрахунки, що також підтверджує доцільність використання сучасного високопродуктивного контролера.

Необхідно також зазначити, що ESP32 має широку підтримку програмних засобів розробки та велику спільноту користувачів. Це значно спрощує створення програмного забезпечення, дозволяє використовувати готові бібліотеки для роботи з датчиками та мережевими сервісами, а також забезпечує можливість подальшого розвитку системи без значних додаткових витрат.

Таким чином, проведений аналіз показує, що контролер ESP32 найбільш повно відповідає вимогам автоматизованої системи керування мікрокліматом приватного будинку. Його технічні характеристики забезпечують можливість збору та обробки інформації від усіх необхідних датчиків, реалізацію адаптивних алгоритмів керування, інтеграцію зі смарт-годинниками та мобільними пристроями, а також підтримку концепції

персоналізованого керування мікрокліматом. Саме тому даний контролер прийнято як центральний елемент розроблюваної системи автоматизації.

## **2.4 Вибір та обґрунтування виконавчих механізмів системи керування мікрокліматом**

Після визначення контрольованих параметрів та вибору засобів їх вимірювання наступним етапом розроблення автоматизованої системи є вибір виконавчих механізмів. Саме виконавчі пристрої забезпечують безпосередній вплив на об'єкт керування та реалізують команди, сформовані центральним контролером. Від правильності вибору виконавчих механізмів залежить швидкодія системи, точність регулювання параметрів мікроклімату та загальна ефективність функціонування автоматизованого комплексу.

Особливістю систем керування мікрокліматом є необхідність впливу одночасно на декілька параметрів середовища. Для підтримання комфортних умов проживання необхідно здійснювати регулювання температури повітря, вологості, інтенсивності вентиляції та теплового режиму системи опалення. У зв'язку з цим до складу системи повинні входити виконавчі механізми різного функціонального призначення, які працюватимуть як єдиний комплекс під керуванням центрального контролера.

Одним із найважливіших виконавчих елементів системи є вентиляційне обладнання. Саме вентиляція забезпечує надходження свіжого повітря до приміщення та видалення повітря, яке містить надлишкову вологість і підвищену концентрацію вуглекислого газу. Для реалізації даної функції пропонується використовувати каналний вентилятор із можливістю регулювання продуктивності.

Використання каналного вентилятора обумовлено його високою ефективністю, компактністю та можливістю інтеграції в систему повітропроводів приватного будинку. На відміну від звичайних побутових вентиляторів, каналні моделі забезпечують рівномірний розподіл повітряних потоків між приміщеннями та можуть працювати в

автоматичному режимі протягом тривалого часу. Зміна швидкості обертання вентилятора дозволяє плавно регулювати інтенсивність повітрообміну залежно від поточних потреб системи.

Автоматичне керування вентилятором здійснюється на основі даних про концентрацію вуглекислого газу та відносну вологість повітря. При підвищенні концентрації CO<sub>2</sub> або збільшенні вологості контролер формує команду на збільшення продуктивності вентиляції. У разі покращення параметрів повітряного середовища швидкість обертання вентилятора зменшується, що дозволяє економити електроенергію та знижувати рівень шуму.

Для більш ефективного регулювання повітряних потоків до складу системи доцільно включити сервопривід повітряної заслінки, Рисунок 2.5. Даний пристрій дозволяє автоматично змінювати положення заслінки залежно від команд контролера та регулювати кількість повітря, що надходить у приміщення. Застосування сервопривода забезпечує більш точне керування вентиляційною системою порівняно з режимом простого ввімкнення або вимкнення вентилятора.



Рис 2.6 Сервопривід повітряної заслінки

Важливою перевагою сервоприводів є можливість плавної зміни положення заслінки. Завдяки цьому система може забезпечувати оптимальний повітрообмін без різких змін режимів роботи вентиляції. Крім того, використання сервоприводів створює передумови для реалізації більш складних алгоритмів керування, які враховують як параметри внутрішнього середовища, так і зовнішні погодні умови.

Для забезпечення автоматичного регулювання теплового режиму будинку необхідно передбачити керування системою опалення. У даній роботі пропонується використовувати циркуляційний насос як один із основних виконавчих механізмів теплового контуру. Циркуляційний насос забезпечує рух теплоносія по системі трубопроводів та сприяє рівномірному розподілу теплової енергії між приміщеннями будинку.

Автоматизація роботи насоса дозволяє оптимізувати енергоспоживання та забезпечити більш ефективне використання теплової енергії. Контролер може змінювати режим роботи насоса залежно від температури повітря в приміщенні, температури теплоносія та зовнішніх погодних умов. Особливого значення така можливість набуває під час реалізації погодозалежного регулювання та адаптивного керування мікрокліматом.

Для регулювання подачі теплоносія доцільно використовувати електромагнітний клапан, Рисунок 2.6. Його основним призначенням є зміна витрати теплоносія відповідно до потреб системи. При досягненні заданої температури в приміщенні клапан може частково або повністю обмежувати подачу теплоносія, що дозволяє уникнути перегріву та знизити витрати енергії.



Рис 2.6 Електромагнітний клапан для регулювання подачі теплоносія

Застосування електромагнітних клапанів є одним із найбільш поширених рішень у сучасних системах автоматизації опалення. Вони характеризуються високою швидкістю, простотою конструкції та достатньою надійністю. Крім того, такі пристрої легко інтегруються до систем керування на базі мікроконтролерів та можуть використовуватися як у простих, так і в складних автоматизованих системах.

Для узгодження роботи центрального контролера з виконавчими механізмами необхідно використовувати проміжні пристрої комутації. У даній роботі для цього пропонується застосувати релейний модуль. Реле забезпечують електричне розділення низьковольтних кіл керування та силових кіл виконавчих механізмів. Це дозволяє захистити електронні компоненти контролера від впливу високих струмів та підвищити надійність роботи системи.

Релейний модуль повинен забезпечувати можливість незалежного керування вентилятором, насосом, клапаном та іншими виконавчими

пристроями. Такий підхід дозволяє реалізувати модульну структуру системи та забезпечити можливість її подальшого розширення без суттєвої модернізації апаратної частини.

Особливістю запропонованої системи є її орієнтація на адаптивне керування. На відміну від традиційних систем, які працюють за принципом підтримання постійних уставок, розроблювана система повинна враховувати індивідуальні особливості користувача та параметри навколишнього середовища. У зв'язку з цим виконавчі механізми повинні забезпечувати достатню гнучкість регулювання та підтримувати можливість плавної зміни режимів роботи.

Наприклад, у разі отримання від смарт-годинника інформації про перехід користувача в режим сну система може автоматично зменшувати температуру повітря, знижувати інтенсивність вентиляції та переходити в енергоощадний режим. У випадку підвищення фізичної активності користувача або його повернення додому після перебування на вулиці система може змінювати параметри роботи вентиляції та опалення таким чином, щоб забезпечити найбільш комфортні умови перебування.

Важливим аспектом є також можливість реалізації принципу позитивного контрасту між зовнішнім і внутрішнім середовищем. Для цього виконавчі механізми повинні забезпечувати достатню швидкість реагування на зміни погодних умов та дозволяти контролеру формувати оптимальний мікроклімат залежно від температури зовнішнього повітря. Саме тому було обрано обладнання, яке підтримує автоматичне регулювання та здатне працювати в широкому діапазоні режимів.

Таким чином, для реалізації автоматизованої системи керування мікрокліматом приватного будинку доцільно використовувати каналний вентилятор, сервопривід повітряної заслінки, циркуляційний насос, електромагнітний клапан та релейний модуль керування. Обрані виконавчі механізми забезпечують необхідний рівень функціональності, надійності та гнучкості регулювання, що дозволяє реалізувати як традиційні алгоритми

автоматичного керування, так і перспективні адаптивні методи формування комфортного мікроклімату.

## **2.5 Вибір та обґрунтування системи передачі даних та взаємодії зі смарт-годинником**

Ефективність функціонування сучасних автоматизованих систем значною мірою залежить від можливостей передачі інформації між окремими елементами системи. У класичних системах автоматизації обмін даними здійснювався переважно за допомогою дротових каналів зв'язку, що забезпечували високу надійність та стійкість до зовнішніх впливів. Проте розвиток бездротових технологій суттєво змінив підходи до побудови автоматизованих систем, особливо у сфері житлової автоматизації та концепції «розумного будинку».

Особливістю розроблюваної системи керування мікрокліматом є необхідність одночасної взаємодії з декількома групами пристроїв. До першої групи належать датчики внутрішнього середовища, які здійснюють вимірювання температури, вологості та концентрації вуглекислого газу. Друга група представлена виконавчими механізмами, що реалізують керуючі впливи на об'єкт керування. Третя група включає пристрої взаємодії з користувачем, а саме смартфон та смарт-годинник, які використовуються для передачі персоналізованої інформації про поточний стан людини.

При виборі системи передачі даних необхідно враховувати декілька важливих критеріїв. Насамперед це надійність обміну інформацією, швидкість передачі даних, енергоспоживання, простота інтеграції обладнання та можливість подальшого розширення системи. Крім того, важливим фактором є підтримка сучасних мобільних пристроїв, оскільки саме вони виступають основним інтерфейсом взаємодії користувача із системою.

Для внутрішнього обміну даними між контролером та датчиками доцільно використовувати цифрові інтерфейси зв'язку. Такі інтерфейси

забезпечують високу завадостійкість, спрощують процес програмування та дозволяють зменшити вплив похибок, характерних для аналогових систем передачі інформації. Застосування цифрових протоколів також дозволяє легко масштабувати систему та підключати додаткові датчики без суттєвої модернізації апаратної частини.

Для організації взаємодії між центральним контролером та користувачем пропонується використовувати бездротові технології Wi-Fi та Bluetooth, які підтримуються контролером ESP32 на апаратному рівні. Такий підхід дозволяє відмовитися від додаткових комунікаційних модулів та спростити структуру системи.

Технологія Wi-Fi забезпечує доступ системи до локальної мережі будинку та мережі Інтернет. Завдяки цьому користувач отримує можливість дистанційно контролювати параметри мікроклімату, переглядати статистичну інформацію та змінювати режими роботи обладнання незалежно від свого місцезнаходження. Крім того, використання Wi-Fi дозволяє отримувати інформацію від зовнішніх погодних сервісів, яка використовується для реалізації погодозалежних алгоритмів керування.

Особливе значення для даної роботи має використання Bluetooth як каналу взаємодії зі смарт-годинником. Саме ця технологія забезпечує передачу інформації про фізіологічний стан користувача до автоматизованої системи керування мікрокліматом. На відміну від традиційних систем, які орієнтуються виключно на параметри навколишнього середовища, запропонована система повинна враховувати особливості конкретної людини та адаптувати умови проживання відповідно до її поточного стану.

