

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

На правах рукопису

Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

## ТЕМА РОБОТИ

### «АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ ПРИВАТНОГО БУДИНКУ»

Здобувача вищої освіти  
Дудченка Дмитра Сергійовича  
Освітня програма  
«Автоматизоване управління  
технологічними процесами»  
(Спеціальність 174 «Автоматизація,  
комп'ютерно-інтегровані технології  
та робототехніка»)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Науковий керівник:  
к.держ.упр., професор, Гуйда О.Г.

\_\_\_\_\_ (підпис)

Національна шкала \_\_\_\_\_  
Кількість балів \_\_\_\_\_  
Оцінка: ECTS \_\_\_\_\_

Таврійський національний університет імені В. І. Вернадського  
Навчально-науковий інститут муніципального управління  
та міського господарства  
Кафедра інженерних систем та технологій  
Рівень вищої освіти другий (магістерський)  
Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані  
технології та робототехніка»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Наталія ОМЕЦІНСЬКА

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 року

## ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дудченку Дмитру Сергійовичу

\_\_\_\_\_ (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Автоматизована система керування мікрокліматом приватного будинку  
керівник роботи: к.держ.упр., професор, Гуйда О.Г. \_\_\_\_\_  
затвержені Наказом ТНУ імені В.І Вернадського:  
від « 2 » жовтня 2025 р. № 116
2. Строк подання здобувачем вищої освіти роботи: 5 грудня 2025р
3. Вихідні дані до роботи:
  - 1) Структурна схема роботи системи клімат контролю;
  - 2) Схема підключення датчиків до мікроконтролера Arduino;
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки: Вступ. Технологічний розділ. Дослідницько-аналітичний розділ. Проектно-рекомендаційний розділ. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Загальні висновки по роботі. Список використаних джерел.
5. Перелік графічного матеріалу: графічний матеріал виконаний у вигляді мультимедійної презентації.

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	к.держ.упр., професор, Гуйда О.Г.		
2	к.держ.упр., професор, Гуйда О.Г.		
3	к.держ.упр., професор, Гуйда О.Г.		
4	к.держ.упр., професор, Гуйда О.Г.		

7. Дата видачі завдання 3 жовтня 2025 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Заключний документ етапу
1	Вибір теми магістерської роботи, призначення керівника	до 08.09.2025	Затвердження переліку тем магістерських робіт та наукових керівників
2	Пошук і відбір літератури по темі роботи, складання плану магістерської роботи	до 15.09.2025	Список літературних (інформаційних) джерел, план роботи
3	Визначення об'єкта, предмета, мети, завдань та методів дослідження, написання вступу до теми магістерського дослідження	до 22.09.2025	Текст вступу
4	Написання тексту магістерської роботи відповідно до її структури:	23.09.2025 – 10.11.2024	Текст розділів
	4.1 I розділ	23.09.2025 – 05.10.2025	
	4.2 II розділ	06.10.2025 – 20.10.2025	
	4.3 III розділ	21.10.2025 – 03.11.2025	
4.4 IV розділ	04.11.2025 – 10.11.2025		
5	Підготовка графічних матеріалів чи іншого унаочнення	11.11.2025 – 14.11.2025	Роздатковий матеріал, презентація
6	Оформлення кінцевого списку використаних джерел та додатків	15.11.2025 – 21.11.2025	Список літературних джерел
7	Оформлення та попередній захист магістерської роботи	24.11.2025 – 28.11.2025	Магістерська робота, рішення кафедри про допуск до захисту
8	Внесення коректив та кінцеве редагування магістерської роботи	01.12.2025 – 05.12.2025	Магістерська робота
9	Реєстрація магістерських робіт на кафедрі	до 05.12.2025	Магістерська робота внесена до журналу реєстрації випускових робіт
10	Захист магістерської роботи	15.12.2025 – 26.12.2025	Рішення Екзаменаційної комісії про захист

## АНОТАЦІЯ

**Дудченко Д.А. Автоматизована система керування мікрокліматом приватного будинку – Рукопис.**

Кваліфікаційна магістерська робота за спеціальністю 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка». – Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського, Київ, 2025 рік.

У магістерській роботі розглянуто проблему підвищення енергоефективності та комфорту житлових приміщень шляхом впровадження комплексної автоматизованої системи керування мікрокліматом. Проаналізовано вплив параметрів повітряного середовища (температури, вологості, концентрації CO<sub>2</sub>) на здоров'я мешканців та обґрунтовано необхідність адаптивного регулювання для зниження енерговитрат. Розроблено структурну схему АСК на базі мікроконтролерних платформ, що забезпечує збір даних з сенсорів та інтелектуальне керування системами опалення та вентиляції.

Окрему увагу в роботі приділено питанням безпеки та функціонування будинку в умовах воєнного стану. Запропоновано алгоритми забезпечення енергетичної та водної автономності, а також заходи інженерного захисту споруди від надзвичайних ситуацій. Реалізоване програмно-апаратне рішення дозволяє знизити енергоспоживання будівлі на 15-25% та значно підвищити рівень особистої безпеки мешканців. Результати роботи можуть бути використані при проектуванні сучасних енергоефективних «розумних будинків» та систем цивільного захисту приватного сектору.

**Ключові слова:** автоматизована система, мікроклімат, приватний будинок, енергоефективність, мікроконтролер, моніторинг, безпека, автономність, датчики, енергозбереження

## ABSTRACT

### **Dudchenko D.S. Automated Microclimate Control System for a Private House – Manuscript.**

Master's degree qualification thesis in specialty 174 "Automation, Computer-Integrated Technologies, and Robotics". – Taurida National V.I. Vernadsky University, Kyiv, 2025.

The master's thesis addresses the problem of increasing the energy efficiency and comfort of residential premises through the implementation of a comprehensive automated microclimate control system. The influence of air environment parameters (temperature, humidity, CO<sub>2</sub> concentration) on occupants' health is analyzed, and the necessity of adaptive regulation to reduce energy consumption is substantiated. A structural diagram of the automated control system (ACS) based on microcontroller platforms has been developed, providing sensor data collection and intelligent management of heating and ventilation systems.

Special attention in the work is devoted to the issues of safety and house functioning under martial law. Algorithms for ensuring energy and water autonomy, as well as engineering protection measures for the building against emergency situations, are proposed. The implemented hardware and software solution allows for a reduction in the building's energy consumption by 15-25% and significantly increases the level of personal safety for residents. The results of the work can be applied in the design of modern energy-efficient "smart homes" and civil protection systems for the private sector.

**Keywords:** automated system, microclimate, private house, energy efficiency, microcontroller, monitoring, safety, autonomy, sensors, energy saving.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	9
1.1 Проблеми контролю мікроклімату будівель.....	9
1.1.1 Управління мікрокліматом будівлі .....	11
1.1.2 Важливість мікроклімату .....	14
1.1.3 Проблеми управління мікрокліматом .....	18
1.2 Система автоматизації опалення "Тепла підлога" .....	20
1.3 Дистанційне керування електричним карнизом для штор.....	24
1.4 Автоматизація вентиляційних систем.....	27
1.5 Висновки до розділу 1.....	30
2 РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДНИЦЬКО-АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ .....	32
2.1 Функції системи автоматичного керування мікрокліматом приватного будинку .....	32
2.2 Вибір пристрою керування мікрокліматом приватного будинку .....	36
2.3 Вибір та опис вимірювальних датчиків і пристроїв .....	44
2.3.1 Вибір датчика температури та вологості .....	45
2.3.2 Вибір датчика вуглекислого газу .....	54
2.3.3 Вибір релейного модуля .....	60
2.3.4 Вибір дисплейного модулю .....	67
2.4 Висновки до розділу 2.....	73
3 РОЗДІЛ 3. ПРОЕКТНО-РЕКОМЕНДАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ.....	75
3.1 Схема підключення елементів системи керування мікрокліматом приватного будинку .....	75
3.2 Розробка програмного забезпечення система керування мікрокліматом приватного будинку .....	79
3.2.1 Алгоритм роботи системи керування мікрокліматом приміщення .....	79
3.2.2 Середовище розробки Arduino IDE.....	81
3.2.3 Інтегрований програмний код система керування мікрокліматом приватного будинку .....	82
3.3 Аналіз роботи сенсорних модулів та автоматичних пристроїв .....	85
3.4 Висновки до розділу 3.....	90
4 РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....	92
4.1 Охорона праці при виконанні електромонтажних робіт .....	92
4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях в приватних будинках .....	98
4.3 Висновки до розділу 4.....	107
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ .....	109
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	111

## ВСТУП

**Актуальність теми.** На сучасному етапі розвитку суспільства питання енергозбереження та створення комфортних умов життєдіяльності людини набувають стратегічного значення. За статистичними даними, будівлі споживають до 40% світової енергії, а в Україні частка енергоресурсів, що витрачаються на експлуатацію житлового та комунального секторів, сягає 90%. Основним споживачем цієї енергії є системи підтримки мікроклімату — опалення, вентиляція та кондиціонування.

Традиційні підходи до керування мікрокліматом, які часто обмежуються лише регулюванням температури, є неефективними в сучасних реаліях. Глобальні кліматичні зміни, зростання вартості енергоносіїв та підвищення вимог до якості повітря (вміст CO<sub>2</sub>, вологість) зумовлюють необхідність переходу до комплексних автоматизованих систем. Особливої актуальності тема набуває для України в умовах воєнного стану, коли автоматизація повинна забезпечувати не лише комфорт, а й автономність та безпеку приватного будинку при виникненні надзвичайних ситуацій, техногенних ризиків або обмеження енергопостачання.

Розв'язання проблеми полягає у розробці інтегрованої автоматизованої системи керування (АСК), яка б поєднувала функції моніторингу параметрів середовища, енергоефективні алгоритми управління та підсистеми захисту і автономного виживання. Це дозволить суттєво знизити експлуатаційні витрати та підвищити рівень особистої безпеки мешканців.

Більшість існуючих рішень орієнтовані на комерційну нерухомість або стандартні «розумні будинки» без урахування специфічних викликів безпеки, притаманних поточному стану в Україні. Відмінність даної роботи полягає у поєднанні класичного клімат-контролю з моделлю безпеки в надзвичайних ситуаціях та алгоритмами енергетичної автономності.

**Вихідні дані для розробки теми.** Вихідними даними є технічні

характеристики сучасних датчиків температури, вологості та CO<sub>2</sub>; параметри енергоспоживання житлових будинків; нормативи ДСТУ та ISO щодо параметрів мікроклімату; а також аналітичні дані щодо загроз житловому сектору в умовах воєнного стану.

**Мета дослідження** – підвищення енергоефективності та рівня комфорту приватного житлового будинку шляхом розробки та впровадження інтегрованої автоматизованої системи керування мікрокліматом, що забезпечує адаптивне регулювання параметрів та функціонування в умовах надзвичайних ситуацій.

**Завдання дослідження:**

1. Проаналізувати сучасний стан та проблеми контролю мікроклімату в житлових будівлях.
2. Розробити структуру та алгоритми функціонування автоматизованої системи керування параметрами середовища (температура, вологість, якість повітря).
3. Обґрунтувати вибір апаратних засобів та програмного забезпечення для реалізації системи.
4. Розробити комплексну модель безпеки та автономності будинку (енергетичної, водної, логістичної) як складової частини загальної системи керування.
5. Оцінити ефективність запропонованих рішень щодо зниження енергоспоживання та підвищення безпеки життєдіяльності.

**Об'єкт дослідження** – процес формування та підтримання мікроклімату в приватному житловому будинку під впливом внутрішніх та зовнішніх чинників.

**Предмет дослідження** – методи, алгоритми та технічні засоби автоматизованого керування параметрами мікроклімату, спрямовані на оптимізацію енергоспоживання та забезпечення безпеки.

**Методи дослідження.** Для досягнення мети використано такі методи:

- *системний аналіз* — для вивчення об'єкта автоматизації та сучасних загроз;
- *математичне моделювання* — при розробці алгоритмів управління параметрами повітряного середовища;
- *методи теорії автоматичного керування* — для синтезу регуляторів системи;
- *інженерні методи розрахунку* — при проектуванні систем захисту та автономного енергозабезпечення.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає у:

- *удосконаленні* алгоритмів комплексного керування мікрокліматом, які, на відміну від існуючих, враховують не лише температурні показники, а й динаміку зміни якості повітря та енергоефективні режими за присутності людей;
- *дістала подальший розвиток* модель «безпечного будинку», яка інтегрує систему клімат-контролю з протоколами реагування на надзвичайні ситуації (хімічні, радіаційні загрози, пожежі) та алгоритмами переходу на автономне живлення.

**Практичне значення отриманих результатів.** Розроблено архітектуру автоматизованої системи, яка може бути впроваджена при будівництві або модернізації приватних будинків. Запропоновані рекомендації щодо інженерного укріплення споруд, захисту світлопрозорих конструкцій та формування індивідуальних аварійних наборів мають пряму практичну цінність для підвищення рівня виживання населення в зонах бойових дій та районах з високим техногенним ризиком. Результати дослідження дозволяють зменшити витрати на опалення та кондиціонування на 15-25% за рахунок точного автоматизованого регулювання.

## РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

### 1.1 Проблеми контролю мікроклімату будівель

#### Контроль мікроклімату як глобальна проблема

Протягом останнього десятиліття зростання споживання енергії та викидів CO<sub>2</sub> посилює глобальну увагу до енергоефективності. Будівлі споживають до 40% світової енергії, причому житловий та комерційний сектори використовують понад 60% електроенергії. В Україні 90% енергії в житлово-комунальному господарстві йде на експлуатацію будівель. Контроль мікроклімату – управління температурою, вологістю, потоком повітря та якістю повітря – має вирішальне значення для комфорту та енергозбереження. Однак більшість сучасних систем регулюють лише температуру. Комплексні системи мікроклімату є важливими для сталого середовища в будівлях, сільському господарстві та промисловості, спрямовані на зменшення споживання енергії та системних збоїв [1].

#### Контроль мікроклімату в теплицях

Теплиця служить захисним середовищем для рослинності, захищаючи її від несприятливих погодних умов, водночас пропускаючи сонячне світло. Незважаючи на свою очевидну простоту, теплиці являють собою складні системи. Їхня основна функція полягає в підтримці внутрішнього клімату в межах певних параметрів, сприятливих для росту рослин. Однак досягнення цієї мети ускладнюється зовнішніми факторами, такими як швидкість вітру, сонячна радіація, коливання температури та вологості. Системи контролю мікроклімату відіграють ключову роль у пом'якшенні цих впливів, захисті рослинності, оптимізації росту та мінімізації ризиків хвороб та шкідників. Проте проблеми залишаються, особливо в дифузному характері методів контролю температури повітря та енергоємній роботі кількох виконавчих механізмів для вентиляції, опалення та регулювання вологості. Отже, впровадження ефективних енергетичних систем стає вкрай необхідним для зменшення експлуатаційних

витрат та підвищення сталості [2].

### Контроль мікроклімату в лікарнях

Протягом останніх десятиліть значні інвестиції були спрямовані на вдосконалення технологій очищення повітря в лікарнях, що охоплюють дезінфекцію повітря, сучасні технологічні рішення та найсучасніше обладнання. Проектування інженерних систем для медичних закладів створює унікальні проблеми через вимогливе середовище та специфічні експлуатаційні вимоги. Медичні заклади, від загальних лікарень до спеціалізованих клінік та діагностичних центрів, вимагають пильної уваги до систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря (ОВК) через суворі гігієнічні стандарти та ризик внутрішньолікарняних інфекцій. Еволюція медичних технологій ще більше ускладнює проектування систем, вимагаючи інноваційних інженерних рішень для задоволення потреб охорони здоров'я, що постійно змінюються. Крім того, архітектурні зрушення в бік більш компактних та інтегрованих конструкцій лікарень створюють додаткові труднощі у підтримці чітких зон чистоти та запобіганні перехресному забрудненню. Отже, забезпечення оптимальних умов мікроклімату, включаючи температуру, вологість, якість повітря та потік повітря, стає критично важливим питанням у проектуванні, реконструкції та постійному технічному обслуговуванні лікарень. Незважаючи на ці труднощі, постійні дослідницькі зусилля та дотримання встановлених протоколів та стандарти спрямовані на покращення контролю мікроклімату в лікарнях, сприяючи безпеці, комфорту та благополуччю як пацієнтів, так і медичних працівників.

Оптимізація мікроклімату в зайнятих приміщеннях зосереджена на управлінні ключовими факторами навколишнього середовища, такими як температура, вологість, рівень CO<sub>2</sub> та забруднюючі речовини, за допомогою передових систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря. Ефективний контроль цих параметрів покращує здоров'я людини, комфорт та продуктивність, одночасно підвищуючи енергоефективність. Проблеми включають нерівномірні

умови в приміщенні, зовнішні впливи навколишнього середовища та технічні обмеження. Наукові дослідження в усьому світі підтримують розробку адаптивних, стійких рішень для контролю мікроклімату. Співпраця та технологічна інтеграція є важливими для створення здоровішого, комфортнішого та енергоефективнішого середовища в приміщенні.