Сучасні смарт-годинники являють собою складні електронні пристрої, оснащені великою кількістю сенсорів та засобів аналізу фізіологічних показників. Залежно від моделі пристрою можуть вимірюватися частота серцевих скорочень, рівень фізичної активності, кількість пройдених кроків, тривалість та якість сну, рівень стресу, температура поверхні шкіри та інші

параметри. Отримані дані можуть використовуватися для формування більш точного уявлення про потреби користувача в конкретний момент часу.

У запропонованій системі смарт-годинник не використовується як самостійний елемент керування. Передбачається, що передача інформації відбуватиметься через смартфон користувача, який виступатиме проміжною ланкою між носимим пристроєм та контролером ESP32. Такий підхід є найбільш реалістичним з технічної точки зору, оскільки більшість сучасних смарт-годинників уже інтегровані зі смартфонами та використовують їх для обробки й синхронізації інформації.

Структура інформаційного обміну в цьому випадку має вигляд: смарт-годинник — смартфон — контролер ESP32 — система керування мікрокліматом. Отримані від годинника дані аналізуються мобільним застосунком і передаються до контролера через локальну мережу або безпосередньо через бездротовий канал зв'язку. Контролер використовує цю інформацію як додатковий вхідний параметр для коригування режимів роботи системи.

Однією з переваг такого підходу є можливість реалізації різних рівнів адаптації. Наприклад, система може визначати перебування користувача вдома або поза межами будинку. У разі відсутності людей автоматично активується енергоощадний режим, який зменшує інтенсивність роботи опалення та вентиляції. Після повернення користувача додому система завчасно переходить до комфортного режиму функціонування.

Додатковою перевагою використання смарт-годинника є можливість врахування добових біологічних ритмів людини. Сучасні носимі пристрої здатні досить точно визначати періоди активності та сну. Отримання такої інформації дозволяє автоматично змінювати параметри мікроклімату залежно від часу доби без необхідності ручного налаштування режимів роботи системи.

Особливого значення набуває використання даних про фізичну активність користувача. Після інтенсивного фізичного навантаження людина

зазвичай потребує більш інтенсивного повітрообміну та дещо нижчої температури повітря. Традиційні системи автоматизації не здатні враховувати такі особливості. Запропонована система, навпаки, використовує інформацію від смарт-годинника для адаптації параметрів середовища відповідно до поточного стану організму.

Ще одним важливим напрямком використання бездротових технологій є накопичення статистичних даних. Інформація про параметри мікроклімату, погодні умови та фізіологічний стан користувача може зберігатися в пам'яті системи та використовуватися для подальшого аналізу. На основі накопичених даних можлива реалізація алгоритмів прогнозування, які дозволять системі заздалегідь адаптуватися до зміни умов експлуатації та підвищувати ефективність власної роботи.

Таким чином, для забезпечення інформаційної взаємодії між окремими компонентами автоматизованої системи доцільно використовувати поєднання цифрових інтерфейсів, технологій Wi-Fi та Bluetooth. Запропонована структура обміну даними забезпечує надійне функціонування системи, підтримує можливість дистанційного керування та створює умови для реалізації персоналізованого адаптивного керування мікрокліматом на основі даних, отриманих від смарт-годинника користувача. Саме така організація інформаційного обміну найбільш повно відповідає сучасним тенденціям розвитку інтелектуальних систем автоматизації житлових будівель.

## **2.6 Розроблення структурної схеми автоматизованої системи керування мікрокліматом**

Після вибору основних компонентів автоматизованої системи необхідно сформулювати її структурну схему, яка визначає взаємозв'язки між окремими елементами та відображає загальні принципи функціонування системи. Структурна схема є одним із найважливіших етапів проектування,

оскільки саме на її основі надалі розробляються алгоритми керування, програмне забезпечення та функціональна схема автоматизації.

Особливістю запропонованої системи є поєднання традиційних засобів автоматичного керування мікрокліматом із сучасними технологіями персоналізації. На відміну від більшості існуючих рішень, які приймають рішення виключно на основі параметрів навколишнього середовища, дана система додатково використовує інформацію про фізіологічний стан користувача та поточні погодні умови. Такий підхід дозволяє перейти від звичайного підтримання нормативних параметрів до формування індивідуально адаптованого мікроклімату.

Центральним елементом структурної схеми є контролер ESP32. Саме він виконує функції збору інформації, її обробки та формування керуючих впливів на виконавчі механізми. Контролер отримує інформацію від усіх датчиків системи, аналізує поточний стан об'єкта керування та визначає оптимальні режими роботи обладнання відповідно до закладених алгоритмів.

До входів контролера підключаються датчики температури та вологості повітря SHT31, датчик концентрації вуглекислого газу MH-Z19B, датчик температури теплоносія та датчик температури зовнішнього середовища DS18B20. Сукупність цих пристроїв забезпечує отримання повної інформації про стан внутрішнього та зовнішнього середовища будинку.

Датчик температури та вологості здійснює постійний контроль основних параметрів мікроклімату приміщення. Отримані значення використовуються для керування опаленням, вентиляцією та іншими підсистемами забезпечення комфорту. Датчик концентрації CO<sub>2</sub> дозволяє оцінювати якість повітря та визначати необхідність зміни інтенсивності вентиляції. Контроль температури теплоносія забезпечує ефективне керування тепловим контуром системи опалення, а зовнішній температурний датчик використовується для реалізації погодозалежного регулювання.

Важливою особливістю структурної схеми є наявність каналу отримання персоналізованих даних від користувача. Джерелом такої

інформації виступає смарт-годинник, який здійснює моніторинг фізіологічних показників людини. Оскільки більшість сучасних годинників працює в парі зі смартфоном, передача інформації до контролера здійснюється через мобільний застосунок. Смартфон виступає проміжною ланкою між носимим пристроєм та системою автоматизації.

Отримані від смарт-годинника дані можуть включати інформацію про частоту серцевих скорочень, рівень фізичної активності, якість сну, тривалість відпочинку та інші показники, доступні конкретній моделі пристрою. На основі цих даних система отримує можливість адаптувати параметри мікроклімату відповідно до поточного стану користувача.

Окремим джерелом інформації є погодні сервіс, доступ до якого здійснюється через мережу Інтернет за допомогою модуля Wi-Fi контролера ESP32. Використання погодних даних дозволяє прогнозувати зміну умов навколишнього середовища та своєчасно коригувати режими роботи обладнання. На відміну від звичайного вимірювання температури зовнішнього повітря, погодні сервіс може надавати розширену інформацію, включаючи прогноз температури, вологості, атмосферного тиску та інших параметрів.

На основі отриманої інформації контролер виконує аналіз поточного стану системи та формує керуючі сигнали для виконавчих механізмів. До складу виконавчої частини системи входять каналний вентилятор, сервопривід повітряної заслінки, циркуляційний насос та електромагнітний клапан. Керування зазначеним обладнанням здійснюється через релейний модуль, який забезпечує узгодження низьковольтних сигналів контролера із силовими колами виконавчих механізмів.

Канальний вентилятор відповідає за забезпечення необхідного повітрообміну в приміщенні. Залежно від концентрації CO<sub>2</sub> та вологості система може змінювати інтенсивність вентиляції для підтримання комфортних умов проживання. Сервопривід повітряної заслінки

використовується для регулювання кількості свіжого повітря, що надходить до приміщення.

Циркуляційний насос забезпечує функціонування системи опалення та підтримання необхідного температурного режиму. Електромагнітний клапан дозволяє регулювати подачу теплоносія залежно від теплових потреб будинку. Спільна робота цих пристроїв забезпечує ефективне керування тепловим балансом приміщень.

Структурна схема передбачає наявність зворотного зв'язку між контрольованими параметрами та виконавчими механізмами. Після зміни режиму роботи обладнання датчики фіксують новий стан середовища та передають інформацію контролеру. Завдяки цьому система постійно оцінює ефективність власних дій та здійснює корекцію режимів роботи в разі необхідності.

Принцип функціонування запропонованої системи базується на багатофакторному аналізі вхідних даних. На відміну від традиційних систем, де рішення приймається переважно за одним або двома параметрами, запропонований підхід передбачає одночасне врахування внутрішнього мікроклімату, погодних умов та фізіологічного стану користувача. Це дозволяє реалізувати адаптивне керування та підвищити рівень комфорту без суттєвого збільшення енергоспоживання.

{{{

Таким чином, розроблена структурна схема забезпечує інтеграцію всіх необхідних елементів автоматизованої системи керування мікрокліматом та створює технічну основу для реалізації адаптивних алгоритмів керування, які враховують не лише параметри навколишнього середовища, а й індивідуальні особливості користувача.

## **2.7 Висновки до розділу 2**

У другому розділі було виконано вибір та обґрунтування елементної бази автоматизованої системи керування мікрокліматом приватного будинку.

На основі аналізу особливостей житлових приміщень та вимог до комфортного середовища визначено основні параметри, які підлягають контролю та регулюванню. До них віднесено температуру повітря, відносну вологість, концентрацію вуглекислого газу, температуру теплоносія системи опалення та температуру зовнішнього середовища.

Для контролю зазначених параметрів обрано сучасні цифрові датчики, які забезпечують необхідну точність вимірювання та високу надійність роботи. Для вимірювання температури та вологості використано датчик SHT31, для контролю концентрації вуглекислого газу — датчик MH-Z19B, а для вимірювання температури теплоносія та зовнішнього повітря — цифрові датчики DS18B20.

У результаті аналізу можливих варіантів центрального контролера встановлено доцільність використання мікроконтролера ESP32. Його технічні характеристики забезпечують достатню продуктивність для реалізації алгоритмів автоматичного керування, підтримку бездротових каналів зв'язку та можливість інтеграції з мобільними пристроями користувача.

Для реалізації керуючих впливів обрано комплекс виконавчих механізмів, до складу якого входять каналний вентилятор, сервопривід повітряної заслінки, циркуляційний насос, електромагнітний клапан та релейний модуль керування. Використання зазначених пристроїв дозволяє здійснювати регулювання основних параметрів мікроклімату та забезпечує можливість реалізації адаптивних режимів роботи системи.

Особливістю розробленої структури є використання бездротових технологій Wi-Fi та Bluetooth для організації інформаційного обміну між контролером, смартфоном користувача та смарт-годинником. Такий підхід створює передумови для реалізації персоналізованого керування мікрокліматом на основі фізіологічних показників людини.

Розроблена структурна схема системи забезпечує інтеграцію всіх функціональних елементів в єдиний автоматизований комплекс та створює

технічну основу для подальшої реалізації адаптивних алгоритмів керування. Отримані результати є достатніми для переходу до наступного розділу роботи, у якому буде виконано розроблення концепції інтелектуального керування мікрокліматом із використанням даних про стан користувача та параметри зовнішнього середовища.