### **1.1.1 Управління мікрокліматом будівлі**

Управління мікрокліматом у будівлях стосується процесу контролю та регулювання внутрішнього середовища в будівлях для забезпечення оптимальних умов для мешканців з точки зору температури, вологості, якості повітря та інших факторів. Таке управління має вирішальне значення для підтримки комфорту, здоров'я та рівня продуктивності в будівлях, а також для прагнення до енергоефективності та екологічної стійкості.

Ключові аспекти управління мікрокліматом будівлі включають:

Регулювання температури: Підтримка комфортного температурного діапазону в будівлях, зазвичай від 20 до 25 °C (68-77 °F), залежно від таких факторів, як пора року, заповнюваність будівлі та діяльність, що здійснюється в приміщенні.

Контроль вологості: Управління рівнем відносної вологості для запобігання дискомфорту, росту цвілі та пошкодженню будівельних матеріалів. Рекомендований діапазон вологості в приміщенні зазвичай становить від 30 до 60%.

Моніторинг якості повітря: забезпечення хорошої якості повітря в приміщенні шляхом моніторингу та контролю забруднюючих речовин, таких як вуглекислий газ (CO<sub>2</sub>), леткі органічні сполуки (ЛОС), тверді частинки та інші забруднюючі речовини.

Вентиляція: забезпечення належної вентиляції для подачі свіжого зовнішнього повітря та видалення застарілого повітря з приміщення, запобігання

накопиченню забруднюючих речовин та підтримки рівня кисню.

Енергоефективність: впровадження енергоефективних систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря (ОВК), ізоляції та стратегій проектування будівель для мінімізації споживання енергії при одночасному задоволенні вимог щодо комфорту.

Системи автоматизації та управління: використання систем управління будівлями (СУБ) або інтелектуальних технологій для автоматизації та оптимізації процесів контролю мікроклімату, включаючи планування, коригування заданих значень та виявлення несправностей.

Ефективне управління мікрокліматом будівлі вимагає цілісного підходу, який враховує взаємодію між системами будівлі, поведінкою мешканців та зовнішніми умовами навколишнього середовища. Впроваджуючи передові стратегії управління, використовуючи аналітичні дані та інтегруючи принципи сталого проектування, оператори будівель можуть створювати здоровіші, комфортніші та енергоефективніші умови всередині приміщень.

#### Системи управління будівлями (СУБ)

Системи управління будівлями (СУБ) – це централізовані системи, призначені для моніторингу та управління різними службами та системами будівель. Ці системи є невід'ємною частиною управління мікрокліматом та загальною продуктивністю будівель [3].

Система управління будівлею (СУБ) інтегрує та керує кількома системами будівлі, включаючи опалення, вентиляцію та кондиціонування повітря (HVAC), освітлення, безпеку, пожежну безпеку, управління енергоспоживанням та інші. Завдяки централізації керування та зв'язку СУБ дозволяє скоординовану роботу та оптимізацію цих систем.

Ключові функції СУБ включають постійний моніторинг таких параметрів, як температура, вологість, кількість людей, якість повітря, споживання енергії та стан обладнання. На основі попередньо визначених значень та алгоритмів

керування система регулює роботу системи опалення, вентиляції та кондиціонування повітря, рівні освітлення та інші параметри для ефективної підтримки бажаних умов.

Сучасні платформи СУБ часто пропонують можливості віддаленого доступу та керування, що дозволяє операторам будівель контролювати та керувати системами будівлі з будь-якого місця через веб-інтерфейси або мобільні додатки. Це сприяє проактивному усуненню несправностей, швидкому реагуванню на тривоги та оптимізації роботи системи віддалено.

Управління енергією є критично важливим аспектом СУБ, оскільки система оптимізує роботу систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря, планує використання обладнання, впроваджує стратегії реагування на попит та визначає можливості енергозбереження. Аналізуючи дані про енергію та впроваджуючи заходи збереження, СУБ допомагає зменшити споживання енергії та експлуатаційні витрати.

Передові платформи BMS включають алгоритми виявлення та діагностики несправностей (FDD) для виявлення несправностей обладнання, неефективності та аномальних умов роботи в режимі реального часу. Це допомагає запобігти збоєм системи, скоротити час простою та оптимізувати зусилля з технічного обслуговування [4].

Інструменти аналізу даних у СУБ аналізують дані, зібрані з систем будівлі, датчиків та лічильників, щоб виявити тенденції, закономірності та аномалії. Налаштовувані звіти та інформаційні панелі сприяють прийняттю обґрунтованих рішень та відстеженню ефективності.

Масштабованість та гнучкість є важливими характеристиками СУБ, що дозволяють легко розширювати, модернізувати та інтегрувати з новими технологіями. Система повинна адаптуватися до змін в інфраструктурі будівлі, моделях заселення та експлуатаційних вимог з часом.

Зрештою, СУБ має на меті підвищити комфорт, продуктивність та

самопочуття мешканців, підтримуючи оптимальні умови навколишнього середовища в приміщенні та забезпечуючи безпечне та здорове середовище в приміщенні. Зручні інтерфейси та персоналізовані опції керування сприяють позитивному досвіду мешканців.

Підсумовуючи, системи управління будівлями (СУБ) є важливими для оптимізації продуктивності будівель, підвищення енергоефективності та забезпечення комфортного, безпечного та сталого середовища в приміщеннях. Використовуючи передові технології, автоматизацію та аналітичні дані, СУБ допомагає будівлям працювати ефективніше та економічно вигідніше. Автори в проаналізували різні типи інтелектуальних регуляторів температури, що використовуються в системах управління енергією будівель (СУБ), і дійшли висновку що такі фактори, як розміщення пристрою, чутливість датчика та джерело живлення, є критично важливими для ефективного управління енергією будівлі.

### **1.1.2 Важливість мікроклімату**

Контроль мікроклімату є дуже важливою функцією для різних типів будівель. Прогнозування та виявлення несправностей є важливим завданням для оптимальної роботи систем контролю мікроклімату [5].

Контроль мікроклімату як глобальна проблема

Протягом останнього десятиліття швидке зростання споживання енергії та пов'язаних з ним викидів вуглекислого газу ( $\text{CO}_2$ ), зі зменшенням кількості паливно-енергетичних ресурсів планети, спонукало вчених-дослідників звернути особливу увагу на пошук рішень для підвищення енергоефективності.

Згідно зі звітами Міністерства енергетики США (DOE), серед усіх секторів економіки, що споживають значну кількість енергії, будівлі та житлові комплекси використовують понад третину (до 40%) від загального світового споживання енергії. Крім того, понад 60% споживаної електроенергії припадає

на сектор житлових та комерційних будівель.

У світовому масштабі комерційні будівлі використовують приблизно 41% первинної енергії, що споживається в усьому світі, включаючи Сполучені Штати, Європу та Азію. Очікується, що ці цифри зростатимуть протягом наступних 20 років.

Близько 90% загального споживання енергії житлово-комунальною сферою Республіки Казахстан витрачається на експлуатацію будівель. Житлові будівлі характеризуються найбільшим споживанням енергії: 50-55%.

Промислові будівлі використовують дещо менше, 35-45%, а цивільні будівлі становлять близько 10%.

У житловому та цивільному будівництві резерви енергоефективності сягають до 40%. У зв'язку з цим заходи щодо скорочення втрат тепла та енергії мають велике значення для Республіки.

Загалом, стан мікрокліматичної системи описується головним чином параметрами навколишнього повітря: температурою повітря, відносною вологістю, кількістю вуглекислого газу, а також рухливістю повітря, вмістом  $\text{NH}_4$  (аміаку),  $\text{H}_2\text{S}$  (сірководню) та бактеріальним забрудненням.

Щоб впоратися зі зростаючим попитом, в існуючу інфраструктуру впроваджуються різні стратегії керування, щоб підтримувати попит на електроенергію в житлових та комерційних будівлях.

Наразі найпоширеніші автоматизовані системи контролю мікроклімату забезпечують лише регулювання температури. Це підвищує комфорт людей, а сучасне інтелектуальне керування дозволяє оптимізувати споживання енергії. Тим не менш, існують й інші змінні для оптимального комфорту та самопочуття. Отже, хороша система контролю мікроклімату виходить за рамки температури, а саме контролює також вологість та швидкість руху повітря.

Важливість контролю мікроклімату для людей.

Мікрокліматичні умови в приміщенні залежать від низки факторів, таких

як кліматична зона; пора року; тип обладнання, що використовується; тип приміщень; умови повітрообміну; розмір приміщення, яке потрібно кліматизувати; та кількість людей, що перебувають у приміщенні.

Для створення теплового комфорту в житловому приміщенні необхідна як регіональна, так і сезонна диференціація теплового стану людини. Природно, що взимку для підтримки температури повітря в приміщенні потрібна більша кількість енергії. Такий температурний показник знімає фізіологічну втому людей, що перебувають в умовах низьких температур навколишнього середовища. Рисунок 1.1. показує кімнату та змінні, які важливо контролювати. Враховуються такі змінні:

$Q_{\text{ceil}}$  – Втрати тепла через стелю;  $Q_d$  – Втрати тепла через двері;

$Q_{Eo}$  – Втрати тепла через випускні отвори;  $Q_h$  – Тепловіддача людиною;

$Q_{\text{win}}$  – Втрати тепла через вікна;  $Q_w$  – Втрати тепла через стіни;

$t_R$  – Радіаційна температура;

$+t$  – Кімнатна температура;

$-t$  – Зовнішня температура;

$+f_i$  – Вологість повітря в приміщенні;

$-f_i$  – Зовнішня вологість;

$-v$  – швидкість зовнішнього повітря;

$+v$  – швидкість повітря в приміщенні;

$Q_{fl}$  – Втрати тепла через підлогу;

$l$  – Система опалення;

$G$  – Товщина конструкції будівлі;

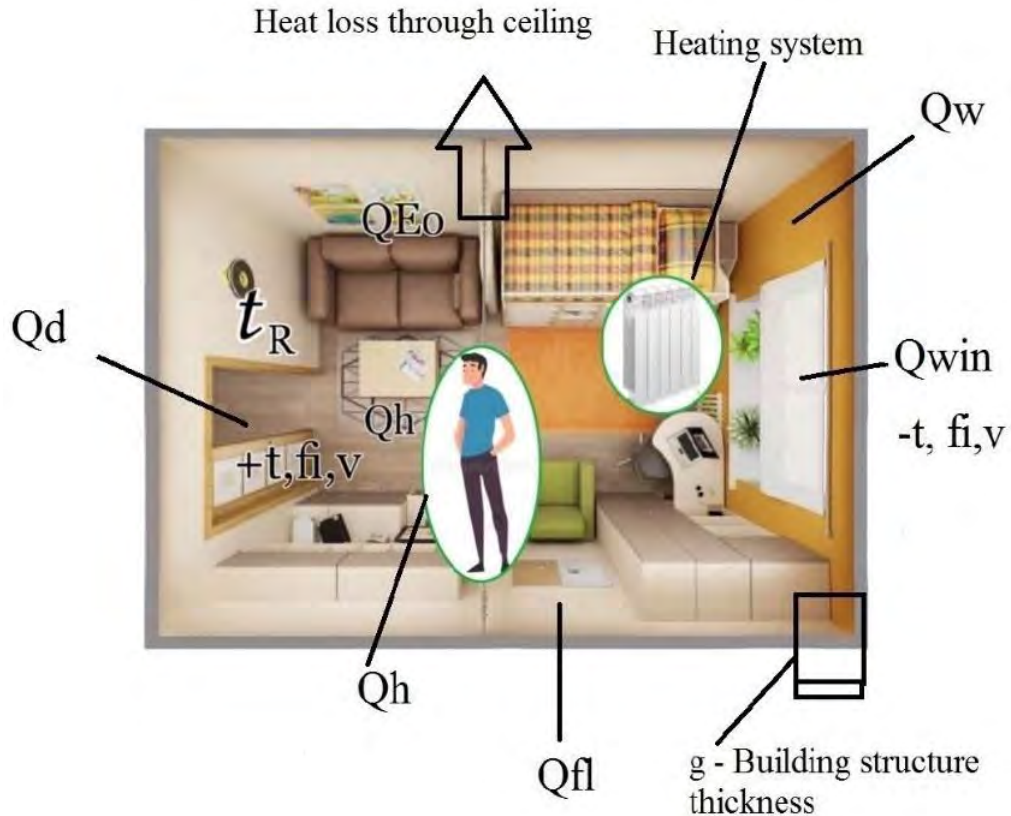


Рис. 1.1. Змінні мікроклімату приміщення.

З цієї причини в зимовий період у першій будівельно-кліматичній зоні гігієністи рекомендують підтримувати температуру повітря в приміщеннях у діапазоні 23-24°C.

Тепловий комфорт людини також тісно пов'язаний з місцевою температурою, в якій розташовані окремі частини тіла, зокрема голова та ноги.

Температура підлоги найбільше впливає на тепловий стан людини. Безпосередній контакт з холодною підлогою призводить до застуди.

У зв'язку з цим у житлових приміщеннях температура на поверхні підлоги може бути нижчою за середню температуру повітря, але не повинна бути нижчою більш ніж на два градуси.

Зі збільшенням різниці температур між повітрям і внутрішніми поверхнями, променисте охолодження людини посилюється. Це може

спричинити порушення терморегуляції людського організму.

Згідно з фізіологічними спостереженнями, тепловий комфорт у житловому приміщенні вважається досягнутим лише тоді, коли температура повітря не вища за температуру внутрішніх поверхонь більш ніж на 2-30°C.

Нормована різниця для житлових приміщень визначає втрату роси на поверхні стіни більшою мірою, ніж тепловий комфорт людини.

Комфортні значення рухливості повітря в приміщенні залежать від поєднання температури повітря, вологості, радіаційної ситуації в приміщенні, виду роботи та пори року.

Сукупність розглянутих характеристик мікроклімату та їх допустимі діапазони, встановлені гігієністами, описують умови, які необхідно забезпечити створений у кімнаті для того, щоб людина, яка переживає тепловий стан нейтральності (тобто не могла визначити, тепло їй чи холодно), який зазвичай оцінюється як комфортний.

Мікроклімат у приміщенні формується внаслідок збурювальних впливів зовнішнього середовища та технологічного процесу всередині будівлі, який протидіє зовнішнім впливам шляхом нагрівання або охолодження, а також контролює інші змінні мікроклімату.

Особливість систем мікроклімату полягає в тому, що вони споживають велику кількість енергетичних ресурсів, включаючи теплову та електричну енергію, а іноді й водопровідну воду.

### **1.1.3 Проблеми управління мікрокліматом**

Управління мікрокліматом у будівлях стикається з кількома проблемами, які можуть вплинути на здатність підтримувати оптимальні умови в приміщенні та досягати енергоефективності. Деякі з ключових проблем описані нижче [6].

Складність внутрішнього середовища

Внутрішні простори динамічні та різноманітні, з різною заповненістю,

діяльністю та умовами навколишнього середовища. Управління мікрокліматом вимагає розуміння та вирішення цих складнощів для забезпечення постійного комфорту та якості повітря.

#### Змінність уподобань мешканців

Мешканці мають різні вподобання щодо комфорту та чутливості до тепла, що ускладнює встановлення універсальних налаштувань температури та вологості, які б задовольнили всіх. Збалансування індивідуальних уподобань з цілями енергоефективності може бути складним.

#### Споживання енергії

Опалення, охолодження та вентиляція будівель споживають значну кількість енергії, що сприяє як експлуатаційним витратам, так і впливу на навколишнє середовище. Оптимізація використання енергії без шкоди для комфорту вимагає складних стратегій управління та ефективних систем будівництва.

#### Проблеми якості повітря

Якість повітря в приміщенні може бути порушена такими забруднювачами, як леткі органічні сполуки, тверді частинки, алергени та мікробні забруднювачі. Ефективне управління вентиляцією, фільтрацією та джерелами забруднювачів є важливим для підтримки здорового середовища в приміщенні.

#### Зміна клімату та екстремальні погодні явища

Зміна клімату може призвести до частіших та інтенсивніших хвиль спеки, періодів похолодання та екстремальних погодних явищ, що ставить під сумнів здатність традиційних систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря справлятися з коливаннями зовнішніх умов та підтримувати комфорт у приміщенні.

#### Старіння інфраструктури та обладнання

Багато будівель мають застарілі системи опалення, вентиляції та кондиціонування повітря (ОВК) та інфраструктуру, що призводить до

неефективності, проблем з надійністю та збільшення вимог до технічного обслуговування. Модернізація та модернізація цих систем може бути дорогою та деструктивною.

#### Інтеграція розумних технологій

Впровадження інтелектуальних технологій та пристроїв Інтернету речей (IoT) у системи управління будівлями пропонує можливості для покращення контролю та автоматизації. Однак безперешкодна інтеграція цих технологій та забезпечення безпеки й конфіденційності даних створюють труднощі для власників та операторів будівель.

#### Управління даними та аналіз

Збір, аналіз та інтерпретація даних з різних датчиків та систем будівлі має вирішальне значення для оптимізації управління мікрокліматом. Однак керування великими обсягами даних, забезпечення їхньої точності та отримання корисної інформації створюють труднощі для керівників будівель.

Вирішення цих проблем вимагає міждисциплінарного підходу, який поєднує досвід у будівельній науці, інженерії опалення, вентиляції та кондиціонування повітря, аналітиці даних та поведінці мешканців. Використовуючи передові технології, впроваджуючи практики сталого проектування та надаючи пріоритет комфорту та благополуччю мешканців, власники та оператори будівель можуть подолати ці проблеми та створити здоровіше та енергоефективніше середовище в приміщенні [1, 6].

### **1.2 Система автоматизації опалення "Тепла підлога"**

Автоматика забезпечує регулювання температури в теплоносії, який, у свою чергу, встановлений в опалювальній конструкції. У цьому випадку вона залежить від температури зовнішньої атмосфери.

Основне призначення автоматизації системи опалення – регулювання температури всередині будівлі. Головною перевагою автоматизації системи

опалення є значна економія коштів. Контроль температури починається від зовнішньої температури при ввімкненні автоматики, тому система значно економить ваші ресурси у разі раптового потепління на вулиці. Основне призначення цієї системи – стабілізація температури без сторонньої допомоги [7].

Системи опалення бувають електричними та водяними. У першому випадку тепла підлога включає нагрівальний провід, в якому електрична енергія перетворюється на теплову. У другому випадку джерелом енергії є тепло, яке протікає по трубах, прокладених у підлозі, та обігріває приміщення.

Переваги системи теплої підлоги:

- Вся ефективна площа поверхні лігва виступає в ролі поверхні нагріву настінного обігрівача.
- відсутність проходу – швидкість конвекції та об'єм повітряного потоку, що викликаються роботою останнього, знижуються порівняно з роботою настінного опалювального приладу;
- економія – зменшення витрат тепла на опалення – може бути досягнута шляхом зниження температури в приміщенні до 18°C, зазначена температура забезпечує тепловий комфорт для людини – 20°C, при використанні настінних опалювальних приладів зміна температури на 1-2°C практично не відчувається організмом людини;
- естетична складова використання систем теплої підлоги полягає у відсутності нагрівальних приладів, що потребують додаткового очищення приміщення;
- Можливе поєднання системи теплої підлоги з іншими видами опалення – радіаторами;
- Рівномірний розподіл тепла від підлоги до стелі в опалювальному приміщенні забезпечує тепловий комфорт для людини, коли температура ідеальна – найвища температура на поверхні підлоги та знижується в міру підйому людини над землею, підтримуючи оптимальну температуру на рівні

голови;

а) вирішення проблеми утеплення підлоги та звукоізоляції; б) можливість дуже точно контролювати температуру;

в) Ефективно використовується в приміщеннях на першому поверсі без підвалу.

Недоліки систем теплої підлоги:

а) складний монтаж (порівняно з радіаторами);

б) неможливість використання цієї системи в поєднанні з натуральним паркетом; в) вартість системи (порівняно з радіаторами).

Електрична тепла підлога має такі переваги:

а) легкість та дешевизна регулювання температури підлоги;

б) Електричні теплі підлоги не потребують спеціального обладнання.

Є також деякі недоліки:

а) більше споживання струму з електромережі, що значно дорожче;

б) електричні підлоги з підігрівом вимагають підняття рівня підлоги (на 3-5 см при використанні екранованого кабелю та на 3-4 мм при використанні тонкого килимка);

Тобто, переваги водяних підлог порівняно з електричними не викликають сумнівів. Перш за все, це зменшення потужності електроустановки будівлі та, як наслідок, зменшення вартості рахунків за електроенергію. Ще однією перевагою водяних підлог є повна відсутність електричних та магнітних полів, небезпека яких обговорюється досі [8].



Рис 1.2. Підігрів підлоги

Система теплої підлоги встановлюється як у житлових приміщеннях, так і в приватних будинках, тому вона підходить для важливих місць (спортзали, водойми, готелі, кафе тощо).

При використанні водяної системи «тепла підлога» середня температура опалення в проточній мережі не повинна перевищувати 45-55 °С, тому слід розуміти, що це низька температура. Низькотемпературний режим теплоносія базується на кількох факторах. Температура поверхні підлоги, житлового приміщення в місці, де постійно проживає людина, не повинна перевищувати 23-26 °С (передпокій, вітальня, кухня тощо), тому ця температура вважається комфортною для життя людини.

У місцях, де людина тимчасово перебуває, ця температура може коливатися від 28 до 31 °С (душ, ванна кімната, джакузі) та близько 33-35 °С для прикордонних зон.

У приміщеннях, обладнаних системою теплої підлоги, необхідно дотримуватися інструкцій щодо підтримки заданої температури на поверхні підлоги, недотримання яких, крім незручностей для людей, які користуються приміщенням протягом тривалого часу, може завдати шкоди організму людини. Крім того, використання системи теплої підлоги при раніше заданій температурі

теплоносія призводить до утворення тріщин та подальшого псування матеріалів, що використовуються як підлогові покриття [9].

Перелік комплектуючих та допоміжних матеріалів для монтажу теплої підлоги: труби, теплоізоляція (з маркуванням), компенсаційна (рантова) стрічка, кріплення, а також мультикомплекти з фітінгами для підключення контурів теплої підлоги до системи опалення.

Принцип встановлення теплої підлоги з водонагрівачем дуже поширений. На підлогу опалювального приміщення укладаються теплоізоляційні та гідроізоляційні шари, а на них встановлюються полімерні труби з циркулюючою гарячою водою, які є нагрівальним компонентом. Поверх усього механізму замінюється шар цементно-піщаної стяжки, за допомогою якої забезпечується рівномірний розподіл тепла в приміщенні. Кожне приміщення має обігріватися одним або кількома контурами, прокладеними в підлозі. Труби можна прокладати наступним чином:

а) Наявність такої конфігурації вимагає прокладання труби по зовнішній стіні, щоб суттєво не збільшувати різницю температур між площиною підлоги та навколишнім середовищем, що типово для цього типу прокладання.

б) спіраль використовується в більшості випадків, оскільки в цьому випадку досягається найбільший розподіл температури (подавальна труба розміщується поруч зі зворотною), що спрощує монтажні роботи, таким чином вимагаючи двох поворотів на  $180^\circ$ : як наслідок, паралельне укладання труб.

### **1.3 Дистанційне керування електричним карнизом для штор**

Електричні карнизи та дистанційне керування зустрічаються не тільки в громадських місцях – у житлових будинках, ресторанах, офісах, кінотеатрах, де дуже важливо регулювати багато вікон одночасно, але й у будинках та квартирах. Штори на пульті керування – регулювання положення панелей здійснюється механічно за допомогою електроприводу, інтегрованого в карниз, та пульта

дистанційного керування, за допомогою якого користувач дає вказівки мотору. Механізована концепція керування шторами є функціональним компонентом, який значно розширює можливості використання жалюзі. У невеликих приміщеннях такі пристрої не потрібні при оформленні вікон зі звичайними отворами, але електричні карнизи дійсно актуальні [10, 11].

Виділимо основні особливості:

- При декоруванні люстрами та ландшафтними вікнами важко вручну регулювати штори через їх розмір;
- у високих віконних отворах;
- Доступ до вікон ускладнений через меблі або особливості планування будівлі.

Штори з електричними жалюзі доречні в кімнатах з кількома вікнами – вони виводяться на єдиний пульт управління і всі штори відкриваються без жодної кнопки. Штори з дистанційним керуванням – візитна картка розумного будинку, тому, якщо ви плануєте доповнити вітальню інноваційними технологічними процесами, варто почати з встановлення електричних карнизів для штор.



Рис. 1.3. Електрокарнизи для штор

Всі електричні жалюзі з дистанційним керуванням, залежно від конструктивних особливостей карниза, поділяються на два типи – розсувні (горизонтальні) та підйомні (вертикальні). До категорії підйомних систем належать такі типи жалюзі: штори, римські штори.

Карниз з електроприводами виготовлений у вигляді циліндричного вала, який обертається збоку двигуном або інтегрований у нього. При обертанні стрижень охоплює всю тканину штори (у рулонних шторах) або за допомогою напрямних ниток піднімає нижній елемент виробу у електричних жалюзі та римських штор.

Електропривід являє собою двигун, розташований у циліндричному або прямокутному корпусі, прикріпленому до передньої частини несучої рейки. Коли двигун увімкнено, він обмежує ремінь та той, що переміщує повзунки, що фіксують штору, у потрібне положення. Електропривід працює у двох напрямках, відкриваючи та закриваючи полотна. Ринок пропонує широке розмаїття типів розсувних електричних жалюзі – їхня довжина сягає 7 метрів, модель будь-яка: від простих прямих до криволінійних виробів для скління еркерних та ландшафтних вікон. Електрожалюзі з можливістю керування пультом дистанційного керування оснащені радіомодулем, який приймає сигнали, що надсилаються з пульта дистанційного керування, та керує двигуном. Пульт дистанційного керування звичайної функції включає 4 клавіші: розгортання полотна (відкриття); вкорочення (закриття); зупинка руху штори; програмована кнопка, що дозволяє зберігати стан штори в пам'яті та переводити її у встановлений стан одним кліком.

Доповнюючи концепцію додатковими датчиками, керування шторами можна повністю автоматизувати:

- датчик світла – регулює положення штори залежно від сили світлового потоку, що потрапляє у вікно;
- датчик температури – в регіонах з теплим кліматом або влітку він

закриває вікно шторою, коли кімната прогрівається до заданої температури;

- Таймер - дозволяє запрограмувати відкриття або закриття штор у потрібний час доби.

До переваг електричних штор можна віднести: зручність використання у випадку великих віконних прорізів та значної кількості вікон у кімнаті; безшумна робота; доопрацювання концепції «для вас» – при використанні датчиків світла та таймера; область використання залежно від щільності забудови – можна використовувати у ванних кімнатах та на кухнях.

#### **1.4 Автоматизація вентиляційних систем**

Вентиляція вважається однією з основних концепцій кожної будівлі, що забезпечує всю конструкцію чистим і свіжим повітрям. У структуру вентиляційної концепції входить ряд компонентів з окремими функціями. Всі елементи об'єднані в трирівневий комплекс, що вимагає безперервного управління, контролю, експлуатації та обслуговування [12, 13].

Автоматична система, яка забезпечує керування всіма пристроями та конструкціями концепції та є необхідним компонентом супертехнологічного «розумного будинку», значно спрощує керування вентиляцією.

а) обладнання дозволяє здійснювати повне керування механізмами та пристроями, що є елементами вентиляційної системи, та регулювання їх робочих параметрів;

б) інформація про ступінь забруднення повітряних фільтрів надається в режимі реального часу завдяки наявності спеціальних датчиків;

в) безпека експлуатації обладнання, підключеного до автоматизованої системи, в результаті чого значно підвищується безпека інтелектуальної будівлі. Вентиляційне обладнання захищене від виходу з ладу, перегріву та короткого замикання через несправність або відключення електроенергії;

г) система постійно контролюється, що повністю виключає можливість

загострення проблем, які можуть виникнути внаслідок несвоєчасного виявлення дефектів та несправностей;

д) також зменшуються помилки та промахи, спричинені людським фактором; крім того, позашляховик дозволяє зменшити кількість обслуговуючого персоналу;

д) система забезпечує два режими керування: автоматичний з параметрами, що визначаються користувачем, та ручний режим;

g) SUV дозволяє змінювати продуктивність агрегату в широкому діапазоні режимів, регулювати температуру повітря та швидкість його подачі;

і) Шафи з позашляховим обладнанням можуть використовуватися для роботи з іншими системами керування та моніторингу.

Модульна система вентиляції – це концепція вентиляції, яка збирається з окремих компонентів для формування необхідних критеріїв у приміщенні (вентилятори, повітрянагрівачі, фільтри, витяжки та решітки, повітроводи). Такі концепції прості, надійні, недорогі та широко поширені. Система автоматизації вентиляції повинна гарантувати: контроль швидкості вентилятора; захист водонагрівача від замерзання; підтримку заданої температури повітря в повітроводах або приміщенні; індикацію рівня засмічення фільтрів.

Концепція автоматизації вентиляції має схожі основні компоненти: вимірювачі – це компоненти автоматизованих концепцій, які вимірюють усі параметри керованої системи (температуру, тиск, вологість тощо) у режимі реального часу. Вибір вимірювачів керування механічною вентиляцією здійснюється відповідно до умов експлуатації, спектру та необхідної точності вимірювання. Характеристики концепції вентиляції вимірюються шляхом їх модифікації, а дані передаються на стабілізатор за допомогою електричного сигналу; регулятори – один з найважливіших компонентів концепції, що забезпечує керування робочими механізмами відповідно до показань різних вимірювачів; пристрої введення – це дистанційне технічне обладнання,

призначене для введення інформації або сигналів в електричний пристрій концепції вентиляції під час роботи; пристрої керування (контролери) – це пристрої керування в електроніці вентиляційної системи; виконавчі механізми виступають у ролі зовнішніх приводних елементів (виконавчі механізми, змішувальні конструкції тощо). Виконавчі механізми поділяються на електричні, пневматичні та гідравлічні.

Пожежна автоматизація — це сукупність інженерних засобів, призначених для запобігання, виявлення та гасіння пожеж, забезпечення захисту людей у разі пожежі, створення режимів пожежної безпеки, технічних концепцій життєзабезпечення, науково-технічного обладнання відповідно до встановленої методики [14].

Пожежна автоматика - збірне позначення комплексу режимів пожежогасіння (РПГ), що облаштовують будівлі, споруди, споруди та будівлі з підвищеною пожежною небезпекою. Комплекс понять пожежного захисту включає автоматизовані споруди пожежогасіння (АСПГ), сигналізацію, оповіщення та управління евакуацією, протидимний захист. Єдиним поняттям, що включається до викладу пожежної автоматики, вважається автоматизований режим роботи відповідно до цієї програми. При цьому враховується дистанційне та ручне регулювання систем.

Основні концепції автоматизації кондиціонування повітря Системи автоматизації, що містяться в цьому розділі, призначені для керування обладнанням концепції опалення, вентиляції та кондиціонування повітря (від англ. Heating, Ventilation, & Air Conditioning - теплопровідність, вентиляція та кондиціонування повітря), до якого належать холодильні механізми, основні та попередні кондиціонери тощо. Це технічне обладнання, як правило, призначене для забезпечення вимірювань якості повітря в компаніях, офісах, промислових цехах, складах, готелях, торгових та спортивних комплексах та інших будівлях і спорудах. Автоматизовані системи постачання концепцій опалення, вентиляції та

кондиціонування повітря зазвичай інтегровані або постачаються з обладнанням. Така електроавтоматика проектується та розробляється для будь-якого конкретного об'єкта, передбаченого виробником та замовником, та включає набір різних пристроїв та програмного забезпечення.

### **1.5 Висновки до розділу 1**

У результаті виконання першого розділу було проведено аналіз сучасного стану та проблем управління мікрокліматом у будівлях різного призначення. Основні результати аналізу дозволяють зробити наступні висновки:

- Встановлено, що будівлі споживають до 40% світової енергії, а в Україні цей показник у житлово-комунальному секторі сягає 90%. Оптимізація контролю мікроклімату є критично важливою не лише для комфорту, а й для досягнення глобальних цілей енергоефективності та сталого розвитку.

- Доведено, що сучасна система управління не повинна обмежуватися лише регулюванням температури. Для створення здорового середовища та забезпечення продуктивності необхідно здійснювати комплексний моніторинг температури, вологості, рівня CO<sub>2</sub> та швидкості руху повітря.

- Аналіз технологій опалення показав, що системи теплої підлоги забезпечують найбільш фізіологічно правильний розподіл тепла (вища температура біля ніг, нижча — на рівні голови). Використання водяних систем порівняно з електричними є більш економічно вигідним та безпечним через відсутність електромагнітного випромінювання.

- Встановлено, що впровадження систем управління будівлями дозволяє централізовано контролювати інженерні мережі, зменшуючи вплив «людського фактора» та забезпечуючи захист обладнання від аварійних режимів. Інтеграція інтелектуальних датчиків (світла, температури, присутності) дозволяє адаптувати роботу систем до динамічних змін внутрішнього та зовнішнього середовища.

- Розглянуті рішення для автоматизації штор та вентиляційних систем підтверджують, що сучасний підхід до мікроклімату базується на синергії різних підсистем. Зокрема, використання автоматичних карнизів допомагає пасивно регулювати теплонадходження від сонячної радіації, що знижує навантаження на системи кондиціонування.

- Виявлено ключові виклики, такі як старіння інфраструктури, складність інтеграції IoT-пристроїв та необхідність обробки великих обсягів даних для діагностики несправностей у реальному часі.

Таким чином, обґрунтовано необхідність розробки інтелектуальних, енергоефективних систем керування, які здатні забезпечити баланс між мінімізацією витрат ресурсів та максимальним комфортом мешканців.

## 2 РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДНИЦЬКО-АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Функції системи автоматичного керування мікрокліматом приватного будинку

Сучасна парадигма житлового простору зазнає фундаментальних змін, трансформуючись із пасивної оболонки в активну екосистему, здатну самостійно адаптуватися до потреб мешканців та умов довкілля. В основі такої трансформації лежить концепція домашньої автоматизації, яка інтегрує масив сенсорів, обчислювальних потужностей та виконавчих механізмів у єдину мережу. Запропонована система, що охоплює керування мікрокліматом, механічними елементами вікон та вентиляцією, базується на принципах централізованого збору даних та децентралізованого виконання команд. Основним завданням такої архітектури є забезпечення енергоефективності, безпеки та комфорту через автоматизоване прийняття рішень на основі реальних фізичних показників середовища .