## **РОЗДІЛ 3. ПРОЕКТНО-РЕКОМЕНДАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ**

### **3.1 Концепція адаптивного керування мікрокліматом на основі стану користувача та параметрів навколишнього середовища**

У більшості сучасних систем керування мікрокліматом використовується принцип підтримання заздалегідь встановлених параметрів середовища. Як правило, користувач задає бажану температуру повітря, допустимий діапазон вологості та інші параметри, після чого система підтримує їх на постійному рівні незалежно від змін зовнішніх умов або поточного стану людини. Незважаючи на широке застосування такого підходу, він має низку суттєвих обмежень.

Основним недоліком традиційних систем є орієнтація на усереднені нормативні значення параметрів мікроклімату. При цьому не враховується той факт, що потреби людини можуть суттєво змінюватися залежно від її фізіологічного стану, рівня активності, емоційного навантаження, часу доби та багатьох інших факторів. Наприклад, температура повітря, яка є комфортною під час активної роботи, може виявитися надмірною під час сну або відпочинку. Аналогічно інтенсивність вентиляції, достатня для однієї людини, може бути недостатньою після фізичного навантаження або перебування в приміщенні декількох осіб.

Ще одним недоліком традиційного підходу є недостатнє врахування зовнішніх погодних умов. У більшості випадків система намагається підтримувати однакову температуру в приміщенні як при температурі зовнішнього повітря  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , так і при  $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . З фізіологічної точки зору такий підхід не завжди є оптимальним. Людина сприймає комфорт не лише через абсолютні значення температури, а й через різницю між умовами зовнішнього та внутрішнього середовища.

З урахуванням зазначених особливостей у даній роботі пропонується використання адаптивної системи керування мікрокліматом, принцип функціонування якої базується на одночасному врахуванні трьох груп

факторів. До першої групи належать параметри внутрішнього середовища, які характеризують поточний стан мікроклімату в приміщенні. Друга група представлена параметрами зовнішнього середовища та погодними умовами. Третя група включає інформацію про фізіологічний стан користувача, отриману від смарт-годинника.



Рис 3.1 Смарт годинник – фітнес версія, для знімання параметрів тіла

Основною особливістю запропонованого підходу є відмова від жорстко фіксованих уставок. Замість цього система формує динамічні цільові значення параметрів мікроклімату залежно від поточної ситуації. Фактично відбувається постійна адаптація режимів роботи обладнання до умов експлуатації та потреб конкретного користувача.

Функціонування системи починається зі збору інформації від датчиків температури, вологості та концентрації вуглекислого газу. Паралельно здійснюється отримання даних про температуру зовнішнього середовища та погодні умови. Додатково через смартфон надходить інформація від смарт-

годинника користувача. Після цього контролер виконує комплексний аналіз усіх доступних даних та визначає найбільш доцільний режим роботи системи.

На відміну від класичних систем автоматизації, де основним завданням є мінімізація відхилення контрольованого параметра від заданого значення, запропонована система прагне забезпечити максимальний рівень суб'єктивного комфорту користувача. Саме тому рішення приймаються не лише на основі поточних значень температури або вологості, а й з урахуванням стану людини.

Одним із ключових принципів роботи системи є концепція персоналізованого мікроклімату. Суть цієї концепції полягає в тому, що оптимальні параметри середовища визначаються не загальними нормативами, а особливостями конкретного користувача. Наприклад, для людини, яка перебуває в стані сну, система автоматично підтримує один температурний режим, а для користувача, який займається фізичною активністю, — інший. Аналогічно можуть змінюватися режими вентиляції та інтенсивність повітрообміну.

Ще одним важливим принципом є використання позитивного контрасту між зовнішнім і внутрішнім середовищем. Даний принцип базується на особливостях людського сприйняття комфортності навколишнього середовища. Людина оцінює комфорт не лише через абсолютні значення температури або вологості, але й через їх відмінність від зовнішніх умов.

Наприклад, у зимовий період за температури зовнішнього повітря  $-15^{\circ}\text{C}$  температура в приміщенні  $22^{\circ}\text{C}$  сприймається як дуже комфортна. Водночас у літній період при температурі зовнішнього повітря  $+35^{\circ}\text{C}$  підтримання в приміщенні температури  $22^{\circ}\text{C}$  може створювати надмірний температурний контраст, який негативно впливає на адаптацію організму. У зв'язку з цим запропонована система повинна не просто підтримувати задані

параметри, а формувати найбільш сприятливий рівень контрасту між внутрішнім та зовнішнім середовищем.

Для реалізації зазначеної концепції система постійно аналізує погодні умови та визначає рекомендований діапазон параметрів внутрішнього середовища. При цьому враховується не лише температура зовнішнього повітря, але й вологість, сезон року та характер змін погодних умов. Такий підхід дозволяє забезпечити більш природне сприйняття мікроклімату та підвищити комфортність перебування в приміщенні.

Особливе значення має інтеграція системи зі смарт-годинником користувача. Сучасні носимі пристрої здатні накопичувати значний обсяг інформації про фізіологічний стан людини. Використання цих даних відкриває нові можливості для адаптивного керування, які практично відсутні в традиційних системах автоматизації будівель.

Фактично запропонована система переходить від концепції «комфортного приміщення» до концепції «комфортного користувача». Головною метою стає не підтримання певних числових значень параметрів середовища, а створення умов, які найбільшою мірою відповідають потребам конкретної людини в конкретний момент часу.

Таким чином, запропонована концепція адаптивного керування поєднує переваги традиційних систем автоматизації з можливостями сучасних цифрових технологій та персоналізованого підходу до формування мікроклімату. Реалізація такого підходу дозволяє підвищити рівень комфорту користувачів, оптимізувати енергоспоживання та створити передумови для подальшого розвитку інтелектуальних систем керування житловими будівлями.

### **3.2 Використання даних смарт-годинника для персоналізації параметрів мікроклімату**

Однією з головних особливостей запропонованої автоматизованої системи керування мікрокліматом є використання інформації про

фізіологічний стан користувача для формування індивідуальних параметрів середовища. У традиційних системах автоматизації прийняття рішень здійснюється виключно на основі даних про температуру, вологість або якість повітря. При цьому людина розглядається лише як споживач сформованого мікроклімату, а її поточний стан практично не враховується. Сучасний розвиток носимих електронних пристроїв відкриває можливість переходу до нового підходу, за якого система здатна адаптуватися до конкретного користувача та змінювати власну поведінку відповідно до його фізіологічних потреб.

За останні роки смарт-годинники перестали бути виключно засобами відображення повідомлень або спортивними аксесуарами. Більшість сучасних моделей оснащується комплексом датчиків, які дозволяють безперервно контролювати різноманітні показники організму людини. Залежно від моделі пристрою можуть визначатися частота серцевих скорочень, рівень фізичної активності, тривалість та якість сну, кількість пройдених кроків, температура поверхні шкіри, рівень стресу та інші параметри. Частина цих даних може використовуватися для оцінювання потреб користувача щодо умов навколишнього середовища.

У запропонованій системі смарт-годинник розглядається як додатковий інформаційний сенсор, який надає дані про стан людини. Отримана інформація передається через смартфон до центрального контролера, де використовується для коригування режимів роботи системи опалення та вентиляції. Таким чином, керування мікрокліматом здійснюється не лише за показниками навколишнього середовища, а й з урахуванням поточного стану користувача.

Одним із найбільш інформативних параметрів є частота серцевих скорочень. Пульс є важливим показником фізіологічного стану організму та може використовуватися як непрямий індикатор рівня фізичного навантаження. Підвищення частоти серцевих скорочень зазвичай супроводжується збільшенням тепловиділення організму та потребою в

більш інтенсивному теплообміні з навколишнім середовищем. У таких умовах людина комфортніше почувається за дещо нижчої температури повітря та більш інтенсивної вентиляції.

Наприклад, після повернення додому з прогулянки, тренування або іншої фізично активної діяльності смарт-годинник фіксує підвищений пульс та збільшення рівня активності. На основі цих даних система може тимчасово збільшити продуктивність вентиляції та зменшити температуру повітря в приміщенні на декілька градусів. Після стабілізації фізіологічних показників параметри мікроклімату поступово повертаються до звичайного режиму.

Іншим важливим параметром є рівень фізичної активності. Сучасні смарт-годинники здатні визначати рухову активність користувача протягом доби та автоматично розпізнавати періоди відпочинку, ходьби або фізичних вправ. Використання цієї інформації дозволяє формувати більш адаптивні алгоритми керування мікрокліматом.

Особливо перспективним є використання даних про сон користувача. Наукові дослідження показують, що якість сну значною мірою залежить від параметрів навколишнього середовища. Під час сну організм людини поступово знижує власну температуру, тому надмірно тепле повітря може негативно впливати на процеси відновлення. Більшість сучасних смарт-годинників здатна автоматично визначати момент засинання та пробудження користувача.

На основі цієї інформації система може автоматично переходити в нічний режим функціонування. У такому режимі температура повітря поступово знижується до оптимального рівня для відпочинку, зменшується інтенсивність вентиляції та мінімізується рівень шуму від працюючого обладнання. Перед прогнозованим пробудженням користувача система може плавно повернути параметри середовища до денного режиму роботи.

Окрему увагу доцільно приділити використанню показників стресу. Багато сучасних смарт-годинників реалізують алгоритми оцінювання

психоемоційного стану людини на основі аналізу варіабельності серцевого ритму та інших фізіологічних параметрів. Хоча такі оцінки не можуть вважатися медичними показниками, вони можуть використовуватися як додаткове джерело інформації для адаптації параметрів середовища.

У випадках підвищеного рівня стресу система може збільшувати інтенсивність вентиляції та підтримувати більш комфортний температурний режим. Такий підхід сприяє покращенню суб'єктивного сприйняття середовища та створює більш сприятливі умови для відпочинку користувача.

Перспективним напрямком є також використання даних про температуру поверхні шкіри. Деякі сучасні моделі смарт-годинників здатні визначати зміни цього показника з достатньою точністю. На відміну від температури навколишнього повітря, температура шкіри більш безпосередньо пов'язана з тепловим станом організму. Її використання дозволяє більш точно оцінювати потребу людини в охолодженні або додатковому обігріві.

Важливою функцією смарт-годинника є можливість визначення факту присутності користувача в будинку. За допомогою Bluetooth або через смартфон система може отримувати інформацію про наближення людини до будинку або її вихід за межі житла. Це створює можливість реалізації автоматичного переходу між різними режимами роботи.

За відсутності мешканців система може працювати в енергоощадному режимі, підтримуючи лише мінімально необхідні параметри мікроклімату. При наближенні користувача до будинку автоматично активується комфортний режим, що дозволяє забезпечити сприятливі умови вже до моменту його прибуття. Такий підхід сприяє підвищенню енергоефективності та зменшенню експлуатаційних витрат.

Слід зазначити, що використання даних смарт-годинника не повинно повністю замінювати класичні алгоритми керування. Інформація про фізіологічний стан користувача розглядається як додатковий фактор, який коригує роботу системи в межах допустимих значень. Основою

функціонування залишаються показники температури, вологості та якості повітря, що забезпечують безпечні умови проживання.