Серцем системи є автоматизований пристрій керування, роль якого виконує мікроконтролер, інтегрований із панеллю керування. Вибір мікроконтролера як центрального вузла обумовлений необхідністю реального часу обробки сигналів від різномірних периферійних пристроїв. В інженерній практиці для таких проектів найчастіше застосовуються платформи на базі архітектур AVR (Arduino Uno, Nano), ARM або ESP32, кожна з яких має специфічні характеристики енергоспоживання та обчислювальної потужності [15, 16].

Центральний блок виконує функцію агрегатора даних, отримуючи сигнали від цифрових інтерфейсів (I2C, UART, Single-Wire) та перетворюючи їх у керуючі імпульси для актуаторів. Важливим аспектом є сумісність рівнів логіки; більшість сучасних мікроконтролерів працюють при напрузі 3.3 В або 5 В, що вимагає узгодження при підключенні певних сенсорів та драйверів двигунів.

Аналіз вказує на те, що для стаціонарних систем із сенсорним дисплеєм критичною є не стільки енергоефективність у режимі сну, скільки стабільність роботи при живленні від мережі та наявність достатньої кількості апаратних переривань для обробки сигналів від датчиків та модуля часу [17].

Керування системою «тепла підлога» вимагає безперервного моніторингу температури та вологості повітря. Для цієї мети в проекті використовується комбінований датчик (наприклад, серії DHT), який інтегрує в одному корпусі ємнісний сенсор вологості та термістор для вимірювання температури.

Механізм роботи датчиків серії DHT базується на зміні електричних властивостей матеріалів під впливом зовнішніх факторів. Термістор з негативним температурним коефіцієнтом (NTC) зменшує свій опір при зростанні температури, що фіксується внутрішнім контролером датчика та передається на мікроконтролер у вигляді цифрового 40-бітного пакету даних. Протокол передачі даних Single-Wire вимагає суворого дотримання таймінгів, де тривалість високого або низького рівня сигналу визначає значення біта.

Низька частота опитування (один раз на 1-2 секунди) є цілком прийнятною для кліматичних систем, оскільки теплові процеси в житлових приміщеннях характеризуються великою інерційністю. Використання підтягуючого резистора (pull-up) номіналом 4.7 – 10 кОм між лінією даних та живленням є критичним для забезпечення цілісності сигналу на великих відстанях.<sup>5</sup>

Одним із найбільш значущих аспектів сучасної автоматизації є контроль рівня вуглекислого газу CO<sub>2</sub>. Використання датчиків на основі недисперсійної інфрачервоної спектроскопії (NDIR) дозволяє системі оцінювати свіжість повітря за об'єктивним показником концентрації газу. Метод NDIR базується на тому, що молекули CO<sub>2</sub> поглинають інфрачервоне світло певної довжини хвилі; ступінь поглинання прямо пропорційний концентрації газу в камері датчика [18].

Рівень CO<sub>2</sub> є прямим індикатором ефективності вентиляції. У закритих приміщеннях з людьми концентрація газу швидко зростає, що призводить до

сонливості, зниження концентрації та головного болю.

Таблиця 2.1.

Класифікація якості повітря за рівнем CO<sub>2</sub> та дії системи [19]

Концентрація CO <sub>2</sub> (ppm)	Стан повітря	Вплив на організм	Необхідність вентиляції
До 400	Зовнішнє повітря	Базовий безпечний рівень	Не потрібна
400 – 1000	Оптимальне	Скарги відсутні, висока концентрація	Мінімальна
1000 –2000	Застійне	Сонливість, погіршення уваги	Обов'язкова
2000 –5000	Шкідливе	Головний біль, нудота, прискорення пульсу	Екстрена
> 50000	Токсичне	Втрата свідомості, летальний результат	Небезпека для життя

Автоматизація вентиляції за допомогою кнопки «увімкнення/вимкнення» в даному проекті може бути доповнена алгоритмом Demand-Controlled Ventilation (DCV). Це означає, що система не просто вмикає вентилятор за розкладом, а регулює його інтенсивність залежно від даних з датчика, що забезпечує значну економію електроенергії.

Для реалізації часових алгоритмів, таких як ранкове відкриття штор, система інтегрує модуль реального часу (RTC). Модуль DS3231 є оптимальним вибором завдяки вбудованому кварцовому резонатору з температурною компенсацією (TCXO). На відміну від дешевших аналогів типу DS1307, DS3231 підтримує стабільну точність ходу навіть при значних коливаннях температури в приміщенні, що критично для довгострокової надійності автоматизації [20].

RTC-модуль забезпечує:

1. **Незалежність від живлення:** Завдяки літєвій батареї CR2032 годинник продовжує йти навіть при відключенні основної електромережі.<sup>7</sup>

2. **Генерацію переривань:** Можливість встановлення апаратних будильників (alarms), які «пробуджують» мікроконтролер для виконання заданих сценаріїв, наприклад, о 7:00 ранку.

**3. Зберігання конфігурації:** Деякі модулі мають вбудовану енергонезалежну пам'ять (EEPROM) для зберігання налаштувань користувача.

Логіка керування опаленням у проекті базується на двох критичних порогах: активація при  $T < 18\text{ }^{\circ}\text{C}$  та деактивація при  $T > 36\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Така схема є класичним прикладом релейного регулювання з широким гістерезисом. Гістерезис ( $18\text{ }^{\circ}\text{C}$  у даному випадку) запобігає занадто частому перемиканню силового реле, що могло б призвести до швидкого зносу контактів.

Керування шторами реалізовано за допомогою серводвигуна, що працює за часовим принципом: 5 секунд для повного циклу відкриття або закриття. Це вимагає використання сервоприводів постійного обертання (continuous rotation servos), які, на відміну від стандартних (обмежених  $180^{\circ}$ ), дозволяють валу обертатися нескінченно, контролюючи швидкість та напрямок.<sup>9</sup>

Швидкість руху штор залежить від напруги живлення двигуна та навантаження (ваги тканини). Якщо довжина карниза перевищує це значення, штора не відкриється повністю. Більш надійна архітектура передбачає використання крокових двигунів (stepper motors), які дозволяють точно контролювати кількість кроків, або встановлення механічних чи магнітних кінцевих вимикачів (limit switches). Механічні вимикачі переривають живлення двигуна при фізичному досягненні шторою крайньої точки, що усуває ризик перегріву двигуна при заклинюванні або неправильному часовому розрахунку.

Панель керування у вигляді настінного сенсорного дисплея або ПК є основним інструментом взаємодії з системою. Проектування НМІ (Human-Machine Interface) для житлових приміщень підпорядковується принципам ергономіки та когнітивної психології.

#### Принципи побудови ефективного дашборду

**1. Візуальна ієрархія:** Найважливіші дані (температура, активні тривоги) мають розташовуватися у верхній лівій частині екрана, куди людина дивиться в першу чергу.

2. **Захист від випадкових дій (Idiot Proofing):** Кнопки керування повинні бути великими (рекомендовано не менше 1.5 см по коротшій стороні) з достатніми відступами, щоб запобігти помилковим натисканням.

3. **Контекстуальна подача даних:** Замість відображення лише цифр, система має показувати контекст (наприклад, графік зміни CO<sub>2</sub> за останню годину), що дозволяє користувачу зрозуміти динаміку процесів у домі.

4. **Колірне кодування:** Використання насичених кольорів лише для тривожних станів (наприклад, червоний колір кнопки вентиляції при критичному рівні CO<sub>2</sub>).

Інтеграція сенсорного дисплея забезпечує централізацію керування: від ручного регулювання положення штор до налаштування автоматичних розкладів. Важливо використовувати технологію прогресивного розкриття (progressive disclosure), коли основна інформація доступна миттєво, а детальні налаштування сховані в підменю, щоб не перевантажувати користувача [21].

## 2.2 Вибір пристрою керування мікрокліматом приватного будинку

Вибір керуючого пристрою для розробки електронних систем є фундаментальним етапом, що визначає не лише технічну спроможність проекту, а й швидкість його виходу на ринок, масштабованість та економічну ефективність. У центрі сучасної парадигми швидкого прототипування стоїть платформа Arduino — унікальний конгломерат апаратного забезпечення, програмного середовища та інтелектуальної спільноти. Проект, що розпочався у 2005 році в італійському місті Івреа як інструмент для студентів, трансформував індустрію вбудованих систем, зробивши складні мікроконтролерні технології доступними для широкого кола фахівців — від дизайнерів до інженерів-професіоналів. Основою успіху платформи стала концепція Open Source Hardware, яка дозволила не лише використовувати готові рішення, а й модифікувати їх під специфічні потреби, забезпечуючи прозорість архітектури та

відсутність прив'язки до єдиного постачальника [22, 23].

Для глибокого розуміння причин домінування Arduino на ринку необхідно звернутися до історичного контексту її створення. На початку 2000-х років розробка на мікроконтролерах була прерогативою фахівців, що володіли глибокими знаннями в архітектурі конкретних чіпів та мовах програмування низького рівня, таких як асемблер. Вартість налагоджувальних плат, таких як BASIC Stamp, сягала 100 доларів США, що було значним фінансовим бар'єром для освіти та індивідуальної творчості. Массімо Банці та його колеги в Інституті дизайну взаємодії Івреа (IDII) прагнули створити інструмент, який би коштував не дорожче за вечерю в піцерії та дозволяв би почати роботу без вивчення складних фізичних процесів.

Рішення про відкритість апаратного коду було прийнято в критичний момент для інституту, коли через брак фінансування проект опинився під загрозою зникнення. Опублікувавши схеми під ліцензією Creative Commons, розробники гарантували, що їхня праця належатиме спільноті та не зможе бути привласнена корпораціями в разі закриття установи. Це породило потужний рух, де інновації поширюються горизонтально: користувачі створюють бібліотеки, покращують схеми та діляться досвідом, що створює ефект синергії, недоступний для закритих пропрієтарних платформ.

Центральним елементом філософії Arduino є абстракція від складності. Використання мови Wiring (на основі C++) та середовища Processing дозволило програмістам-початківцям оперувати поняттями "вхід" та "вихід" замість маніпулювання окремими бітами в регістрах спеціального призначення. Массімо Банці влучно порівняв цей процес із використанням макросів у Excel: технологія стає інструментом для вирішення прикладних завдань у доменній області користувача, чи то сільське господарство, чи то інтерактивне мистецтво [24].

Вибір мікроконтролерів сімейства AVR від компанії Atmel (нині Microchip) для класичних плат Arduino був обумовлений їхньою високою ефективністю та

простотою архітектури. Більшість популярних моделей, таких як Uno та Nano, базуються на чіпі ATmega328P. Це 8-бітний мікроконтролер, побудований на базі вдосконаленої RISC-архітектури (Reduced Instruction Set Computer).

На відміну від класичної архітектури фон Неймана (або Принстонської), де програма та дані зберігаються в одному просторі та передаються спільною шиною, ATmega328P використовує Гарвардську архітектуру. Це означає фізичне розділення пам'яті програм (Flash) та пам'яті даних (SRAM), що дозволяє процесору одночасно зчитувати наступну інструкцію та виконувати операцію з даними. Така структура забезпечує виконання більшості інструкцій за один такт синхронізації, що дає продуктивність, наближену до 1 MIPS на кожний 1 МГц тактової частоти.

Внутрішня пам'ять ATmega328P організована наступним чином:

- Flash-пам'ять (32 кБ): Призначена для зберігання скомпільованого коду програми та завантажувача. Оскільки розмір слова інструкції становить 16 біт, пам'ять часто описується як  $16K \times 16$ .
- SRAM (2 кБ): Використовується для зберігання динамічних змінних під час роботи. Обмежений об'єм SRAM є одним із головних чинників, що потребує від розробника ретельної оптимізації коду, особливо при роботі з великими масивами даних або рядками.
- EEPROM (1 кБ): Енергонезалежна пам'ять, доступна для запису та зчитування під час виконання програми. Вона ідеально підходить для зберігання конфігураційних параметрів, які повинні зберігатися після вимкнення живлення.

Процесорне ядро містить 32 робочі регістри загального призначення довжиною 8 біт, які безпосередньо підключені до арифметико-логічного пристрою (АЛП). Це дозволяє виконувати операції над двома незалежними регістрами в одному циклі виконання інструкції. Така організація значно підвищує швидкість обробки даних у порівнянні з акумуляторними архітектурами минулого. Крім того, мікроконтролер оснащений апаратним

множником, що прискорює математичні операції, хоча складніші функції (наприклад, з плаваючою комою) все ще реалізуються програмно [25].

При виборі конкретної моделі Arduino необхідно враховувати баланс між обчислювальними ресурсами, фізичними розмірами та зручністю інтеграції. В аналітичній таблиці 2.2 наведено порівняння трьох ключових платформ, що часто розглядаються як взаємозамінні.

Таблиця 2.2.

## Технічні характеристики та порівняльний аналіз плат Arduino [26]

Параметр	Arduino Uno R3	Arduino Nano 3.0	Arduino Duemilanove
Мікроконтролер	ATmega328P	ATmega328P	ATmega168 / ATmega328
Робоча напруга	5 В	5 В	5 В
Вхідна напруга (рекоменд.)	7--12 В	7--12 В	7--12 В
Вхідна напруга (гранична)	6--20 В	6--20 В	6--20 В
Цифрові входи/виходи (I/O)	14 (6 з PWM)	14 (6 з PWM)	14 (6 з PWM)
Аналогові входи (ADC)	6	8	6
Струм на I/O вивід (DC)	40 мА	40 мА	40 мА
Flash-пам'ять	32 кБ	32 кБ	16 кБ / 32 кБ
SRAM	2 кБ	2 кБ	1 кБ / 2 кБ
EEPROM	1 кБ	1 кБ	512 Б / 1 кБ
Тактова частота	16 МГц	16 МГц	16 МГц
USB-інтерфейс	ATmega16U2	FTDI або CH340	FTDI FT232RL
Габаритні розміри	68.6 × 53.4 мм	45 × 18 мм	68.6 × 53.4 мм
Вага	25 г	5--7 г	25 г

### *Аналіз вибору Arduino Nano як цільового пристрою*

Arduino Nano займає унікальну нішу в екосистемі завдяки своїй здатності поєднувати повну функціональність Uno з мініатюрним форм-фактором, що ідеально підходить для монтажу на макетні плати або інтеграції в компактні корпуси пристроїв. Незважаючи на те, що Uno є стандартною платформою для навчання, Nano пропонує перевагу у вигляді двох додаткових аналогових входів (A6 та A7). Це зумовлено використанням 32-контактного TQFP-корпусу мікроконтролера, де ці піни виведені фізично, на відміну від 28-контактного DIP-корпусу, що зазвичай встановлюється на Uno.

Вибір Nano для лабораторних робіт та прототипування пояснюється її універсальністю: плата має роз'єми, сумісні з DIP-панелями, що полегшує її фіксацію. Відсутність вбудованого роз'єму живлення постійного струму компенсується можливістю живлення через порт Mini-USB (або Micro-USB/USB-C у сучасних клонах) або через піни Vin.

Оскільки мікроконтролери серії ATmega328 не мають вбудованого USB-контролера, зв'язок з комп'ютером здійснюється через мікросхему-перетворювач USB-to-Serial. Це критично важливий елемент, від якого залежить стабільність прошивки та взаємодії з програмним забезпеченням.

У розвитку плат Arduino використовувалися три основні типи інтерфейсних чіпів:

1. FTDI FT232RL: Використовувався в ранніх моделях (Duemilanove, оригінальна Nano). Це надійне, але дороге рішення. Чіп відомий своєю стабільністю драйверів, проте історія з "FTDIgate" (блокування підробних чіпів через оновлення драйверів) змусила багатьох виробників шукати альтернативи.

2. ATmega16U2 (або 8U2): Використовується в офіційних Uno R3. Це повноцінний мікроконтролер, який програмно емулює послідовний порт. Його перевага — можливість перепрошивки для перетворення Arduino на HID-пристрій (клавіатуру, мишу), проте він вважається електрично більш вразливим.

3. CH340G: Найпоширеніший чіп у сучасних клонах Arduino Nano та Uno. Його вартість становить близько 0.66 дол. США у порівнянні з 2.6 дол. США за 16U2. Він відзначається високою надійністю та низькою ціною, хоча потребує встановлення специфічних драйверів у деяких операційних системах.

Для розробника вибір між оригінальним чіпом та CH340 часто є питанням бюджету та готовності до встановлення драйверів, проте функціонально вони ідентичні для 99% завдань.

Надійність роботи вбудованої системи напряму залежить від якості живлення. Arduino Nano пропонує кілька шляхів подачі енергії, кожен з яких має свої особливості проектування та обмеження.