Для підвищення надійності роботи доцільно реалізувати механізми фільтрації та усереднення отриманих даних. Це дозволить уникнути надмірного реагування системи на короточасні зміни фізіологічних показників та забезпечить більш стабільне функціонування алгоритмів керування.

Запропонований підхід фактично реалізує концепцію людиноорієнтованої автоматизації, відповідно до якої головним критерієм ефективності системи є не точність підтримання певних числових значень параметрів середовища, а рівень комфорту конкретного користувача. Завдяки використанню даних смарт-годинника система отримує можливість адаптуватися до змін фізіологічного стану людини в режимі реального часу та забезпечувати більш високий рівень комфорту порівняно з традиційними системами автоматизації.

Таким чином, інтеграція смарт-годинника до структури автоматизованої системи керування мікрокліматом створює передумови для переходу від стандартного підтримання параметрів середовища до персоналізованого керування, орієнтованого на потреби конкретного користувача. Це є одним із найбільш перспективних напрямків розвитку інтелектуальних систем житлової автоматизації та становить основу запропонованої концепції адаптивного мікроклімату.

### **3.3 Формування позитивного контрасту між внутрішнім та зовнішнім середовищем**

Традиційний підхід до керування мікрокліматом передбачає підтримання фіксованих значень температури та інших параметрів внутрішнього середовища незалежно від стану навколишнього середовища. У більшості випадків користувач встановлює певну температуру, наприклад 22 °С, після чого система автоматично підтримує її протягом усього року.

Незважаючи на простоту реалізації, такий підхід не завжди забезпечує максимальний рівень комфорту та не враховує особливостей сприйняття людиною навколишнього середовища.

Людський організм постійно взаємодіє з навколишнім середовищем та безперервно адаптується до зміни зовнішніх умов. Відчуття комфорту формується не лише абсолютними значеннями температури, вологості або інших параметрів, а й різницею між поточними умовами та середовищем, у якому людина перебувала раніше. Саме тому одна й та сама температура може сприйматися по-різному залежно від погодних умов, пори року та попереднього теплового стану організму.

Наприклад, температура повітря 22 °C після перебування на вулиці за температури -10 °C викликає відчуття вираженого теплового комфорту. Водночас ті самі 22 °C після перебування в умовах літньої спеки можуть сприйматися як недостатньо прохолодні або навіть теплі. Аналогічні закономірності спостерігаються і щодо інших параметрів мікроклімату.

Ця особливість людського сприйняття створює передумови для формування нового підходу до автоматизованого керування мікрокліматом, який у межах даної роботи пропонується назвати принципом позитивного контрасту. Його основна ідея полягає в тому, що система повинна створювати не просто нормативне середовище, а таке середовище, яке забезпечує максимально комфортний контраст відносно зовнішніх умов.

Під позитивним контрастом розуміється така різниця між параметрами зовнішнього та внутрішнього середовища, яка забезпечує приємне сприйняття мікроклімату без створення надмірного навантаження на механізми адаптації організму людини. При цьому контраст повинен бути достатнім для формування відчуття комфорту, але не настільки великим, щоб викликати фізіологічний дискомфорт.

У зимовий період основним завданням системи є формування теплового середовища всередині будинку. Проте надмірне підвищення температури повітря також не є оптимальним рішенням. Якщо за температури

зовнішнього повітря  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  підтримувати всередині будинку температуру  $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , різниця температур перевищуватиме  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Такий перепад створює значне навантаження на організм під час переходу між зовнішнім і внутрішнім середовищем та може негативно впливати на самопочуття людини.

У межах запропонованої концепції система повинна підтримувати температуру, яка забезпечує комфортне перебування людини та одночасно мінімізує надмірні перепади температур. У зимових умовах це дозволяє зменшити споживання теплової енергії та підвищити природність сприйняття внутрішнього середовища.

У літній період проблема набуває ще більшої актуальності. У багатьох сучасних будівлях кондиціонери підтримують температуру близько  $20\text{--}22\text{ }^{\circ}\text{C}$  навіть тоді, коли температура зовнішнього повітря перевищує  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ . У результаті різниця температур може досягати  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  і більше. Після виходу з приміщення організм змушений швидко адаптуватися до нових умов, що створює додаткове навантаження на систему терморегуляції.

Запропонований принцип позитивного контрасту передбачає більш плавне регулювання температури внутрішнього середовища залежно від зовнішніх умов. Наприклад, за високої температури зовнішнього повітря система може підтримувати температуру в приміщенні на рівні  $24\text{--}26\text{ }^{\circ}\text{C}$  замість традиційних  $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Незважаючи на дещо вищу температуру, такий режим часто сприймається комфортніше завдяки меншому перепаду між внутрішнім та зовнішнім середовищем.

Аналогічний підхід може використовуватися і для керування вологістю повітря. У зимовий період зовнішнє повітря часто характеризується низьким вмістом вологи. У таких умовах надмірне осушення повітря всередині будинку може створювати дискомфорт для користувачів. У літній період, навпаки, надмірно висока вологість зовнішнього повітря потребує її часткового зниження всередині приміщення для забезпечення комфортних умов.

Особливу роль у реалізації концепції позитивного контрасту відіграє аналіз погодних умов. На відміну від традиційних систем, які реагують лише на поточні значення параметрів середовища, запропонована система повинна враховувати тенденції зміни погодних умов. Наприклад, якщо прогнозується різке похолодання, система може поступово адаптувати параметри внутрішнього середовища до майбутніх змін, забезпечуючи більш плавну адаптацію користувача.

Важливою перевагою запропонованого підходу є його взаємодія з персоналізованими даними, отриманими від смарт-годинника. Різні люди по-різному реагують на однакові погодні умови. Одні користувачі комфортно почуваються за нижчих температур, інші віддають перевагу більш теплову середовищу. Використання інформації про фізіологічний стан людини дозволяє додатково коригувати величину позитивного контрасту та формувати індивідуальні параметри мікроклімату.

Наприклад, якщо система отримує дані про підвищену фізичну активність користувача, рекомендована температура внутрішнього середовища може бути дещо нижчою. У випадку переходу користувача до режиму відпочинку або сну температура може автоматично коригуватися відповідно до фізіологічних потреб організму.

Для реалізації принципу позитивного контрасту доцільно використовувати адаптивні алгоритми керування. У таких алгоритмах значення температури, вологості та інтенсивності вентиляції не задаються жорстко, а розраховуються в режимі реального часу на основі сукупності вхідних даних. До них належать параметри внутрішнього середовища, погодні умови та інформація про стан користувача.

Важливо підкреслити, що запропонована концепція не передбачає відмову від нормативних вимог до параметрів мікроклімату. Навпаки, усі зміни здійснюються в межах допустимих значень, визначених санітарними та будівельними нормами. Принцип позитивного контрасту використовується

як додатковий механізм оптимізації умов проживання та підвищення рівня суб'єктивного комфорту користувача.

Запропонований підхід також сприяє підвищенню енергоефективності системи. Відмова від підтримання постійних температурних уставок дозволяє знизити навантаження на системи опалення та кондиціювання без помітного погіршення умов проживання. У деяких випадках це може призвести до суттєвого зменшення споживання електричної та теплової енергії.

Таким чином, принцип позитивного контрасту між внутрішнім та зовнішнім середовищем є одним із ключових елементів запропонованої адаптивної системи керування мікрокліматом. Його використання дозволяє враховувати особливості людського сприйняття навколишнього середовища, підвищувати рівень комфорту користувачів та забезпечувати більш раціональне використання енергетичних ресурсів. Саме поєднання цього принципу з персоналізованими даними, отриманими від смарт-годинника, формує основу запропонованої концепції інтелектуального керування мікрокліматом приватного будинку.

### **3.4 Алгоритм прийняття рішень адаптивною системою керування мікрокліматом**

Ефективність функціонування будь-якої автоматизованої системи значною мірою визначається алгоритмами керування, які використовуються для формування керуючих впливів. Саме алгоритм прийняття рішень визначає порядок обробки інформації, способи реагування на зміни параметрів середовища та логіку взаємодії між окремими елементами системи. У традиційних системах керування мікрокліматом найчастіше використовуються прості алгоритми порівняння поточних значень параметрів із заданими уставками. Якщо виміряне значення перевищує допустиму межу, система активує відповідний виконавчий механізм, а після повернення параметра в заданий діапазон вимикає його.

Подібний підхід характеризується простотою реалізації та достатньою надійністю, проте має низку суттєвих недоліків. Насамперед він не враховує динаміку зміни параметрів середовища, індивідуальні особливості користувачів та вплив зовнішніх погодних умов. У результаті система реагує лише на вже існуючі відхилення, не маючи можливості прогнозувати їх виникнення або адаптуватися до потреб конкретної людини.

У межах даної роботи пропонується використання адаптивного алгоритму керування, який здійснює прийняття рішень на основі комплексного аналізу інформації з декількох незалежних джерел. До таких джерел належать датчики внутрішнього середовища, датчики зовнішнього середовища, погодний сервіс та смарт-годинник користувача. Отримана інформація обробляється контролером ESP32, після чого визначаються оптимальні режими роботи виконавчих механізмів.

На першому етапі роботи системи здійснюється збір інформації від усіх доступних джерел даних. Контролер отримує значення температури повітря, вологості та концентрації вуглекислого газу в приміщенні. Одночасно виконується контроль температури зовнішнього середовища та отримання додаткових погодних даних через мережу Інтернет. Паралельно від смартфона надходить інформація про фізіологічний стан користувача, сформована на основі даних смарт-годинника.

Після завершення збору інформації виконується етап попередньої обробки даних. Його основною метою є усунення випадкових відхилень, перевірка достовірності інформації та визначення усереднених значень параметрів. Такий підхід дозволяє підвищити стійкість роботи системи та уникнути помилкових спрацювань унаслідок короткочасних коливань вимірюваних величин.

Наступним етапом є визначення поточного режиму користувача. Для цього аналізуються показники фізичної активності, частота серцевих скорочень та інформація про сон. У загальному випадку система може

працювати в одному з декількох режимів: активність, звичайний режим перебування вдома, відпочинок, сон та режим відсутності користувача.

У режимі активності система надає пріоритет вентиляції та охолодженню приміщення. Під час відпочинку або малорухомої діяльності основна увага приділяється підтриманню стабільної температури та комфортної вологості. Під час сну автоматично активується спеціальний нічний режим, який передбачає коригування температури та зниження рівня шуму вентиляційного обладнання. За відсутності користувача система переходить до енергоощадного режиму функціонування.

Після визначення режиму роботи виконується розрахунок адаптивної температурної уставки. На відміну від класичних систем, де температура задається користувачем вручну та залишається незмінною, запропонований алгоритм формує її автоматично.