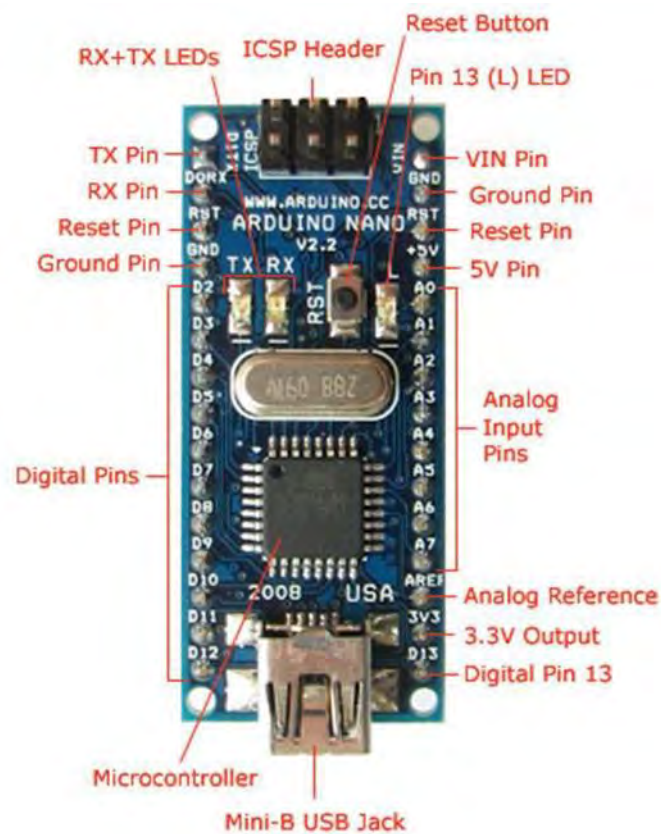


Рис. 2.1. Входи та виходи плати Arduino Nano

На борту Nano встановлено лінійний регулятор напруги (зазвичай серії 1117), який знижує вхідну напругу з піна Vin (7--12 В) до робочих 5 В. 24 Лінійні регулятори працюють за принципом розсіювання зайвої напруги у вигляді тепла.

Для компактної плати Nano це може призвести до значного нагріву, що скорочує термін служби напівпровідників.<sup>16</sup> Саме тому для проектів з великим споживанням (наприклад, з сервоприводами) рекомендується використовувати зовнішні імпульсні стабілізатори (Buck converters), які мають ККД до 90% та майже не виділяють тепла.

Платформа Arduino включає кілька рівнів захисту:

- Діодний захист: На піні Vin часто встановлюється діод (наприклад, M7), який запобігає пошкодженню схеми при помилковій переполюсовці живлення. Однак він спричиняє падіння напруги близько 0.6 В, що слід враховувати при розрахунку мінімальної вхідної напруги.
- Захист USB: Самостійно відновлюваний запобіжник (polyfuse) на платах типу Uno захищає USB-порт комп'ютера від коротких замикань у схемі розробника.
- Енергозбереження: ATmega328P підтримує 6 режимів сну (Sleep Modes), що дозволяють знизити споживання з десятків міліампер до одиниць мікроампер. У режимі Power-down мікроконтролер може споживати лише 0.1 мкА при 1.8 В, що робить його ідеальним для автономних сенсорів, що працюють від батарей роками.

Спрощення програмування Arduino базується на концепції завантажувача (bootloader). Це невеликий код, який виконується першим при скиданні (reset) або подачі живлення.

У сучасних платах Nano та Uno використовується завантажувач Optiboot. Його основні функції:

1. Очікування команди: Протягом короткого періоду після ввімкнення завантажувач перевіряє серійний порт на наявність команд для завантаження нового коду.

2. Запис у Flash: Якщо команда отримана, завантажувач приймає дані по UART та записує їх у пам'ять програм, використовуючи інструкцію SPM (Store Program Memory).

3. Передача керування: Якщо оновлення не ініційовано, завантажувач переходить до виконання основної програми користувача, розташованої за адресою 0x0000.

Автоматизація цього процесу реалізована через сигнал DTR (Data Terminal Ready). Коли IDE Arduino відкриває порт для прошивки, зміна стану DTR через конденсатор 100 нФ викликає апаратне скидання мікроконтролера, що позбавляє користувача необхідності вручну натискати кнопку Reset.

Arduino використовує підмножину C++, де структура програми розділена на дві обов'язкові функції: `setup()` для ініціалізації та `loop()` для циклічного виконання. Бібліотеки, такі як Wire для I2C або SPI, приховують складність апаратних протоколів за простими методами. Це дозволяє розробнику зосередитися на логіці пристрою, а не на таймінгах сигналів.

Хоча 8-бітні AVR мікроконтролери залишаються золотим стандартом для навчання завдяки своїй передбачуваності та надійності, розвиток технологій вимагає більшої потужності.

Для завдань, що потребують високої точності обчислень (наприклад, 3D-друк або керування польотом БПЛА), Arduino пропонує 32-бітні рішення на базі архітектур ARM Cortex-M0+ та M3 (Arduino Due, Nano 33 IoT). Перехід на 32 біти дозволяє адресувати більше пам'яті (до 4 ГБ замість 64 КБ) та працювати на частотах до 480 МГц.

Сьогодні значну конкуренцію традиційним Arduino складають чіпи ESP32 від Espressif, які інтегрують Wi-Fi та Bluetooth безпосередньо в кристал, залишаючись сумісними з IDE Arduino. Водночас архітектура RISC-V (п'яте покоління Reduced Instruction Set Computing) обіцяє ще більшу свободу проектування завдяки відкритості та відсутності ліцензійних відрахувань, що

робить її привабливою для майбутніх інноваційних розробок.

Підсумовуючи аналіз, можна стверджувати, що вибір Arduino Nano для більшості прикладних завдань керування є оптимальним рішенням, яке базується на наступних аргументах:

1. Просторові показники: Компактність платформи дозволяє інтегрувати її безпосередньо у виконавчі механізми або невеликі корпуси пристроїв.

2. Функціональна надлишковість: Наявність 8 аналогових входів та 14 цифрових I/O достатньо для більшості систем збору даних та керування середньої складності.

3. Економічна доцільність: Завдяки відкритості та масовому виробництву (особливо версій з чіпом CH340), вартість вузла керування залишається мінімальною.

4. Екосистемна підтримка: Величезна база готових бібліотек та прикладів коду скорочує час розробки від ідеї до діючого прототипу в рази.

Таким чином, Arduino Nano є не просто мікроконтролерною платою, а універсальною технологічною точкою входу, що забезпечує гнучкість, надійність та можливість безперешкодного масштабування проєктів у майбутньому. Використання цієї платформи дозволяє реалізувати концепцію "інтернету речей" (IoT) та складних автоматизованих систем навіть за обмежених ресурсів, підтверджуючи демократизуючий вплив відкритого апаратного забезпечення на сучасний науково-технічний прогрес.

### **2.3 Вибір та опис вимірювальних датчиків і пристроїв**

Для створення системи потрібні датчики вимірювання – завдяки датчику температури та вологості в приміщенні можна регулювати опалення та вологість, а при спрацьовуванні датчика вуглекислого газу в приміщенні вмикається вентилятор.

### 2.3.1 Вибір датчика температури та вологості

Процес проектування сучасних систем моніторингу навколишнього середовища, автоматизації клімат-контролю та промислового нагляду вимагає прискіпливого підходу до вибору первинних перетворювачів. У контексті розробки вбудованих систем на базі мікроконтролерів, цифрові датчики температури та вологості серії DHT, зокрема моделі DHT11 та DHT22 (AM2302), стали галузевим стандартом для бюджетних та середньоцінових рішень завдяки їхній інтегрованій архітектурі, каліброваному цифровому виходу та відносній простоті впровадження. Однак вибір між цими двома пристроями не є тривіальним завданням, оскільки він передбачає глибоке розуміння фізичних принципів їхньої роботи, аналіз часових характеристик пропрієтарних протоколів передачі даних та оцінку довгострокової стабільності в умовах змінного середовища [27 - 29].

В основі функціонування обох сенсорів лежить комбінація двох різних фізичних принципів вимірювання, об'єднаних в одному корпусі. Для визначення температури використовується термістор з негативним температурним коефіцієнтом (NTC), а для вимірювання відносної вологості — ємнісний або резистивний чутливий елемент. Розуміння природи цих компонентів дозволяє пояснити різницю в точності та роздільній здатності, яку демонструють ці пристрої.

NTC-термістор, що застосовується в DHT11 та DHT22, являє собою напівпровідниковий резистор, опір якого різко зменшується при підвищенні температури. Ці елементи виготовляються шляхом спікання сумішей оксидів металів, таких як марганець, нікель, кобальт та мідь, у керамічні матриці. Процес спікання при високих температурах дозволяє створити структуру, яка демонструє великі зміни опору навіть при незначних змінах температури середовища, що забезпечує високу чутливість.

У сенсорах DHT22 часто застосовуються більш досконалі температурні детектори, які в деяких технічних описах класифікуються як сенсори на основі забороненої зони (bandgap sensors). Ця технологія базується на вимірюванні різниці напруг між двома p-n переходами, що працюють при різних щільностях струму. Основною перевагою таких сенсорів у порівнянні з традиційними термісторами є їхня виняткова лінійність та мінімальний довгостроковий дрейф, що дозволяє DHT22 підтримувати лабораторну точність протягом тривалих періодів експлуатації без необхідності частого повторного калібрування.

Визначення вологості в пристроях серії DHT базується на зміні електричних характеристик гігроскопічного полімеру. В базових версіях DHT11 зазвичай використовується резистивний елемент, де провідність полімерного субстрату змінюється в залежності від кількості абсорбованої води. Однак така архітектура має обмежений діапазон чутливості та схильна до швидкої деградації в умовах високої вологості.

На противагу цьому, DHT22 використовує ємнісний метод вимірювання. Чутливий елемент складається з двох електродів, між якими розміщений вологопоглинаючий діелектрик. Коли вологість повітря змінюється, діелектрична проникність субстрату змінюється пропорційно кількості молекул води, що проникають у пори полімеру. Ця зміна ємності вимірюється внутрішнім 8-бітним мікроконтролером через вбудований аналого-цифровий перетворювач (АЦП). Ємнісні сенсори, що застосовуються в DHT22, демонструють значно ширший динамічний діапазон (від 0% до 100% RH) та кращу стійкість до хімічних забруднювачів порівняно з резистивними аналогами.

Для системного аналізу вибору сенсора необхідно чітко розмежувати експлуатаційні можливості кожної моделі. Таблиця 2.3. демонструє основні метрологічні розбіжності, які безпосередньо впливають на достовірність зібраних даних.

Таблиця 2.3.

## Детальне метрологічне порівняння DHT11 та DHT22 (AM2302)

Параметр вимірювання	DHT11 (Стандарт)	DHT22 AM2302	Одиниця виміру
Температурний діапазон	0 ... 50	-40 ... 80 (до +125)	°C
Точність температури	±2.0	± 0.5	°C
Роздільна здатність температури	1.0	0.1	°C
Діапазон вологості	20 ... 90	0 ... 100	\% RH
Точність вологості	± 5.0	± 2 ... 5	\% RH
Роздільна здатність вологості	1.0	0.1	\% RH
Період дискретизації	1	0.5	Гц
Час відгуку (Типовий)	6 ... 10	2 ... 5	с

DHT11 має обмежений робочий діапазон, що виключає його використання в середовищах з від'ємними температурами, таких як холодильні камери або зовнішні метеостанції в помірних широтах. Його похибка у  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  є допустимою для побутових термостатів, але може бути критичною для систем, де вимагається точне обчислення точки роси.

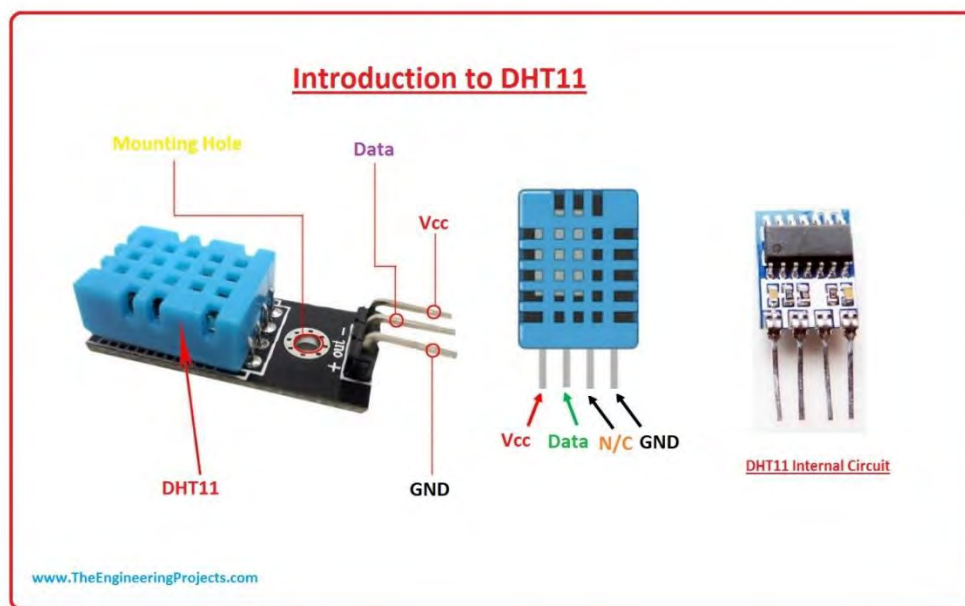


Рис 2.3. Датчик температури та вологості DHT11

DHT22, володіючи похибкою в  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ , пропонує в чотири рази вищу точність. Це дозволяє використовувати його в наукових експериментах, фармацевтичних складах та інкубаторах. Роздільна здатність у  $0.1^{\circ}\text{C}$  дає можливість відстежувати мікродинаміку температурних процесів, що неможливо з DHT11, де крок вимірювання становить цілий градус.

У вимірюванні вологості розрив між пристроями ще більш помітний. DHT11 не здатний адекватно працювати в умовах низької вологості (менше 20%) та насиченого повітря (понад 90%), що робить його непридатним для промислових осушувачів або тропічних оранжерей. DHT22 охоплює повний спектр від 0% до 100%, забезпечуючи надійні дані в екстремальних умовах. Похибка у  $\pm 2\%$  RH для DHT22 відповідає промисловим стандартам, тоді як  $\pm 5\%$  у DHT11 відносить його до категорії індикаторних пристроїв, а не вимірювальних інструментів.



Рис 2.4. Датчик температури та вологості DHT22

Обидва сенсори використовують унікальний однодротовий протокол зв'язку, який не є сумісним зі стандартом Dallas 1-Wire. Це означає, що кожен сенсор потребує виділеного цифрового виходу (GPIO) на мікроконтролері, оскільки шина не підтримує адресацію декількох пристроїв. Комунікація

базується на часовій модуляції імпульсів, де тривалість високого рівня сигналу визначає значення переданого біта.

Процес зчитування завжди ініціюється хост-контролером. Для DHT11 сигнал "Start" полягає в утриманні шини в низькому стані протягом щонайменше 18 мс. Це необхідно для того, щоб внутрішній 8-бітний мікроконтролер датчика вийшов з режиму низького енергоспоживання і підготувався до вимірювання. Для DHT22 цей часовий інтервал може бути коротшим — зазвичай від 1 мс до 10 мс.

Після завершення стартового імпульсу хост переводить лінію у високий стан на 20 ... 40 мкс, очікуючи на відповідь від датчика. Датчик підтверджує свою присутність, притягуючи лінію до землі на 80 мкс, а потім відпускаючи її у високий стан ще на 80 мкс. Відсутність цього сигналу зазвичай свідчить про апаратну несправність або некоректне підключення підтягувального резистора.

Після успішного з'єднання датчик послідовно передає 40 біт даних, організованих у п'ять байтів. Передача кожного біта починається з низького рівня тривалістю 50 мкс. Наступний за ним високий рівень несе інформацію:

- **Логічний "0"**: тривалість високого рівня 26 ... 28 мкс.
- **Логічна "1"**: тривалість високого рівня близько 70 мкс.

Ця схема вимагає від програмного забезпечення мікроконтролера точного вимірювання тривалості імпульсів. Будь-які затримки, спричинені перериваннями в операційній системі або повільним виконанням циклів, можуть призвести до помилкового декодування "1" як "0" або навпаки [30].

П'ятий байт у пакеті є контрольною сумою, яка розраховується як молодші 8 біт суми попередніх чотирьох байтів. Якщо отримана контрольна сума не збігається з розрахованою, дані вважаються недостовірними і повинні бути відкинуті.

Важливою розбіжністю у форматі даних є інтерпретація значень. У DHT11 другий та четвертий байти (десяткові частини вологості та температури) часто

ігноруються або дорівнюють нулю, оскільки роздільна здатність сенсора становить 1 одиницю. У DHT22 дані передаються як 16-бітні цілі числа, де значення дорівнює реальному параметру, помноженому на 10.

Особливої уваги заслуговує обробка від'ємних температур у DHT22. На відміну від стандартного доповняльного коду (two's complement), DHT22 використовує знаковий біт (MSB третього байта). Якщо цей біт дорівнює "1", це вказує на від'ємну температуру, а решта 15 біт представляють абсолютне значення. Некоректна реалізація цього алгоритму в коді призводить до того, що при температурах нижче 0°C датчик починає видавати аномально високі значення (близько 3276°C), що є поширеною помилкою при використанні застарілих бібліотек.

При розробці систем з автономним живленням критично важливо оцінити енергетичний бюджет сенсорів. Обидва пристрої працюють у діапазоні напруг від 3.3 В до 5.5 В, проте стабільність роботи DHT22 при низькій напрузі (3.3 В) може погіршуватися при використанні довгих кабелів, тому для промислових застосувань рекомендовано живлення 5 В.

Таблиця 2.4.

## Електричні параметри та споживання струму

Режим роботи	Значення (Типове)	Одиниця виміру
Напруга живлення	3.3 ... 5.5 (до 6.0 для DHT22)	В
Струм при вимірюванні	1.0 ... 2.5	мА
Струм у режимі очікування	40 ... 50	мкА
Пікове споживання	3.0	мА

Низький струм спокою (50 мкА) робить ці сенсори придатними для батарейних пристроїв, де мікроконтролер більшу частину часу перебуває в глибокому сні. Однак варто враховувати, що після подачі живлення сенсору потрібно близько 1 ... 2 с для стабілізації стану, перш ніж він зможе видати

коректне перше вимірювання. Спроба зчитування даних одразу після ввімкнення призведе до помилок тайм-ауту або отримання нульових значень.

Шина даних DHT працює за схемою з відкритим стоком, що потребує обов'язкового використання зовнішнього підтягувального резистора (pull-up) для повернення лінії у високий стан, коли вона відпускається датчиком або контролером. Відсутність або неправильний вибір номіналу цього резистора є основною причиною нестабільної роботи систем.

Типове значення резистора складає 4.7 кОм ... 10 кОм для коротких з'єднань (до 1 метра). Однак при збільшенні довжини кабелю зростає його ємність відносно землі. Це створює RC-ланцюг, який затягує фронти сигналів. Оскільки протокол DHT базується на вимірюванні мікросекундних інтервалів, занадто повільне наростання напруги перетворює логічну "1" на нечитабельний сигнал.

Для кабелів довжиною понад 5 метрів опір підтягування необхідно зменшувати до 1 кОм ... 2.2 кОм. Це збільшує струм заряду лінії і дозволяє швидше досягати порогу логічної одиниці. Хоча специфікації заявляють про можливість передачі на 20 метрів, на практиці стабільність вище 10 метрів вимагає використання екранованої вити пари для захисту від електромагнітних наводок.

Таблиця 2.5.

#### Оптимізація підтягувальних резисторів залежно від довжини кабелю

Довжина кабелю	Опір (при 3.3 В)	Опір (при 5 В)	Рекомендований тип кабелю
< 1 м	10 кОм	10 кОм	Джампери / Шлейф
1 ... 5 м	2.2 кОм	4.7 кОм	Неекранований кабель
5 ... 20 м	1 кОм	2.2 кОм	Екранована вита пара
> 20 м	Не рекомендується	1 кОм (експер.)	Спеціальні заходи

Довгострокова стабільність вимірювань є критичним фактором для систем, що працюють без обслуговування. DHT11 схильний до значного дрейфу показників вологості (до  $\pm 1\%$  RH на рік), що обумовлено деградацією резистивного полімеру. DHT22 демонструє кращу стабільність — зазвичай у межах  $\pm 0.5\%$  RH на рік, проте він надзвичайно чутливий до забруднення поверхні чутливого елемента леткими органічними сполуками (VOC) та мастилами.

Найбільш критичною проблемою для DHT22 є робота в умовах 100% вологості. При випадінні роси всередині корпусу датчика вода заповнює пори гігроскопічного полімеру. Це призводить до того, що датчик видає максимальне значення вологості (99.9%) навіть після того, як навколишнє повітря стає сухішим. Час відновлення (recovery time) може становити від кількох годин до днів, доки волога не випарується природним шляхом.

В аматорських проєктах для вирішення цієї проблеми іноді застосовують примусове нагрівання корпусу, проте це може пошкодити калібрування сенсора. Професійні аналоги, такі як SHT31, мають вбудований керований нагрівач саме для таких випадків, що є вагомим аргументом при виборі сенсорів для вуличного застосування.

З таблиці видно, що DHT22 займає ідеальну нішу між дешевими, але неточними DHT11 та професійними, але дорогими SHT31. Він пропонує високу точність за доступною ціною, що робить його оптимальним вибором для систем загального призначення.

На основі проведеного глибокого аналізу можна зробити висновок, що вибір між DHT11 та DHT22 повинен ґрунтуватися на балансі між вартістю системи та необхідною достовірністю даних.

1. **Застосування DHT11 рекомендується** виключно у навчальних проєктах, дитячих іграшках або базових індикаторах кімнатного комфорту, де похибка у 2-3 градуси та обмежений діапазон вологості не впливають на

функціональність системи. Його низька ціна дозволяє масово впроваджувати його в бюджетні споживчі товари, проте він не здатний забезпечити дані для систем керування кліматом.

2. **Застосування DHT22 є обов'язковим, якщо система передбачає:**
  - Роботу при температурах нижче 0 °С.
  - Регулювання вологості в широких межах (наприклад, у теплицях, оранжереях, винних погребках).
  - Проведення наукових вимірювань або логування даних для подальшого аналізу кліматичних трендів.
  - Використання в системах HVAC (опалення, вентиляція та кондиціонування), де прецизійність вимірювань безпосередньо впливає на енергоефективність будинку.

3. **Технічні застереження при впровадженні:**
  - Необхідно суворо дотримуватися інтервалу опитування у 2 с для DHT22. Частіше зчитування призведе до перегріву внутрішнього кристала сенсора та отримання помилкових даних.
  - Слід приділяти особливу увагу реалізації програмного коду для від'ємних температур, використовуючи алгоритми обробки знакового біта, а не стандартні типи signed short.
  - При розміщенні датчика у вуличних боксах необхідно забезпечити захист від прямого потрапляння сонячних променів та крапель води, зберігаючи при цьому вільну циркуляцію повітря для адекватного вимірювання вологості.

DHT22 є найбільш збалансованим технічним рішенням, яке забезпечує професійну якість вимірювань при мінімальних витратах на інтеграцію в архітектуру сучасних мікроконтролерних систем. Його вибір як основного сенсора температури та вологості гарантує надійність знятих показників та масштабованість проекту в майбутньому.

### 2.3.2 Вибір датчика вуглекислого газу

Забезпечення безпечного та здорового мікроклімату в житлових, офісних та промислових приміщеннях є одним із пріоритетних завдань сучасної інженерії систем життєзабезпечення. Ключовим аспектом цієї задачі є безперервний моніторинг концентрації небезпечних та шкідливих газів, передусім оксиду вуглецю (CO) та діоксиду вуглецю (CO<sub>2</sub>). Оксид вуглецю, відомий як чадний газ, становить смертельну загрозу через відсутність кольору, запаху та смаку, що робить його детекцію неможливою без спеціалізованих технічних засобів. Діоксид вуглецю, хоч і є природним компонентом повітря, при підвищених концентраціях суттєво знижує когнітивні функції людини, спричиняє втому та є індикатором незадовільної роботи систем вентиляції [31, 32].

Вибір сенсорної бази для побудови системи моніторингу базується на аналізі фізико-хімічних принципів взаємодії детектувального елемента з газовим середовищем. Сучасна класифікація виділяє чотири основні технологічні групи, кожна з яких має специфічні характеристики чутливості, вибіркової та стабільності [33, 34].

#### *Напівпровідникові сенсори оксидів металів (MOS)*

Напівпровідникова технологія, до якої належить широко розповсюджена серія сенсорів MQ, базується на явищі зміни електричної провідності тонкоплівкового шару оксиду металу (найчастіше діоксиду олова SnO<sub>2</sub>) при адсорбції на його поверхні молекул газу-відновника або газу-окисника. Чутливий матеріал наноситься на керамічну підкладку з вбудованим нагрівальним елементом, який підтримує робочу температуру в межах 200–500°C.

Механізм роботи передбачає, що в чистому повітрі кисень іонсорбується на поверхні напівпровідника, захоплюючи електрони з зони провідності та формуючи виснажений шар з високим електричним опором. При появі цільового газу, наприклад, оксиду вуглецю, відбувається хімічна реакція окиснення на

поверхні сенсора, внаслідок якої електрони повертаються в зону провідності, що призводить до різкого падіння опору. Ці сенсори відзначаються низькою вартістю та високою швидкістю реакції, проте мають обмежену селективність і високу залежність від вологості повітря.

#### *Каталітичні сенсори (пелістори)*

Каталітичні детектори призначені переважно для виявлення горючих газів на рівнях, близьких до нижньої межі вибуховості (LEL). Принцип дії ґрунтується на вимірюванні теплового ефекту безполуменевого спалювання газу на поверхні активного елемента, вкритого каталізатором (платиною або паладієм). Сенсор зазвичай складається з двох платинових котушок, включених у міст Вітстона: активної та компенсувальної (інертної). При контакті з горючим газом температура активного елемента зростає, що змінює його опір і розбалансовує вимірювальний міст. Хоча ці пристрої надійні, вони потребують мінімум 10% кисню в атмосфері для функціонування та вразливі до "отруєння" силіконами та сполуками сірки.

#### *Недисперсійні інфрачервоні сенсори (NDIR)*

Технологія NDIR є "золотим стандартом" для моніторингу діоксиду вуглецю та метану. Вона використовує фізичну властивість багатоатомних молекул газу поглинати інфрачервоне випромінювання на специфічних довжинах хвиль, що відповідають їхнім внутрішнім коливальним модам. Для CO<sub>2</sub> критичною є довжина хвилі 4,26 мкм.

Датчик NDIR включає ІЧ-джерело, газову камеру (кювету) та детектор з оптичним фільтром. Кількість поглиненої енергії описується законом Бугера-Ламберта-Бера, що забезпечує високу вибірковість: сенсор реагує лише на конкретний газ, ігноруючи вологість та інші домішки. NDIR-сенсори мають тривалий термін служби (понад 10 років) та не споживають реагентів у процесі вимірювання.

#### *Електрохімічні сенсори*

Ці детектори працюють за принципом гальванічного елемента, де цільовий газ дифундує крізь мембрану та вступає в реакцію окиснення-відновлення на робочому електроді в електроліті. Створюваний при цьому електричний струм прямо пропорційний концентрації газу. Електрохімічні датчики ідеально підходять для детекції токсичних газів ( $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{Cl}_2$ ) у дуже низьких концентраціях (ppb та низькі ppm), споживають мінімальну кількість енергії, але мають обмежений термін придатності через висихання електроліту.

Таблиця 2.6.

Порівняння фізико-хімічних принципів взаємодії детектувального елемента з газовим середовищем

Тип технології	Чутливість	Селективність	Ресурс (роки)	Енергоспоживання	Вплив середовища
MOS (Напівпровідник)	Висока (ppm)	Низька	2 – 5	Високе (нагрівач)	Сильна залежність від Т та Н
Каталітичний	Низька (LEL)	Середня	2 – 3	Високе	Потребує кисню (>10\%)
NDIR (Оптичний)	Дуже висока	Абсолютна	10 – 15	Середнє	Чутливість до пилу та конденсату
Електрохімічний	Дуже висока (ppb)	Висока	1 – 2	Дуже низьке	Чутливість до екстремальних Т

Для проектування системи виявлення витоків чадного газу в межах даного дослідження розглядається сенсор MQ-7. Це спеціалізований пристрій на основі діоксиду олова ( $\text{SnO}_2$ ), оптимізований для детекції  $\text{CO}$  в діапазоні від 20 до 2000 ppm (в деяких модифікаціях до 10 000 ppm) [35, 36].

На відміну від більшості датчиків серії MQ (MQ-2, MQ-5), які працюють при сталій нарузі нагріву 5 В, MQ-7 вимагає специфічного циклічного температурного режиму для забезпечення коректної роботи та вибірковості. Це

зумовлено термодинамікою адсорбції газів на поверхні  $\text{SnO}_2$ :

1. Фаза високотемпературного очищення (High Phase): На нагрівач подається напруга 5,0 рт 0,1 В протягом 60 секунд. При цій температурі відбувається десорбція (випаровування) молекул води та небажаних газів (алкоголь, метан), які адсорбувалися під час попередньої фази. Вимірювання в цій фазі не проводяться, оскільки сенсор стає чутливим до широкого спектру горючих газів, що вносить велику похибку в детекцію CO.

2. Фаза низькотемпературного вимірювання (Low Phase): Напруга знижується до 1,4-1,5 В на 90 секунд. У цьому режимі температура поверхні падає до рівня, за якого чутливість до оксиду вуглецю стає максимальною, а вплив інших газів — мінімальним. Зняття показників АЦП (аналого-цифрового перетворювача) необхідно проводити в останні секунди цієї фази для досягнення максимальної стабільності сигналу.



Рис. 2.5. Датчик витoku газу MQ-7

Стандартні модулі з датчиками MQ-7, що масово продаються на ринку, часто не містять схем для реалізації цього циклу, що робить їх практично марними для точних вимірювань. Для професійної інтеграції необхідно використовувати мікроконтролер (Arduino, ESP32, ESP8266) спільно з силовими ключами (MOSFET або NPN-транзистор). Керування здійснюється за допомогою

широко-імпульсної модуляції (PWM), що дозволяє отримати ефективну напругу 1,4 В з основного джерела 5 В.

Таблиця 2.7.

## Характеристики датчика MQ-7

Газовий датчик	MQ-7
Подача напруги на нагрівач	5 В
Напруга живлення датчика	1,5-5 В
Споживання струму	160 мА
Розміри	22 x 22 x 17 мм

Напівпровідникові сенсори потребують обов'язкового попереднього прогріву перед першим використанням. Виробник рекомендує режим "пропалювання" протягом 48 годин безперервно. Це необхідно для видалення вологи та органічних забруднень, що накопичилися в пористому шарі оксиду металу під час виробництва та зберігання. Без цієї процедури дрейф базової лінії опору може сягати 30% протягом першої доби експлуатації.

Таблиця 2.8.

## Етапи стабілізації напівпровідникових сенсорів [37].

Етап стабілізації	Час	Мета
Початкове пропалювання	48 – 168 годин	Стабілізація хімічного складу поверхні SnO <sub>2</sub>
Передпусковий прогрів	3 – 5 хвилин	Досягнення термодинамічної рівноваги перед заміром
Тривалість одного циклу	150 секунд	Очищення (60с) + Вимірювання (90с)

Для перерахунку аналогової напруги в значення ppm використовується поняття відношення опорів  $R_s/R_o$ , де  $R_s$  — поточний опір сенсора, а  $R_o$  — опір у

чистому повітрі при еталонній концентрації CO (зазвичай 100 ppm або в умовах повної відсутності CO). Калібрування в ідеальних умовах передбачає використання перевірного газу в герметичній камері з перемішуванням.

Одним із критичних недоліків напівпровідникових сенсорів є їхня перехресна чутливість до параметрів навколишнього середовища. Опір  $R_s$  змінюється не лише від присутності газу, а й під впливом теплових коливань та водяної пари. Волога в повітрі поводить себе як газ-відновник, віддаючи електрони поверхні оксиду, що штучно знижує опір та призводить до хибних тривог.

Для підвищення точності на 60% і більше необхідно застосовувати програмну корекцію на основі даних з зовнішнього датчика температури та вологості (наприклад, SHT4x, DHT22 або BME280).

Проектування систем моніторингу має відповідати державним будівельним нормам (ДБН) та санітарно-гігієнічним регламентам (ДСанПіН), що встановлюють гранично допустимі концентрації (ГДК) для житлових та громадських будівель.

В Україні якість повітря в приміщеннях класифікується згідно з ДБН В.2.5-67:2013 на основі перевищення концентрації CO<sub>2</sub> над рівнем зовнішнього повітря.

Відповідно до Постанови головного санітарного лікаря України №25 від 24.07.1996 р., граничне значення CO<sub>2</sub> у повітрі робочої зони становить 8000 мг/м<sup>3</sup>, що відповідає приблизно 4400 ppm. Проте для житлових приміщень оптимальним вважається рівень до 800–1000 ppm.

На основі проведеного дослідження технологій детекції газів можна сформулювати наступні рекомендації для проектування систем безпеки та моніторингу мікроклімату:

1. Вибір датчика чадного газу: Для критичних систем безпеки рекомендується використовувати електрохімічні сенсори через їхню лінійність та стабільність. Якщо використовується бюджетний напівпровідниковий сенсор

MQ-7, необхідно суворо дотримуватися циклу живлення нагрівача (5В/1,4В), проводити калібрування раз на рік та впроваджувати програмну компенсацію температури та вологості.

2. Інтеграція та зв'язок: Для забезпечення довговічності та сумісності системи доцільно орієнтуватися на пристрої з підтримкою протоколу *Matter*, що дозволяє створювати гнучкі сценарії автоматизації без прив'язки до конкретного вендора.

3. Експлуатаційна безпека: Обов'язковим є дотримання режиму попереднього пропалювання нових сенсорів MOS-типу протягом мінімум 48 годин, а також забезпечення стабільного джерела живлення, оскільки пікові струми нагрівачів можуть спричинити просідання напруги та похибки у вимірюваннях.