Для опису принципу роботи може використовуватися спрощена математична модель:

$$T_{set} = T_{base} + K_1(T_{out} - T_{ref}) + K_2A + K_3S$$

де:

$T_{set}$  — адаптивна уставка температури;

$T_{base}$  — базова комфортна температура;

$T_{out}$  — температура зовнішнього середовища;

$T_{ref}$  — опорна температура;

$A$  — коефіцієнт фізичної активності користувача;

$S$  — коефіцієнт режиму користувача (сон, відпочинок, активність);

$K_1, K_2, K_3$  — коригувальні коефіцієнти.

Запропонована модель демонструє, що температура всередині приміщення формується не як фіксоване значення, а як результат аналізу зовнішніх умов та стану людини. Завдяки цьому система отримує можливість адаптуватися до зміни умов експлуатації в режимі реального часу.

Після визначення цільової температури виконується аналіз концентрації вуглекислого газу. Якщо рівень  $CO_2$  перевищує допустиме

значення, система формує команду на збільшення продуктивності вентиляції. При цьому враховується не лише поточне значення концентрації, а й швидкість її зміни. Якщо концентрація зростає швидко, вентиляція активується раніше, ніж буде досягнуто критичний рівень.

Аналогічний підхід використовується для контролю вологості повітря. У разі перевищення встановленого діапазону система збільшує інтенсивність вентиляції або змінює режим роботи повітряних заслінок. Якщо повітря стає надто сухим, алгоритм мінімізує надлишковий повітрообмін та підтримує більш комфортний рівень вологості.

Окрему роль у прийнятті рішень відіграє принцип позитивного контрасту між внутрішнім та зовнішнім середовищем. Для його реалізації система постійно оцінює різницю між параметрами середовища та визначає допустимий рівень контрасту. Якщо перепад температур стає надмірним, виконується коригування уставок таким чином, щоб забезпечити більш плавну адаптацію користувача до змін умов навколишнього середовища.

Після виконання всіх розрахунків формується набір керуючих команд для виконавчих механізмів. Контролер визначає необхідність увімкнення або вимкнення циркуляційного насоса, зміну положення електромагнітного клапана, регулювання вентилятора та сервопривода повітряної заслінки. Усі команди передаються через релейний модуль до відповідних пристроїв.

Важливою особливістю алгоритму є наявність постійного зворотного зв'язку. Після кожної зміни режиму роботи обладнання система продовжує здійснювати моніторинг параметрів середовища та оцінювати ефективність власних дій. У разі необхідності виконуються додаткові коригування режимів роботи. Завдяки цьому забезпечується висока стабільність функціонування та можливість адаптації до непередбачуваних змін умов експлуатації.

Запропонований алгоритм поєднує класичні принципи автоматичного керування з елементами адаптивного прийняття рішень. Його використання дозволяє забезпечити більш високий рівень комфорту порівняно з

традиційними системами, зменшити споживання енергетичних ресурсів та реалізувати персоналізований підхід до формування мікроклімату житлових приміщень.

Таким чином, розроблений алгоритм прийняття рішень створює основу функціонування адаптивної системи керування мікрокліматом та забезпечує практичну реалізацію концепції персоналізованого середовища, орієнтованого на потреби конкретного користувача та умов навколишнього середовища.

### **3.5 Рекомендована структура та програмна реалізація адаптивної системи керування мікрокліматом**

Після визначення принципів функціонування адаптивної системи та розроблення алгоритму прийняття рішень необхідно сформулювати загальну структуру програмно-апаратного комплексу, яка забезпечить практичну реалізацію запропонованої концепції. Саме на цьому етапі виконується інтеграція окремих апаратних і програмних компонентів у єдину систему, здатну забезпечувати безперервний контроль параметрів середовища, обробку інформації та автоматичне керування виконавчими механізмами.

Особливістю запропонованої системи є її модульна структура. Використання модульного принципу побудови дозволяє спростити процес модернізації, забезпечити можливість заміни окремих компонентів без зміни всієї системи та створити умови для подальшого розширення функціональних можливостей. Крім того, модульна архітектура підвищує надійність системи, оскільки несправність одного з модулів не призводить до повного припинення роботи комплексу.

До складу системи входять декілька функціональних модулів. Першим модулем є підсистема збору інформації, яка включає датчики температури, вологості, концентрації вуглекислого газу та температури зовнішнього середовища. Завданням цього модуля є безперервний моніторинг параметрів мікроклімату та передача отриманої інформації до центрального контролера.

Другим функціональним модулем є підсистема отримання персоналізованих даних від користувача. До її складу входять смарт-годинник, смартфон та програмне забезпечення для обміну інформацією. Даний модуль забезпечує передачу інформації про фізичну активність користувача, режим сну, рівень навантаження та інші параметри, які можуть використовуватися для адаптації мікроклімату.

Третім модулем виступає центральний обчислювальний блок на базі контролера ESP32. Саме цей елемент виконує функції координації роботи всієї системи та реалізує основні алгоритми керування. Контролер здійснює приймання інформації від усіх джерел даних, виконує необхідні розрахунки та формує керуючі сигнали для виконавчих механізмів.

Четвертий модуль представлений виконавчими пристроями. До його складу входять каналний вентилятор, циркуляційний насос, електромагнітний клапан та сервопривід повітряної заслінки. Саме ці пристрої забезпечують безпосередню зміну параметрів внутрішнього середовища відповідно до рішень, прийнятих контролером.

П'ятий модуль складається із засобів взаємодії з користувачем. До нього належать мобільний застосунок та веб-інтерфейс системи. За допомогою цих засобів користувач може контролювати поточний стан мікроклімату, змінювати налаштування системи та отримувати повідомлення про виникнення нестандартних ситуацій.

Функціонування системи починається з циклічного збору інформації від усіх доступних джерел даних. Контролер з певним інтервалом часу опитує датчики та отримує актуальні значення контрольованих параметрів. Паралельно через бездротові канали зв'язку надходить інформація від смартфона користувача та погодних сервісів.

Після отримання даних виконується їх первинна обробка. На цьому етапі здійснюється перевірка достовірності інформації, усунення випадкових відхилень та формування усереднених значень параметрів. Такий підхід

дозволяє забезпечити більш стабільне функціонування алгоритмів керування та зменшити вплив випадкових помилок вимірювання.

Наступним етапом є аналіз поточного стану системи. Контролер оцінює відповідність параметрів середовища встановленим вимогам та визначає необхідність зміни режимів роботи обладнання. На відміну від класичних систем автоматизації, аналіз здійснюється не лише за окремими параметрами, а й з урахуванням взаємозв'язків між ними.

Наприклад, підвищення температури повітря може супроводжуватися збільшенням вологості або концентрації вуглекислого газу. У такому випадку система повинна оцінити комплексний вплив усіх факторів та вибрати найбільш ефективний спосіб коригування мікроклімату. Саме тому в запропонованій системі використовується багатофакторний підхід до прийняття рішень.

Особливе місце в програмній реалізації займає модуль адаптивного керування. Його основною функцією є формування індивідуальних уставок залежно від поточного стану користувача та параметрів навколишнього середовища. Для цього використовуються алгоритми, розглянуті в попередньому підрозділі.

У процесі роботи система постійно накопичує інформацію про умови експлуатації та реакцію користувача на різні режими роботи. Надалі ці дані можуть використовуватися для уточнення параметрів алгоритмів та підвищення точності адаптації. Фактично система отримує можливість поступово підлаштовуватися до індивідуальних особливостей конкретної людини.

Для підвищення надійності роботи доцільно передбачити використання декількох режимів функціонування. Основним є автоматичний режим, у якому всі рішення приймаються контролером самостійно. Додатково може використовуватися ручний режим, що дозволяє користувачу безпосередньо керувати обладнанням незалежно від поточних алгоритмів автоматизації.

Наявність ручного режиму є важливою вимогою до сучасних систем автоматизації та підвищує їх практичну цінність.

У випадку виникнення несправностей або втрати зв'язку з окремими компонентами система повинна переходити до безпечного режиму функціонування. Наприклад, за відсутності даних від смарт-годинника алгоритми персоналізації тимчасово відключаються, а система продовжує працювати як звичайна автоматизована система керування мікрокліматом. Такий підхід забезпечує збереження працездатності навіть у разі відмови окремих елементів.

Важливою перевагою запропонованої структури є можливість подальшого розширення функціональних можливостей. У майбутньому до системи можуть бути підключені додаткові датчики якості повітря, рівня освітленості, шуму або інші пристрої моніторингу навколишнього середовища. Також можливою є інтеграція з іншими підсистемами «розумного будинку», включаючи системи освітлення, безпеки та енергоменеджменту.

З технічної точки зору програмне забезпечення контролера може бути реалізоване у вигляді циклічного алгоритму, який послідовно виконує опитування датчиків, обробку інформації, розрахунок адаптивних уставок та керування виконавчими механізмами. Така структура є достатньо простою для реалізації та забезпечує необхідний рівень швидкодії для систем житлової автоматизації.

У результаті реалізації запропонованої структури створюється комплексна система керування мікрокліматом нового покоління, яка поєднує традиційні методи автоматизації з можливостями персоналізованого керування на основі даних про фізіологічний стан користувача. Це дозволяє підвищити комфортність проживання, покращити енергоефективність будинку та забезпечити більш раціональне використання інженерного обладнання.

### 3.6 Висновки до розділу 3

У третьому розділі було розроблено концепцію адаптивної системи керування мікрокліматом приватного будинку, яка відрізняється від традиційних систем використанням персоналізованого підходу до формування параметрів внутрішнього середовища. В основу запропонованого рішення покладено принцип комплексного аналізу параметрів мікроклімату, погодних умов та фізіологічного стану користувача.

Проведений аналіз показав, що традиційні системи автоматизації орієнтуються переважно на підтримання фіксованих значень температури та вологості, не враховуючи індивідуальних потреб людини. Для усунення цього недоліку запропоновано використовувати інформацію, отриману від смарт-годинника користувача. Використання даних про частоту серцевих скорочень, рівень фізичної активності, якість сну та інші показники дозволяє формувати більш комфортне середовище та підвищувати ефективність роботи системи.

Особливу увагу приділено розробленню принципу позитивного контрасту між внутрішнім та зовнішнім середовищем. Встановлено, що комфортність сприйняття мікроклімату залежить не лише від абсолютних значень температури або вологості, але й від різниці між умовами зовнішнього та внутрішнього середовища. Запропонований підхід дозволяє адаптувати параметри мікроклімату до поточних погодних умов та забезпечувати більш природне сприйняття середовища користувачем.

Розроблено алгоритм прийняття рішень, який забезпечує обробку інформації від датчиків, погодних сервісів та смарт-годинника. На основі отриманих даних система автоматично формує адаптивні уставки температури, вологості та вентиляції, що дозволяє реалізувати персоналізоване керування мікрокліматом у режимі реального часу.

Запропоновано структуру програмно-апаратного комплексу на базі контролера ESP32, яка забезпечує інтеграцію датчиків, виконавчих

механізмів, мобільного застосунку та носимих пристроїв користувача. Використання бездротових технологій Wi-Fi та Bluetooth створює можливість дистанційного моніторингу, збору статистичних даних та подальшого розвитку функціональних можливостей системи.

Отримані результати свідчать про перспективність використання адаптивних алгоритмів керування мікрокліматом у житлових будівлях. Запропонована система дозволяє підвищити рівень комфорту проживання, покращити енергоефективність будинку та створити основу для подальшого розвитку інтелектуальних систем автоматизації, орієнтованих на потреби конкретного користувача.

## **РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

### **4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів під час монтажу та експлуатації автоматизованої системи керування мікрокліматом приватного будинку**

Під час розроблення та впровадження автоматизованих систем керування особлива увага повинна приділятися питанням охорони праці та безпеки виконання робіт. Незважаючи на те, що автоматизована система керування мікрокліматом приватного будинку належить до категорії відносно безпечних технічних об'єктів, процеси її монтажу, налагодження, експлуатації та технічного обслуговування пов'язані з впливом низки небезпечних і шкідливих факторів. Ігнорування цих факторів може призвести до травмування персоналу, пошкодження обладнання або виникнення аварійних ситуацій.

Особливістю розроблюваної системи є поєднання електронного обладнання, виконавчих механізмів, вентиляційних пристроїв, кабельних мереж та елементів системи опалення. У процесі виконання монтажних робіт працівники змушені працювати з електротехнічним обладнанням, виконувати прокладання кабельних трас, встановлювати датчики та монтувати виконавчі механізми. Кожен із цих етапів характеризується наявністю певних виробничих ризиків.

Одним із найбільш небезпечних факторів є можливість ураження електричним струмом. Більшість елементів автоматизованої системи живиться від електричної мережі будинку та підключається до розподільчих щитів, блоків живлення та інших електротехнічних пристроїв. Під час виконання монтажних робіт існує ризик випадкового контакту з струмовідними частинами електроустановок, що може призвести до отримання електротравм різного ступеня тяжкості.

Особливо небезпечними є роботи з підключення виконавчих механізмів, які використовують мережеву напругу. До таких пристроїв належать вентилятори, циркуляційні насоси та допоміжне електрообладнання. У разі порушення вимог електробезпеки можливе виникнення коротких замикань, пробією ізоляції або появи небезпечної напруги на металевих корпусах обладнання.

Значну небезпеку становлять також роботи, пов'язані з монтажем датчиків та кабельних ліній на висоті. У процесі встановлення датчиків температури, вентиляційних елементів або прокладання кабелів під стелею приміщення працівники часто використовують драбини, підмостки або інші допоміжні конструкції. У таких умовах виникає ризик падіння з висоти, особливо за недотримання правил безпечного виконання робіт або використання несправного обладнання.

Під час прокладання кабельних трас та встановлення обладнання широко застосовується електроінструмент. Використання дрилів, перфораторів, шурупокрутів та інших пристроїв супроводжується впливом механічних факторів безпеки. До них належать можливість травмування обертовими частинами інструменту, ураження уламками будівельних матеріалів, а також ризик випадкового пошкодження прихованих електричних кабелів або інженерних комунікацій.

Окремим шкідливим фактором є виробничий шум. Під час свердління отворів, монтажу вентиляційних каналів та виконання інших будівельно-монтажних операцій рівень шуму може перевищувати комфортні значення. Тривалий вплив підвищеного шуму негативно впливає на працездатність працівників, викликає втоми та може призводити до погіршення слуху.

У процесі монтажу вентиляційних систем можливе утворення пилу. Особливо це характерно для виконання робіт із обробки будівельних конструкцій, свердління стін та встановлення вентиляційних каналів. Будівельний пил негативно впливає на органи дихання, слизові оболонки очей та може спричиняти алергічні реакції. Крім того, накопичення пилу на

електронних компонентах обладнання здатне погіршувати умови їх охолодження та знижувати надійність роботи.

Під час експлуатації автоматизованої системи важливим фактором є електромагнітне випромінювання від електронних пристроїв та бездротових засобів зв'язку. Контролер ESP32 використовує технології Wi-Fi та Bluetooth, які функціонують у радіочастотному діапазоні. Рівень випромінювання таких пристроїв є незначним і відповідає встановленим нормам безпеки, однак під час проєктування системи необхідно забезпечити дотримання вимог електромагнітної сумісності та правильне розташування обладнання.

Особливу увагу необхідно приділяти пожежній безпеці. Причинами виникнення пожеж можуть бути короткі замикання, перевантаження електромережі, пошкодження ізоляції кабелів, перегрів контактних з'єднань та несправність електрообладнання. Оскільки автоматизована система працює в безперервному режимі, навіть незначні дефекти електричних з'єднань можуть з часом призвести до перегріву та виникнення осередків займання.

Додатковим фактором ризику є можливість відмови окремих компонентів системи. Наприклад, несправність датчиків або виконавчих механізмів може призвести до некоректної роботи системи вентиляції чи опалення. У результаті можливе погіршення параметрів мікроклімату, підвищення вологості, накопичення вуглекислого газу або перегрів окремих приміщень. Хоча такі ситуації зазвичай не становлять безпосередньої загрози життю людини, вони можуть негативно впливати на комфортність проживання та стан обладнання.

Під час технічного обслуговування системи працівники можуть контактувати з рухомими частинами вентиляційного обладнання та насосів. За відсутності належного блокування існує ризик випадкового запуску механізмів під час виконання ремонтних робіт. Саме тому всі роботи з технічного обслуговування повинні виконуватися лише після повного відключення обладнання від джерел живлення.

Слід також враховувати вплив мікрокліматичних умов робочого середовища на персонал, який виконує монтаж або обслуговування системи. Роботи можуть проводитися як у холодний період року, так і за умов підвищеної температури навколишнього середовища. У таких випадках виникає необхідність дотримання відповідних режимів праці та відпочинку, використання засобів індивідуального захисту та забезпечення безпечних умов виконання робіт.

З метою мінімізації впливу зазначених небезпечних та шкідливих факторів необхідно передбачати комплекс організаційних і технічних заходів безпеки. До них належать застосування справного інструменту, використання засобів індивідуального захисту, виконання робіт відповідно до чинних нормативних документів, організація захисного заземлення, використання пристроїв захисного вимкнення та проведення регулярного технічного контролю стану обладнання.

Таким чином, аналіз умов монтажу та експлуатації автоматизованої системи керування мікрокліматом показує наявність комплексу небезпечних і шкідливих факторів, основними з яких є ураження електричним струмом, механічні травми, роботи на висоті, вплив шуму та пилу, а також пожежна небезпека. Врахування зазначених факторів під час проєктування та експлуатації системи є необхідною умовою забезпечення безпечних умов праці та надійного функціонування обладнання.

#### **4.2 Заходи електробезпеки під час монтажу та експлуатації автоматизованої системи керування мікрокліматом**

Електробезпека є одним із найважливіших напрямків охорони праці під час монтажу, налагодження та експлуатації автоматизованих систем керування. Незважаючи на те, що значна частина елементів розроблюваної системи працює від низьковольтних джерел живлення, до її складу входять виконавчі механізми та допоміжне обладнання, яке живиться від мережі змінного струму напругою 220 В. За певних умов така напруга становить

серйозну небезпеку для життя та здоров'я людини. Саме тому під час проєктування системи необхідно передбачити комплекс технічних та організаційних заходів, спрямованих на захист персоналу від ураження електричним струмом.

Небезпека електричного струму полягає в тому, що його дія на організм людини часто відбувається без попереджувальних ознак. Струм може викликати судомне скорочення м'язів, порушення роботи дихальної системи, опіки тканин та фібриляцію серця. Ступінь ураження залежить від величини струму, тривалості його дії, шляху проходження через організм та індивідуальних особливостей людини. Особливо небезпечними є випадки проходження струму через область серця або центральну нервову систему.

Одним із основних способів забезпечення електробезпеки є використання низьковольтного обладнання. У розроблюваній системі датчики температури, вологості, концентрації вуглекислого газу та контролер ESP32 працюють від безпечної низької напруги. Це дозволяє суттєво зменшити ризик ураження електричним струмом під час обслуговування електронних компонентів системи.

Водночас виконавчі механізми, такі як вентилятори, насоси та допоміжне обладнання, використовують мережеву напругу. У зв'язку з цим особливу увагу необхідно приділяти організації захисного заземлення. Захисне заземлення є одним із найбільш ефективних засобів захисту від ураження електричним струмом у разі пошкодження ізоляції електрообладнання. Його принцип дії полягає у навмисному електричному з'єднанні металевих неструмовідних частин обладнання із заземлювальним пристроєм.

У разі виникнення пробоя ізоляції та появи напруги на металевому корпусі обладнання струм замикання проходить через заземлювальний провідник, що сприяє швидкому спрацюванню захисних апаратів та вимкненню пошкодженої ділянки мережі. Завдяки цьому напруга на корпусі

знижується до безпечного рівня, а ризик ураження людини суттєво зменшується.

Для забезпечення додаткового рівня захисту доцільно використовувати пристрої захисного вимкнення. Принцип роботи таких пристроїв базується на контролі різниці між струмом у фазному та нульовому провідниках. За нормальних умов ці струми рівні між собою. Якщо частина струму починає проходити через тіло людини або через пошкоджену ізоляцію на землю, виникає різниця струмів, яка фіксується пристроєм захисного вимкнення.

У разі перевищення встановленого порогового значення пристрій автоматично відключає живлення електроустановки протягом дуже короткого часу. Такий спосіб захисту дозволяє значно знизити ймовірність важких електротравм навіть у випадках прямого контакту людини зі струмовідними частинами.

Важливим елементом електробезпеки є використання автоматичних вимикачів. Автоматичні вимикачі забезпечують захист електричних мереж від перевантаження та коротких замикань. Перевищення допустимого струму може призводити до перегріву провідників, руйнування ізоляції та виникнення пожежонебезпечних ситуацій. Автоматичні вимикачі своєчасно відключають пошкоджену ділянку мережі та запобігають розвитку аварії.

Під час проектування системи особливу увагу необхідно приділяти правильному вибору кабельної продукції. Кабелі повинні відповідати розрахунковим струмовим навантаженням та умовам експлуатації. Використання провідників недостатнього перерізу може призвести до їх перегріву та передчасного старіння ізоляції. Крім того, рекомендується використовувати кабелі з негорючою або малодимною ізоляцією, що підвищує рівень пожежної безпеки системи.

Значну роль у забезпеченні електробезпеки відіграє якість монтажу електричних з'єднань. Ослаблення контактів, неправильне підключення провідників або використання неякісних з'єднувальних елементів можуть призводити до локального нагрівання контактних вузлів та виникнення

аварійних ситуацій. Саме тому всі електромонтажні роботи повинні виконуватися відповідно до чинних нормативних вимог та із застосуванням сертифікованих комплектувальних виробів.