Реалізація цих принципів дозволяє створити надійну, енергоефективну та точну систему контролю повітряного середовища, яка відповідає як жорстким санітарним нормам України, так і передовим світовим технологічним стандартам.

### **2.3.3 Вибір релейного модуля**

Сучасна інженерія систем автоматизації будівель, зокрема в сегменті керування мікрокліматом та опаленням, базується на ефективній взаємодії між низьковольтними інтелектуальними контролерами та силовими виконавчими механізмами. Центральним компонентом, що забезпечує цю взаємодію, є електромагнітне реле — пристрій, який за своєю природою є ключовим ланцюгом, що трансформує слабкий логічний сигнал у потужну комутаційну дію. Реле визначається як комутаційний апарат, що викликає стрибкоподібну зміну вихідного сигналу при досягненні вхідним сигналом заданого порогового значення, що дозволяє замикати або розмикати електричні ланцюги, до яких підключене зовнішнє обладнання. У контексті побутових систем опалення,

використання релейних модулів, таких як SRD-05VDC-SL-C, дозволяє мікроконтролеру безпечно керувати нагрівальними елементами, насосами або котлами, забезпечуючи гальванічну ізоляцію між чутливою електронікою та високою напругою мережі [38, 39].

Функціонування електромагнітного реле ґрунтується на фундаментальних законах електродинаміки, зокрема на законі Ампера та принципі електромагнітної індукції. Коли через обмотку котушки реле проходить електричний струм, навколо неї виникає магнітне поле, інтенсивність якого прямо пропорційна кількості витків дроту та силі струму. Це магнітне поле намагнічує осердя, яке, у свою чергу, притягує рухомий елемент — ярір.

Для точного керування системами опалення критично важливими є часові параметри, що характеризують інерційність реле. Час спрацьовування (Operating Time) — це інтервал від моменту подачі напруги на котушку до повного замикання силових контактів. Для розглянутого модуля цей показник становить не більше 10 мс. Час відпускання (Release Time) — це час, необхідний для повернення контактів у вихідний стан після зняття напруги, що для SRD-05VDC-SL-C складає до 5 мс. Розуміння цих затримок дозволяє програмувати алгоритми гістерезисного керування температурою, запобігаючи занадто частому перемиканню, яке могло б призвести до передчасного

Вибір конкретного модуля для системи опалення базується на відповідності його характеристик умовам експлуатації. Модуль SRD-05VDC-SL-C є одним із найбільш розповсюджених рішень завдяки оптимальному балансу між габаритами та комутаційною здатністю.

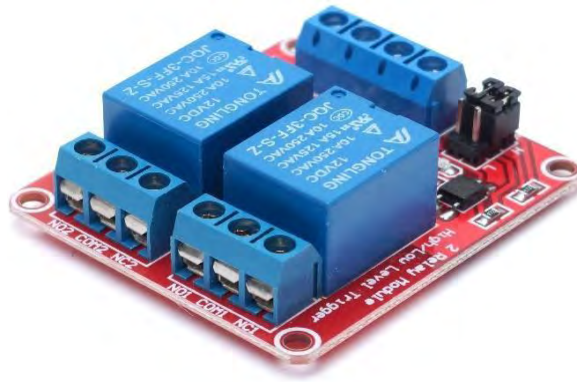


Рис. 2.6. Релейний модуль SRD-05VDC-SL-C

У таблиці нижче наведено розширені технічні параметри релейного модуля, які є критичними для проектування надійної системи.

Таблиця 2.10.

Технічні параметри релейного модуля SRD-05VDC-SL-C

Параметр	Значення та деталізація
Кількість каналів	1 (одноканальний модуль з перекидним контактом SPDT)
Номінальна напруга живлення котушки	5 В постійного струму (VDC)
Струм споживання котушки	Приблизно 71.4 мА (при опорі котушки 70 Ом)
Потужність споживання котушки	0.36 Вт - 0.45 Вт залежно від серії
Максимальний струм навантаження (AC)	10 А при 250 В змінного струму (Resistive Load)
Максимальний струм навантаження (DC)	10 А при 30 В постійного струму
Напруга спрацьовування (Pick-up)	$\leq 75\%$ від номінальної (3.75 В)
Напруга відпускання (Drop-out)	$\geq 10\%$ від номінальної (0.5 В)
Гранична напруга на котушці	До 120% від номінальної (6 В)
Опір ізоляції	$\geq 100$ МОм (при 500 В постійного струму)
Електрична міцність ізоляції	1500 В змінного струму між котушкою та контактами

Технічні параметри свідчать про те, що модуль здатний керувати навантаженням потужністю до 2.5 кВт (при 250 В), що є достатнім для більшості

побутових електрообігрівачів або циркуляційних насосів. Однак слід враховувати, що номінальний струм 10 А вказаний для резистивного навантаження; для індуктивного навантаження (двигуни, насоси) цей показник має бути суттєво знижений для запобігання зварюванню контактів.

Розмір модуля складає приблизно 40x25 мм, що робить його зручним для монтажу на друковані плати або всередині компактних корпусів систем керування. Модуль зазвичай оснащений світлодіодною індикацією статусу, де один світлодіод сигналізує про наявність живлення на платі, а інший — про активацію реле. Це спрощує візуальну діагностику системи при пусконаладжувальних роботах. Також важливим є наявність гвинтових клемних колодок, які забезпечують надійне з'єднання з силовими дротами без необхідності паяння в місці інсталяції.

Однією з головних проблем при роботі з реле є неможливість прямого підключення котушки до портів введення-виведення мікроконтролера. Струм, необхідний для активації SRD-05VDC-SL-C (понад 70 мА), значно перевищує можливості стандартного виходу мікроконтролера (наприклад, 20-40 мА для Arduino).

Для посилення сигналу в релейних модулях використовується транзистор (зазвичай NPN-типу, наприклад BC547), який працює в режимі ключа. Мікроконтролер подає невеликий струм на базу транзистора через обмежувальний резистор (близько 1 кОм), що відкриває транзистор і дозволяє потужному струму від джерела живлення пройти через котушку реле на землю.

Для підвищення надійності та захисту мікроконтролера від електромагнітних завад багато модулів використовують оптопари (оптороз'єднувачі), такі як PC817. Оптопара складається з інфрачервоного світлодіода та фототранзистора, розділених повітряним зазором або прозорим діелектриком. Сигнал від контролера запалює світлодіод, світло якого активує фототранзистор, що вже, у свою чергу, керує силовим транзистором реле. Це

створює повний розрив електричного кола між логічною частиною та силовою обмоткою, що запобігає передачі високовольтних викидів на процесор.

У професійних системах часто застосовується ізольоване живлення (через перемичку JD-VCC). Якщо зняти перемичку і подати живлення на котушку від окремого джерела, мікроконтролер і реле не матимуть навіть спільної "землі", що є золотим стандартом у промисловій автоматизації для боротьби з паразитними струмами та контурами заземлення.

При відключенні реле виникає явище зворотної електрорушійної сили (ЕРС) самоіндукції. Оскільки струм в індуктивності не може змінитися миттєво, накопичена в магнітному полі енергія намагається знайти вихід, створюючи сплеск напруги, що може досягати сотень вольт.

Для нейтралізації цього сплеску паралельно котушці реле встановлюється зворотний (флайбек) діод (наприклад, 1N4007). В нормальному стані він закритий, але при знятті живлення він стає відкритим для струму самоіндукції, замикаючи його на саму котушку. Енергія розсіюється у вигляді тепла на опорі дроту обмотки. Відсутність такого діода призводить до майже миттєвого пробою керуючого транзистора.

Комутація нагрівальних систем пов'язана з виникненням електричної дуги в момент розмикання контактів. Це особливо критично для індуктивних навантажень (двигуни насосів). Для захисту силових контактів від ерозії та зварювання використовуються наступні методи:

1. RC-ланцюги (Снаббери): Послідовно з'єднані резистор і конденсатор, що встановлюються паралельно контактам. Вони поглинають енергію іскри та обмежують швидкість наростання напруги.

2. Варистори (MOV): Напівпровідникові компоненти, опір яких різко падає при перевищенні певної напруги, що дозволяє "зрізати" піки високовольтних завад.<sup>21</sup>

3. TVS-діоди: Напівпровідникові обмежувачі, що забезпечують

надзвичайно швидку реакцію на сплески напруги.

Система опалення — це не просто резистивний ТЕН. Це комплексний об'єкт, що включає різні типи навантажень, які по-різному впливають на ресурс реле.

#### *Резистивне навантаження*

Нагрівальні елементи (ТЕНИ) мають стабільний опір. При включенні струм практично не перевищує номінальний. Для таких систем реле SRD-05VDC-SL-C працює у найбільш сприятливому режимі. Рекомендується використовувати реле з 20-30% запасом по струму відносно потужності ТЕНа.

#### *Індуктивне навантаження*

Циркуляційні насоси та електромагнітні клапани мають великі пускові струми (у 5-10 разів вищі за робочі). Це пов'язано з необхідністю створення магнітного поля в обмотках двигуна. При розмиканні ланцюга накопичена енергія створює потужну дугу. Для насосів потужністю 100-200 Вт рекомендується використовувати реле, розраховане на 10 А, щоб забезпечити надійність при пусках.

Таблиця 2.11.

Таблиця сумісності навантажень для реле 10 А

Тип пристрою	Типовий струм	Рекомендація
Електрообігрівач (2 кВт)	8.7 А	Допустимо (на межі)
Циркуляційний насос (100 Вт)	0.5 А	Ідеально
Електромагнітний клапан	0.2 А	Потрібен діодний захист
Лампи розжарювання	Залежно від потужності	Високий пусковий струм

Використання мікроконтролерів (наприклад, ESP32 або Arduino) разом із релейним модулем дозволяє реалізувати складні сценарії енергозбереження.

При написанні коду необхідно враховувати "брязкіт" контактів (bouncing) — явище, коли при механічному замиканні контакти кілька разів пружиняють, створюючи серію швидких імпульсів. Хоча для силового реле це менш критично, ніж для кнопок, програмна затримка (debounce) або використання апаратних фільтрів допомагає уникнути помилкових спрацювань логіки.

Особливу увагу слід приділити стану реле при перезавантаженні контролера. На багатьох платах піни за замовчуванням підтягнуті до певного рівня. Необхідно переконатися, що під час ініціалізації програми (у функції `setup()`) реле примусово переводиться у безпечний стан (зазвичай вимкнено), щоб уникнути непередбачуваного ввімкнення опалення при збої живлення.

Хоча саме електромагнітне реле гріється слабо (лише котушка споживає близько 0.4 Вт), силові контакти можуть нагріватися при проходженні великих струмів через перехідний опір. Рекомендується забезпечувати вентиляцію в корпусі пристрою. Використання тепловізорів при тестуванні дозволяє виявити погані контакти в клемних колодках, які є частими причинами пожеж у саморобних системах автоматизації.

Релейний модуль на базі SRD-05VDC-SL-C є надійним, перевіреним часом рішенням для побудови систем автоматичного керування опаленням. Його здатність забезпечувати гальванічну ізоляцію у поєднанні з високою комутаційною здатністю робить його незамінним у проектах на базі мікроконтролерів.

На основі проведеного аналізу можна виділити наступні ключові рекомендації для інженерів:

1. Вибір модуля: Завжди віддавайте перевагу модулям з оптичною ізоляцією (оптопарами) для захисту мікроконтролера.
2. Запас потужності: Не використовуйте реле на межі його номіналу (10

А). Для тривалого навантаження (опалення) оптимальний струм не повинен перевищувати 7 А.

3. Захист від перешкод: При комутації індуктивних навантажень (насоси) обов'язково встановлюйте зовнішні RC-снаббери паралельно контактам.

4. Живлення: Для стабільної роботи систем з кількома реле використовуйте окреме джерело живлення 5 В для котушок, не навантажуючи внутрішній стабілізатор мікроконтролера.

5. Контроль стану: Світлодіодна індикація на модулі є критично важливою для швидкої діагностики несправностей у польових умовах.

#### **2.3.4 Вибір дисплейного модулю**

Рідкокристалічні дисплеї (РКД) символного типу, зокрема модель LCD2004, представляють собою один із найбільш сталих та надійних стандартів інтерфейсу «людина-машина» (HMI) в інженерії вбудованих систем. Незважаючи на стрімкий розвиток повноколірних графічних матриць та технологій на основі органічних світлодіодів (OLED), алфавітно-цифрові модулі на базі контролера Hitachi HD44780 залишаються фундаментальним інструментом для відображення текстової інформації завдяки своїй енергоефективності, низькій вартості та простоті інтеграції. Даний звіт пропонує глибокий аналіз архітектурних рішень, електричних параметрів, програмних протоколів та експлуатаційних особливостей дисплея LCD2004, враховуючи як апаратні специфікації, так і практичні аспекти локалізації для українського користувача [40].



Рис. 2.7. РК-дисплей LCD2004

В основі функціонування дисплея LCD2004 лежить контролер Hitachi HD44780U (або його сучасні аналоги, такі як SPLC780 чи ST7066), який виступає в ролі інтелектуального посередника між мікропроцесором (MPU) та рідкокристалічною матрицею. Цей чип інтегрує в собі всі необхідні вузли для автономного керування дисплеєм, включаючи пам'ять даних, генератор символів та драйвери сегментів, що дозволяє мінімізувати навантаження на основний обчислювальний модуль системи [41].

Таблиця 2.12.

Технічні параметри дисплея LCD2004 [42]

робоча напруга	5 В
максимальне споживання струму	180 мА
контролер	HD44780
кількість рядків	4
кількість символів у рядку	20
габаритні розміри	98x55x28 мм

Контролер HD44780 використовує три специфічні типи пам'яті, кожен з яких виконує окрему функцію в процесі візуалізації тексту. Розуміння їхньої взаємодії є критичним для коректного виведення інформації.

1. Display Data RAM (DDRAM): Ця оперативна пам'ять обсягом 80 байтів призначена для зберігання кодів символів, що відображаються на екрані.<sup>3</sup> Для дисплея формату 20x4, який має рівно 80 символних позицій, кожна комірка DDRAM відповідає конкретному місцю на екрані.

2. Character Generator ROM (CGROM): Постійна пам'ять, що містить образи (матриці точок) для 240 різних символів. Коли MPU записує код символу в DDRAM, контролер автоматично зчитує відповідну матрицю з CGROM для активації пікселів на РК-панелі.

3. Character Generator RAM (CGRAM): Пам'ять обсягом 64 байти, що дозволяє користувачеві створювати до 8 власних символів (у форматі 5x8 точок). Це надає гнучкість при роботі з мовами, символи яких відсутні в стандартному CGROM, наприклад, українською.

Дисплейний модуль LCD2004 являє собою закінчене рішення, що складається з рідкокристалічної панелі, контролера, схеми підсвічування та, у багатьох випадках, інтерфейсного адаптера I2C.

Механічні розміри модуля є критичними для проектування корпусів пристроїв. Згідно з наданими технічними параметрами, габарити складають 98 × 55 × 28 мм. Варто зазначити, що товщина модуля (28 мм) включає висоту штирьових роз'ємів та потенціометра на адаптері I2C.

Екран зазвичай оснащений синім підсвічуванням з білими символами, що забезпечує високу чіткість у приміщеннях з низьким рівнем освітленості. Технологія РК-панелі — STN (Super-Twisted Nematic), що забезпечує кращу контрастність порівняно з базовою TN технологією та ширші кути огляду (зазвичай до 180 градусів у певних моделях, хоча стандартно 6 або 12 годин).

Енергоспоживання модуля складається з живлення логічної частини та струму, необхідного для роботи світлодіодного підсвічування.

- Робоча напруга: Стандартно 5 В, проте контролер HD44780U підтримує широкий діапазон від 2.7 В до 5.5 В.

- Максимальне споживання струму: До 180 мА. При цьому лівова частка струму (близько 75–120 мА) припадає на підсвічування. Власне споживання логіки контролера надзвичайно низьке — від 1 до 2 мА.

Для портативних пристроїв критично важливо мати можливість керувати яскравістю підсвічування. Це досягається або через вбудований потенціометр на I2C модулі, або програмно через ШІМ (PWM), якщо підсвічування підключено до відповідного виводу контролера.

Однією з головних переваг LCD2004 є гнучкість у виборі способу підключення. Традиційно контролер HD44780 використовує паралельну шину, проте сучасні вимоги до економії виводів мікроконтролера призвели до популяризації інтерфейсу I2C.

#### *Паралельний режим (8-біт та 4-біт)*

Контролер підтримує два режими передачі даних через паралельну шину:

1. 8-бітний режим: Використовуються всі лінії даних DB0–DB7. Це забезпечує найвищу швидкість обміну, але потребує 11 виводів MPU.
2. 4-бітний режим: Передаються лише лінії DB4–DB7. Кожен байт ділиться на два напівбайти (ніббли), які надсилаються послідовно. Це дозволяє скоротити кількість дротів до 6–7, що є галузевим стандартом для Arduino-проектів.

#### *Інтерфейс I2C та модуль PCF8574*

Вбудований або підключений модуль I2C базується на мікросхемі-розширювачі портів PCF8574/PCF8574A. Це дозволяє керувати дисплеєм лише двома дротами: SDA (дані) та SCL (синхронізація).