Сучасні електронні системи автоматизації досить чутливі до коливань напруги живлення. Перенапруги можуть виникати внаслідок атмосферних явищ, комутаційних процесів або аварій у системі електропостачання. Для захисту обладнання від таких впливів доцільно використовувати пристрої захисту від імпульсних перенапруг. Їх застосування дозволяє підвищити надійність роботи контролера, датчиків та інших електронних компонентів системи.

Особливої уваги потребує питання резервування живлення. Хоча короткочасне зникнення електроживлення не становить безпосередньої загрози для користувачів, воно може призвести до припинення роботи системи вентиляції або втрати інформації про поточний стан обладнання. Для підвищення надійності функціонування доцільно використовувати джерела безперебійного живлення для центрального контролера та основних елементів системи керування.

Під час виконання монтажних та ремонтних робіт необхідно дотримуватися організаційних заходів безпеки. Перед початком робіт обладнання повинно бути повністю відключене від джерел живлення. Необхідно перевіряти відсутність напруги за допомогою відповідних вимірювальних приладів та вживати заходів щодо запобігання випадковому поданню напруги на ділянку, де виконуються роботи.

Працівники, які виконують монтаж або технічне обслуговування системи, повинні використовувати справний інструмент з ізольованими ручками та дотримуватися встановлених вимог електробезпеки. Особливу увагу необхідно приділяти роботам у вологих приміщеннях, де ризик ураження електричним струмом суттєво зростає через зменшення електричного опору тіла людини.

Для підвищення рівня безпеки доцільно передбачити використання системи самодіагностики обладнання. Контролер може здійснювати моніторинг основних параметрів живлення та інформувати користувача про виникнення аварійних ситуацій. Такий підхід дозволяє своєчасно виявляти несправності та запобігати розвитку небезпечних режимів роботи.

Таким чином, забезпечення електробезпеки автоматизованої системи керування мікрокліматом передбачає комплексне використання технічних та організаційних заходів захисту. До основних засобів належать захисне заземлення, пристрої захисного вимкнення, автоматичні вимикачі, захист від перенапруг, резервування живлення та дотримання вимог безпечного виконання електромонтажних робіт. Реалізація зазначених заходів дозволяє забезпечити безпечну експлуатацію системи та мінімізувати ризик виникнення електротравм і аварійних ситуацій.

#### **4.3 Пожежна безпека автоматизованої системи керування мікрокліматом приватного будинку**

Пожежна безпека є одним із найважливіших аспектів проектування, монтажу та експлуатації будь-яких електротехнічних систем. Особливої актуальності це питання набуває для автоматизованих систем керування, які працюють у безперервному режимі та містять значну кількість електронних компонентів, кабельних мереж і виконавчих механізмів. Незважаючи на відносно невисоку встановлену потужність більшості елементів розроблюваної системи, порушення правил експлуатації або виникнення технічних несправностей можуть стати причиною виникнення пожежонебезпечних ситуацій.

Пожежа є одним із найбільш небезпечних видів аварій, оскільки її наслідки можуть призводити не лише до пошкодження обладнання та матеріальних збитків, а й становити безпосередню загрозу життю та здоров'ю людей. Саме тому під час розроблення автоматизованої системи керування мікрокліматом необхідно передбачити комплекс технічних і організаційних

заходів, спрямованих на запобігання виникненню пожеж та мінімізацію їх можливих наслідків.

Однією з основних причин виникнення пожеж в електроустановках є коротке замикання. Таке явище виникає внаслідок безпосереднього електричного контакту між провідниками, які перебувають під різними потенціалами. У місці короткого замикання виникають значні струми, що супроводжуються інтенсивним виділенням теплової енергії. За відсутності відповідного захисту це може призвести до руйнування ізоляції, займання кабельної продукції або навколишніх матеріалів.

Для запобігання подібним ситуаціям у системі повинні використовуватися автоматичні вимикачі, які забезпечують швидке відключення пошкодженої ділянки мережі. Правильний вибір номіналів захисних апаратів дозволяє ефективно захищати обладнання від аварійних режимів та знижувати ризик виникнення пожежі.

Іншою поширеною причиною пожеж є перевантаження електричних мереж. Перевантаження виникає у випадках, коли через провідники проходить струм, що перевищує допустиме значення. У результаті відбувається нагрівання кабелів та електричних з'єднань. Тривалий перегрів може призводити до руйнування ізоляції та створення умов для займання.

Для виключення перевантажень необхідно виконувати правильний розрахунок електричних навантажень ще на стадії проектування системи. Усі кабелі повинні підбиратися відповідно до розрахункових струмів, а електрообладнання повинно працювати в межах установлених виробником режимів експлуатації.

Значну небезпеку становлять також неякісні контактні з'єднання. Ослаблення контактів, неправильне затягування клем або використання несертифікованих монтажних виробів можуть призводити до локального нагрівання контактних вузлів. У багатьох випадках саме такі дефекти стають причиною прихованого перегріву та подальшого займання електрообладнання.

Особливістю автоматизованої системи керування мікрокліматом є наявність великої кількості електронних компонентів, які працюють у безперервному режимі. Контролер ESP32, релеїні модулі, блоки живлення та інші елементи виділяють певну кількість тепла під час роботи. За відсутності належного охолодження температура електронних компонентів може підвищуватися, що негативно впливає на їх надійність та може створювати пожежонебезпечні умови.

З метою забезпечення пожежної безпеки електронні компоненти повинні встановлюватися в спеціальних електротехнічних шафах або корпусах, які забезпечують належний теплообмін та захист від випадкового контакту зі сторонніми предметами. Розміщення обладнання повинно здійснюватися таким чином, щоб забезпечувався вільний доступ повітря до поверхонь охолодження та виключалася можливість перегріву.

Важливу роль у забезпеченні пожежної безпеки відіграє правильний вибір кабельної продукції. Для стаціонарного монтажу рекомендується використовувати кабелі з негорючою або малодимною ізоляцією. Такі кабелі характеризуються підвищеною стійкістю до впливу високих температур та не підтримують поширення полум'я у випадку локального займання.

Під час прокладання кабельних трас необхідно дотримуватися встановлених вимог щодо відстаней між кабелями та джерелами тепла. Кабелі не повинні контактувати з нагрітими поверхнями трубопроводів системи опалення або іншого теплового обладнання. У місцях проходження через будівельні конструкції повинні використовуватися спеціальні захисні елементи, які запобігають механічному пошкодженню ізоляції.

Особливу увагу необхідно приділяти вентиляційному обладнанню. Канальні вентилятори працюють протягом тривалого часу та можуть накопичувати пил на внутрішніх поверхнях. Значна кількість пилових відкладень погіршує умови охолодження електродвигуна та може підвищувати ризик перегріву. У зв'язку з цим необхідно передбачати

регулярне очищення вентиляційних каналів та технічне обслуговування вентиляційного обладнання.

Пожежна безпека системи значною мірою залежить від надійності електроживлення. Для захисту обладнання від аварійних режимів роботи доцільно використовувати пристрої захисту від імпульсних перенапруг та системи контролю параметрів електричної мережі. Такі пристрої дозволяють запобігати пошкодженню електронних компонентів унаслідок стрибків напруги та підвищують загальну надійність системи.

Важливим елементом забезпечення пожежної безпеки є організація технічного обслуговування обладнання. Регулярні перевірки стану кабельних мереж, контактних з'єднань, виконавчих механізмів та захисних пристроїв дозволяють своєчасно виявляти потенційно небезпечні дефекти та усувати їх до виникнення аварійних ситуацій.

Під час експлуатації системи необхідно проводити періодичний контроль температури електрообладнання та стану ізоляції кабелів. Особливу увагу слід приділяти блокам живлення, релейним модулям та іншим пристроям, які працюють у режимі підвищеного тепловиділення. Своєчасне виявлення ознак перегріву дозволяє запобігти розвитку аварійних процесів.

У приміщеннях, де встановлюється обладнання автоматизованої системи, доцільно передбачати наявність первинних засобів пожежогасіння. Для гасіння електрообладнання, яке перебуває під напругою, можуть використовуватися вуглекислотні або порошкові вогнегасники. Використання води для гасіння електроустановок під напругою є неприпустимим через небезпеку ураження електричним струмом.

Сучасні технології дозволяють реалізувати додаткові функції пожежного контролю безпосередньо засобами автоматизації. Наприклад, система може здійснювати контроль температури окремих вузлів обладнання та інформувати користувача про виникнення перегріву або інших потенційно небезпечних режимів роботи. Такий підхід дозволяє підвищити рівень безпеки та забезпечити своєчасне реагування на аварійні ситуації.

Таким чином, забезпечення пожежної безпеки автоматизованої системи керування мікрокліматом потребує комплексного підходу, який включає правильний вибір обладнання, використання засобів електричного захисту, застосування негорючих матеріалів, організацію регулярного технічного обслуговування та контроль режимів роботи системи. Реалізація зазначених заходів дозволяє мінімізувати ризик виникнення пожеж та забезпечити безпечну експлуатацію обладнання протягом усього терміну його служби.

#### **4.4 Забезпечення безпечних умов праці під час технічного обслуговування автоматизованої системи керування мікрокліматом**

Надійність та довговічність функціонування автоматизованої системи керування мікрокліматом значною мірою залежать від своєчасного та якісного проведення технічного обслуговування. У процесі експлуатації обладнання поступово піддається впливу зовнішніх факторів, зносу окремих елементів, забрудненню та старінню матеріалів. Для підтримання необхідного рівня працездатності необхідно здійснювати регулярний контроль стану обладнання, виконувати профілактичні роботи та своєчасно усувати виявлені несправності.

Разом із тим роботи з технічного обслуговування пов'язані з впливом різноманітних небезпечних факторів, які можуть становити загрозу для персоналу. Саме тому під час виконання профілактичних та ремонтних робіт необхідно забезпечувати дотримання комплексу організаційних і технічних заходів безпеки, спрямованих на збереження життя та здоров'я працівників.

Однією з основних вимог безпеки є обов'язкове відключення обладнання від джерел електроживлення перед початком виконання будь-яких робіт. Навіть відносно прості операції, пов'язані з очищенням датчиків або перевіркою електричних з'єднань, повинні виконуватися лише після повного зняття напруги. Такий підхід дозволяє виключити можливість випадкового контакту працівника зі струмовідними частинами обладнання та суттєво знижує ризик виникнення електротравм.

Після відключення живлення необхідно здійснювати перевірку відсутності напруги за допомогою відповідних вимірювальних приладів. Наявність вимкненого автоматичного вимикача не завжди гарантує повну відсутність небезпечної напруги, тому контроль фактичного стану електричних кіл є обов'язковою умовою безпечного виконання робіт. Особливо це стосується випадків, коли обладнання підключене до декількох незалежних джерел живлення або використовує резервні джерела енергії.

Важливим заходом безпеки є застосування систем блокування випадкового ввімкнення обладнання. Під час виконання технічного обслуговування повинна бути виключена можливість подання напруги іншими особами або автоматичними пристроями. Для цього використовуються відповідні блокувальні пристрої, попереджувальні таблички та організаційні заходи, які унеможливають випадкове ввімкнення обладнання до завершення робіт.

Особливу увагу необхідно приділяти використанню засобів індивідуального захисту. Під час виконання електромонтажних робіт персонал повинен використовувати діелектричні рукавички, захисне взуття та справний інструмент з ізольованими ручками. У разі проведення робіт, пов'язаних із очищенням вентиляційних каналів або монтажем обладнання, додатково можуть використовуватися захисні окуляри, респіратори та інші засоби захисту органів дихання та зору.

Одним із найбільш відповідальних етапів технічного обслуговування є перевірка стану датчиків системи. Датчики температури, вологості та концентрації вуглекислого газу є основними джерелами інформації для алгоритмів керування. Забруднення чутливих елементів або механічне пошкодження корпусів може призводити до появи похибок вимірювання та погіршення якості роботи всієї системи. Під час виконання таких робіт необхідно дотримуватися рекомендацій виробника обладнання та використовувати лише безпечні засоби очищення.

Важливе значення має технічне обслуговування вентиляційного обладнання. У процесі тривалої експлуатації на поверхнях вентиляційних каналів, лопатках вентиляторів та фільтрах накопичується пил. Надмірне забруднення погіршує умови охолодження електродвигунів, збільшує навантаження на механічні вузли та може призводити до перегріву обладнання. Регулярне очищення вентиляційних елементів дозволяє підтримувати їх працездатність та підвищувати рівень пожежної безпеки системи.

Під час обслуговування виконавчих механізмів необхідно враховувати можливість наявності рухомих частин. Вентилятори, циркуляційні насоси та сервоприводи можуть створювати небезпеку механічного травмування в разі випадкового запуску під час виконання ремонтних робіт. Саме тому будь-які операції з такими пристроями повинні виконуватися лише після повного відключення живлення та перевірки відсутності можливості їх автоматичного запуску.

Особливу увагу необхідно приділяти контролю стану кабельних мереж. У процесі експлуатації можливе пошкодження ізоляції кабелів, ослаблення контактних з'єднань або виникнення корозії контактних поверхонь. Такі дефекти можуть призводити до перегріву, коротких замикань та інших аварійних ситуацій. Регулярний огляд кабельної інфраструктури дозволяє своєчасно виявляти небезпечні пошкодження та запобігати їх подальшому розвитку.

Важливим елементом забезпечення безпечних умов праці є періодична перевірка системи захисного заземлення. Пошкодження заземлювальних провідників або погіршення якості контактів можуть суттєво знижувати ефективність електричного захисту. Саме тому технічне обслуговування повинно включати контроль цілісності заземлювальних кіл та перевірку їх технічного стану.

Під час виконання робіт на висоті необхідно використовувати справні драбини та інші допоміжні пристрої. Особливо це актуально під час

обслуговування датчиків або вентиляційних елементів, встановлених під стелею приміщення. Працівники повинні дотримуватися вимог безпеки щодо використання засобів доступу та не виконувати роботи на нестійких конструкціях або випадкових предметах.

Для підвищення рівня безпеки доцільно впроваджувати систему планово-попереджувального технічного обслуговування. Такий підхід передбачає виконання регламентованих перевірок через визначені проміжки часу незалежно від наявності ознак несправностей. Проведення профілактичних заходів дозволяє своєчасно виявляти потенційно небезпечні дефекти та забезпечувати стабільне функціонування системи протягом тривалого часу.

Важливим напрямком підвищення безпеки є ведення технічної документації та журналів обслуговування. Фіксація результатів перевірок, виконаних ремонтів та виявлених несправностей дозволяє контролювати технічний стан обладнання та планувати подальші профілактичні заходи. Крім того, наявність такої інформації значно спрощує процес пошуку та усунення несправностей.

Таким чином, забезпечення безпечних умов праці під час технічного обслуговування автоматизованої системи керування мікрокліматом базується на комплексному застосуванні організаційних та технічних заходів безпеки. Основними з них є відключення обладнання від джерел живлення, перевірка відсутності напруги, використання засобів індивідуального захисту, контроль стану датчиків, виконавчих механізмів і кабельної інфраструктури, а також проведення планово-попереджувального технічного обслуговування. Реалізація зазначених заходів дозволяє мінімізувати ризик виробничого травматизму та забезпечити безпечну експлуатацію системи протягом усього терміну її служби.

#### **4.5 Висновки до розділу 4**

У четвертому розділі розглянуто основні питання охорони праці під час монтажу, експлуатації та технічного обслуговування автоматизованої системи керування мікрокліматом приватного будинку.

Проведений аналіз показав, що під час виконання монтажних і експлуатаційних робіт на персонал можуть впливати такі небезпечні та шкідливі фактори, як електричний струм, механічні травми, роботи на висоті, виробничий шум, пил та пожежонебезпечні фактори. Врахування зазначених ризиків є необхідною умовою забезпечення безпечної експлуатації системи.

Особливу увагу приділено питанням електробезпеки. Встановлено, що для ефективного захисту персоналу та обладнання необхідно використовувати комплекс технічних заходів, до яких належать захисне заземлення, автоматичні вимикачі, пристрої захисного вимкнення, засоби захисту від перенапруг та резервні джерела живлення. Застосування зазначених засобів дозволяє суттєво знизити ризик виникнення електротравм та аварійних режимів роботи.

У роботі також проаналізовано основні причини виникнення пожеж у системах автоматизації та запропоновано заходи щодо їх попередження. До таких заходів належать правильний вибір кабельної продукції, контроль електричних навантажень, використання захисної автоматики, регулярне технічне обслуговування обладнання та забезпечення належного теплового режиму роботи електронних компонентів.

Розглянуто питання організації безпечного технічного обслуговування автоматизованої системи. Визначено порядок виконання профілактичних робіт, вимоги до використання засобів індивідуального захисту та заходи щодо запобігання випадковому ввімкненню обладнання під час ремонту. Запропоновано застосування системи планово-попереджувального обслуговування для підтримання високого рівня надійності та безпеки експлуатації.

Таким чином, реалізація запропонованого комплексу організаційних і технічних заходів забезпечує безпечні умови праці під час монтажу, експлуатації та технічного обслуговування автоматизованої системи керування мікрокліматом, а також сприяє підвищенню надійності та довговічності її функціонування.

## **ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ**

У бакалаврській роботі розглянуто питання розроблення автоматизованої системи керування мікрокліматом приватного будинку, орієнтованої на забезпечення комфортних умов проживання, підвищення енергоефективності та впровадження сучасних принципів інтелектуальної автоматизації. Актуальність роботи обумовлена постійним зростанням вимог до якості житлового середовища, необхідністю раціонального використання енергетичних ресурсів та активним розвитком технологій «розумного будинку».

У першому розділі проведено аналіз особливостей формування мікроклімату житлових приміщень та обґрунтовано необхідність використання автоматизованих систем керування. Встановлено, що температура повітря, відносна вологість та концентрація вуглекислого газу є основними параметрами, які визначають комфортність перебування людини в приміщенні. Показано, що традиційні способи регулювання мікроклімату не завжди забезпечують необхідну точність підтримання параметрів середовища та не дозволяють ефективно реагувати на зміну умов експлуатації. У результаті аналізу доведено доцільність застосування сучасних засобів автоматизації для забезпечення стабільних та комфортних умов проживання.

У другому розділі виконано вибір та обґрунтування елементної бази автоматизованої системи керування. Для контролю параметрів мікроклімату обрано датчики температури та вологості SHT31, датчик концентрації вуглекислого газу MH-Z19B, а також цифрові датчики температури DS18B20

для вимірювання температури теплоносія та зовнішнього середовища. Як центральний елемент системи обрано контролер ESP32, який забезпечує необхідну продуктивність, підтримку бездротових технологій Wi-Fi та Bluetooth, а також можливість інтеграції з мобільними пристроями користувача. Для реалізації керуючих впливів запропоновано використовувати каналний вентилятор, сервопривід повітряної заслінки, циркуляційний насос, електромагнітний клапан та релейний модуль керування. Розроблено структурну схему системи, яка забезпечує взаємодію між датчиками, виконавчими механізмами, контролером, смартфоном та смарт-годинником користувача.

Найважливішим результатом роботи став третій розділ, у якому запропоновано концепцію адаптивного керування мікрокліматом на основі аналізу фізіологічного стану користувача та параметрів навколишнього середовища. На відміну від традиційних систем, що підтримують фіксовані значення температури та вологості, розроблена система формує індивідуальні параметри мікроклімату залежно від поточного стану людини. Для цього передбачено використання даних смарт-годинника, які характеризують рівень фізичної активності, частоту серцевих скорочень, якість сну та інші показники. На основі отриманої інформації система автоматично коригує режими роботи опалення та вентиляції, забезпечуючи більш високий рівень комфорту.

У роботі запропоновано принцип позитивного контрасту між внутрішнім та зовнішнім середовищем. Встановлено, що відчуття комфорту визначається не лише абсолютними значеннями температури та вологості, а й різницею між параметрами внутрішнього та зовнішнього середовища. Запропонований підхід дозволяє формувати більш природні та комфортні умови проживання, одночасно зменшуючи енергетичні витрати на підтримання мікроклімату.

Розроблено алгоритм прийняття рішень адаптивною системою керування, який забезпечує комплексну обробку інформації від датчиків,

погодних сервісів та носимих пристроїв користувача. Алгоритм реалізує автоматичне формування адаптивних уставок температури, вологості та вентиляції, враховуючи поточні умови експлуатації та індивідуальні потреби людини. Такий підхід дозволяє перейти від традиційного підтримання параметрів середовища до створення персоналізованого мікроклімату.

У четвертому розділі розглянуто питання охорони праці під час монтажу, експлуатації та технічного обслуговування автоматизованої системи. Проведено аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів, розроблено заходи електробезпеки та пожежної безпеки, а також визначено вимоги щодо безпечного виконання профілактичних і ремонтних робіт. Запропоновані технічні та організаційні заходи дозволяють забезпечити безпечну експлуатацію системи та знизити ризик виникнення аварійних ситуацій.

Практична цінність роботи полягає у створенні концепції інтелектуальної системи керування мікрокліматом, яка поєднує традиційні засоби автоматизації з сучасними технологіями персоналізації. Використання даних смарт-годинника та погодних сервісів дозволяє підвищити комфортність проживання, забезпечити більш ефективне використання енергетичних ресурсів та створити передумови для подальшого розвитку систем «розумного будинку».

Отже, поставлена мета бакалаврської роботи досягнута. Розроблено структуру автоматизованої системи керування мікрокліматом приватного будинку, обґрунтовано вибір її технічних засобів, запропоновано адаптивні алгоритми керування та розроблено концепцію персоналізованого мікроклімату на основі аналізу стану користувача та параметрів навколишнього середовища. Запропоновані рішення можуть бути використані як основа для створення перспективних інтелектуальних систем автоматизації житлових будівель нового покоління.