Логіка роботи адаптера полягає в перетворенні послідовних команд I2C у паралельні сигнали для контролера HD44780. Схема розподілу виводів PCF8574 зазвичай виглядає так:

- P0: RS (вибір регістра)
- P1: R/W (читання/запис)

- P2: E (Enable)
- P3: Backlight control (через транзистор)
- P4–P7: DB4–DB7 (лінії даних).

Адресація модуля I2C визначається станом трьох адресних виводів A0, A1, A2. Якщо вони не задіяні (pull-up), адреса зазвичай 0x27 (для PCF8574) або 0x3F (для PCF8574A). Наявність 8 комбінацій адрес дозволяє підключати до 8 дисплеїв на одну шину I2C.

#### *Програмне керування та протокол ініціалізації*

Робота з LCD2004 вимагає суворого дотримання часових діаграм, особливо на етапі ввімкнення живлення. Процес ініціалізації за інструкцією (Initialization by Instruction) є обов'язковим, оскільки вбудована схема автоматичного скидання не завжди гарантує стабільний старт при повільному наростанні напруги.<sup>3</sup>

Для успішного запису даних мікроконтролер повинен забезпечити певні затримки (timing characteristics), виміряні в наносекундах. При роботі на частотах MPU вище 8-16 МГц ці затримки стають критичними.

Кожна операція супроводжується сигналом Busy Flag (BF). Якщо BF дорівнює 1, контролер зайнятий внутрішньою обробкою і не прийме нову команду. Команда очищення дисплея (0x01) потребує найбільше часу — до 1.52 мс, тоді як звичайні операції запису тривають близько 37–43 мкс.

Контролер підтримує багатий набір інструкцій для форматування виводу:

- Clear Display (0x01): Повне очищення та повернення курсору в початкову позицію.
- Return Home (0x02): Повернення курсору без видалення даних.
- Entry Mode Set (0x04–0x07): Визначає напрямок руху курсору (вправо/вліво) та необхідність зсуву всього екрана при введенні нового символу.
- Display On/Off Control (0x08–0x0F): Керує видимістю тексту, курсору та режимом його миготіння.
- Function Set (0x20–0x3F): Встановлює розрядність інтерфейсу,

кількість рядків та розмір шрифту.

### *Практичні рекомендації щодо експлуатації*

Для забезпечення максимальної надійності та якості відображення при використанні модуля LCD2004 слід дотримуватися наступних правил:

1. Налаштування контрастності: Використовуйте потенціометр на зворотному боці модуля I2C. Якщо зображення відсутнє («білі квадрати» або пустий екран), це зазвичай є наслідком неправильного положення регулятора контрастності.

2. Управління живленням: Для зменшення споживання струму в режимі очікування слід вимикати підсвічування командою `lcd.noBacklight()` або `lcd.setBacklight(LOW)`. Фізичне зняття джампера на модулі I2C назавжди вимикає підсвічування.

3. Захист від перешкод: Лінії I2C є чутливими до електромагнітних шумів. Використовуйте підтягувальні резистори (pull-up) номіналом 4.7 кОм та мінімізуйте довжину дротів.

4. Температурна компенсація: При роботі на відкритому повітрі взимку контрастність може падати. Деякі професійні модулі мають вхід для зовнішньої термокомпенсації напруги  $V_{LCD}$ .

Рідкокристалічний дисплей LCD2004 залишається золотим стандартом для вбудованих систем, де пріоритетом є надійність, простота програмування та низька вартість. Завдяки контролеру HD44780 та можливостям розширення через інтерфейс I2C, цей модуль забезпечує ефективне відображення великих обсягів текстової інформації (до 80 символів одночасно). Хоча апаратна підтримка української мови обмежена, використання пам'яті CGRAM та сучасних програмних бібліотек дозволяє успішно локалізувати інтерфейси для вітчизняного користувача. Високий показник MTBF та відмінна читабельність у різних умовах освітлення роблять LCD2004 незамінним елементом у промисловій автоматичній, медичних приладах та аматорських розробках.

## 2.4 Висновки до розділу 2

У другому розділі магістерської роботи проведено комплексний дослідницько-аналітичний аналіз функціонування автоматизованої системи керування мікрокліматом приватного будинку. Розглянуто сучасні підходи до побудови систем домашньої автоматизації, що базуються на інтеграції сенсорних пристроїв, мікроконтролерних платформ та виконавчих механізмів у єдину керуючу архітектуру.

У результаті аналізу визначено, що ефективність системи мікроклімату безпосередньо залежить від достовірності первинних вимірювань температури, вологості та газового складу повітря, а також від коректної реалізації алгоритмів керування опаленням, вентиляцією та допоміжними виконавчими пристроями. Обґрунтовано доцільність використання комбінованих датчиків температури та вологості серії DHT, зокрема моделі DHT22, яка забезпечує необхідну точність, широкий робочий діапазон і стабільність показників для систем клімат-контролю житлових приміщень.

Проведено аналіз методів контролю якості повітря, зокрема концентрації вуглекислого газу, та доведено важливість впровадження автоматизованої вентиляції на основі реальних вимірювань. Застосування алгоритмів Demand-Controlled Ventilation дозволяє не лише підтримувати нормативні параметри мікроклімату, а й підвищити енергоефективність системи в цілому.

Особливу увагу приділено вибору керуючого пристрою. На підставі технічного та економічного порівняння мікроконтролерних платформ обґрунтовано вибір Arduino Nano як оптимального рішення для реалізації досліджуваної системи. Дана платформа забезпечує достатні обчислювальні ресурси, компактність, широку апаратну сумісність із сенсорами та виконавчими модулями, а також розвинену програмну екосистему, що значно скорочує терміни розробки та налагодження.

У розділі також проаналізовано принципи побудови людино-машинного

інтерфейсу та часових алгоритмів керування з використанням модуля реального часу, що підвищує зручність експлуатації системи та забезпечує її автономність при перебоях електроживлення.

Таким чином, результати другого розділу створюють теоретичне й технічне підґрунтя для подальшої практичної реалізації автоматизованої системи керування мікрокліматом, формування структурної та принципової схем, а також розробки програмного забезпечення, що буде розглянуто в наступних розділах роботи.

### 3 РОЗДІЛ 3. ПРОЕКТНО-РЕКОМЕНДАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ

#### 3.1 Схема підключення елементів системи керування мікрокліматом приватного будинку

Мікроконтролерна плата Arduino Nano отримує живлення через роз'єм Mini-B USB, а також може живитися від зовнішнього джерела постійної напруги зі значенням 6–20 В (нерегульоване) або 5 В (регульоване). Вибір джерела живлення здійснюється автоматично залежно від наявності та рівня напруги, що підвищує зручність експлуатації та надійність роботи пристрою.

Для організації обміну даними між Arduino Nano та комп'ютером, іншими мікроконтролерами або периферійними пристроями передбачено кілька способів зв'язку. Мікроконтролер ATmega328 підтримує послідовний інтерфейс TTL UART (5 В), який реалізується через цифрові виводи 0 (RX) та 1 (TX). Передавання даних між UART-інтерфейсом та USB здійснюється за допомогою мікросхеми FTDI FT232RL, яка перетворює послідовні сигнали у формат USB. Завдяки використанню драйверів FTDI в операційній системі комп'ютера створюється віртуальний COM-порт, що дозволяє здійснювати програмування та налагодження плати через середовище розробки Arduino IDE [43].

Плата Arduino Nano має 8 аналогових входів, які за потреби можуть використовуватися як цифрові входи або виходи. Загалом мікроконтролер підтримує 14 цифрових виводів, з яких частина може працювати в режимі широтно-імпульсної модуляції (ШИМ), що дає змогу керувати швидкістю обертання двигунів, яскравістю світлодіодів та іншими аналогоподібними параметрами. Крім того, плата підтримує апаратні інтерфейси зв'язку I<sup>2</sup>C (2 виводи) та SPI (3 виводи), які використовуються для підключення датчиків, дисплеїв, модулів пам'яті та інших периферійних пристроїв.

На протилежному боці плати відносно роз'єму Micro-USB розташований блок Arduino ICSP, призначений для прошивки мікроконтролера та

програмування його мікропрограм безпосередньо, міняючи стандартний завантажувач. Це особливо актуально під час налагодження або використання плати в промислових умовах.

На рисунку 3.1 наведено зображення плати Arduino Nano з позначенням контактів та їх функціонального призначення.

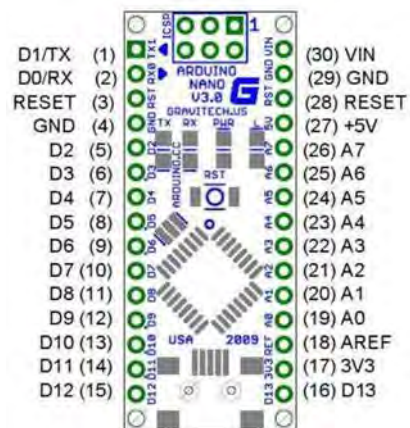


Рис. 3.1. Розпіновка плати Arduino Nano

Схему підключення системи було розроблено з використанням програмного середовища Fritzing, яке дозволяє наочно відобразити взаємозв'язок між елементами електричної схеми [44].

Fritzing — це спеціалізоване програмне середовище з відкритим вихідним кодом, призначене для розроблення, документування та візуалізації електронних схем, зокрема проєктів на базі мікроконтролерних платформ Arduino, Raspberry Pi, ESP та інших подібних пристроїв.

Основною перевагою програми Fritzing є її орієнтація як на початківців, так і на досвідчених розробників електроніки, оскільки вона поєднує інтуїтивно зрозумілий графічний інтерфейс із можливістю створення повноцінної технічної документації. Програма дозволяє візуально відобразити підключення компонентів у максимально наочній формі, що значно спрощує процес проєктування та подальшого складання пристрою.

Fritzing підтримує кілька режимів роботи:

- Breadboard (макетна плата) — режим, у якому схема відображається у вигляді реального макета з компонентами та з'єднувальними провідниками. Цей режим зручний для початкового етапу розроблення та перевірки правильності підключень.
- Schematic (принципова схема) — режим створення електричної принципової схеми з використанням стандартних умовних графічних позначень, що відповідають вимогам технічної документації.
- PCB (друкована плата) — режим проєктування друкованих плат, який дозволяє розміщувати компоненти, прокладати доріжки та підготовлювати файли для подальшого виготовлення плати.
- Code (код) — допоміжний режим, що забезпечує зв'язок апаратної частини з програмним кодом мікроконтролера.

Програма містить велику бібліотеку електронних компонентів, включаючи резистори, конденсатори, транзистори, мікросхеми, датчики та модулі розширення. За потреби користувач може створювати власні компоненти або імпортувати додаткові бібліотеки. Усі з'єднання між елементами автоматично перевіряються, що допомагає зменшити кількість помилок під час проєктування.

Fritzing також надає можливість експортувати схеми у графічні формати для включення до пояснювальних записок, звітів або навчальних матеріалів, а також формувати Gerber-файли, необхідні для виготовлення друкованих плат у промислових умовах.

Завдяки своїм функціональним можливостям та наочності, програма Fritzing широко використовується у навчальному процесі, науково-дослідних роботах і під час розроблення прототипів електронних пристроїв, зокрема в проєктах автоматизації, системах «розумного будинку» та вбудованих системах керування.

На схемі показано спосіб з'єднання мікроконтролерної плати з датчиками, виконавчими пристроями та елементами живлення, що забезпечує правильну та безпечну роботу всієї системи.

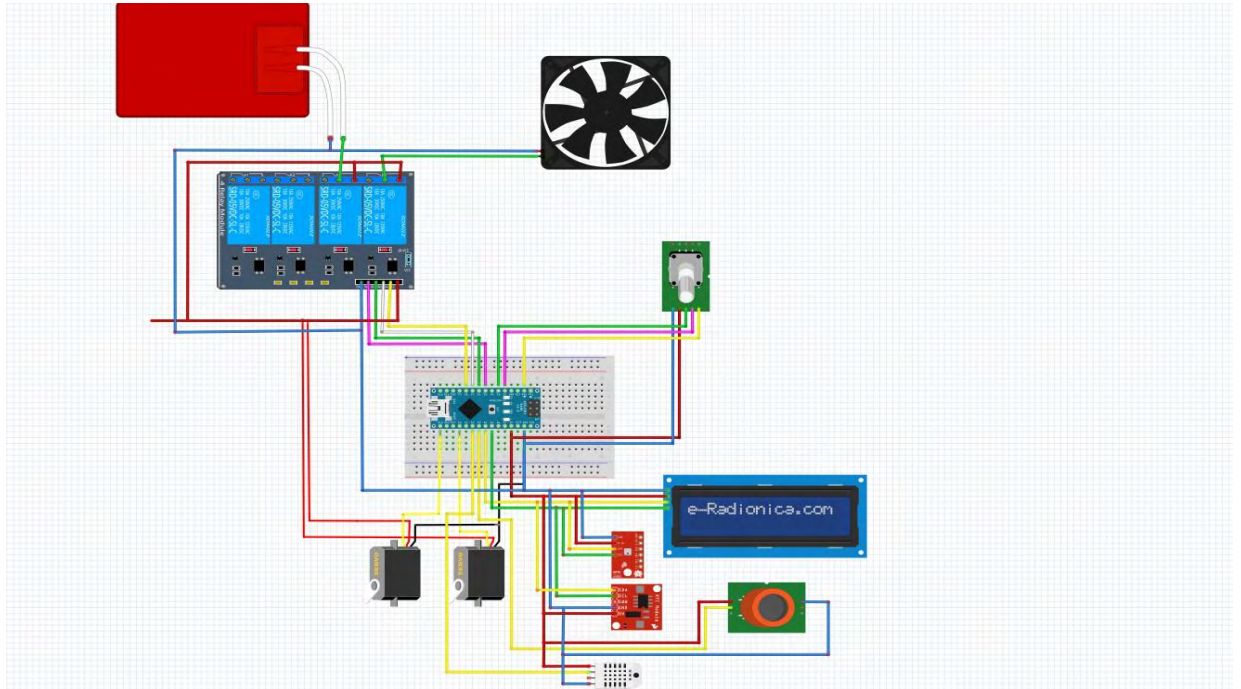


Рис. 3.2. Схема підключення системи

Зовнішній вигляд зібраної системи представлено на рисунку 3.3.

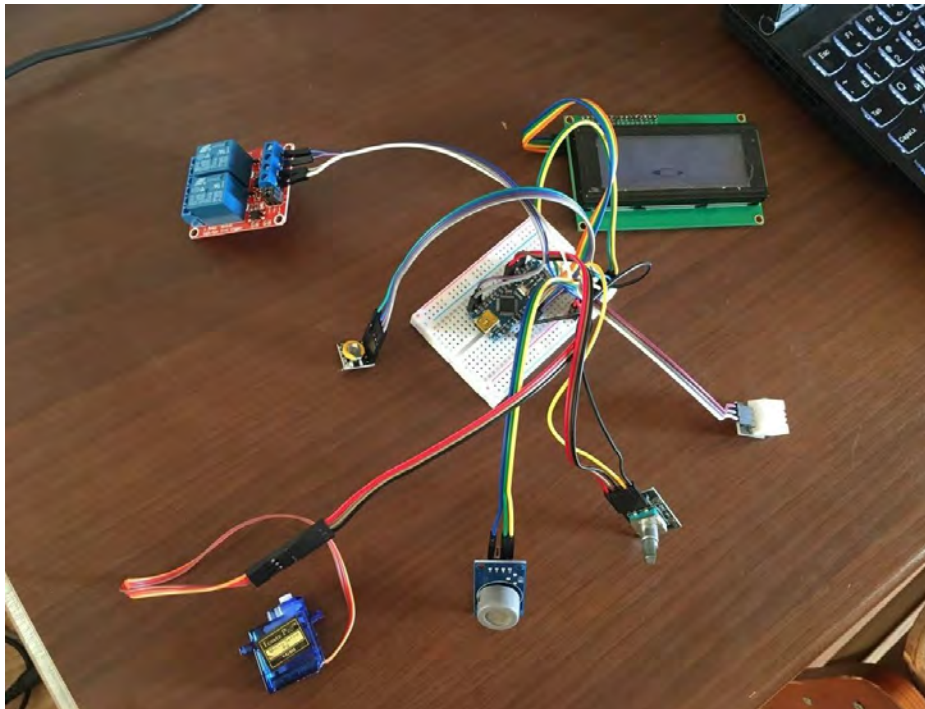


Рис. 3.3. Зовнішній вигляд зібраної системи

## **3.2 Розробка програмного забезпечення система керування мікрокліматом приватного будинку**

### **3.2.1 Алгоритм роботи системи керування мікрокліматом приміщення**

На основі функцій системи автоматизації будівлі, описаних у попередніх розділах, було розроблено поетапний алгоритм роботи керуючого пристрою. Даний алгоритм визначає логіку функціонування мікроконтролера та порядок виконання ним основних операцій у процесі керування інженерними системами.

На початковому етапі головна програма виконує ініціалізацію змінних, налаштування портів введення-виведення, а також ініціалізацію підключених датчиків і виконавчих механізмів. Лише після завершення цих підготовчих дій система переходить до основного циклу роботи.

Алгоритм функціонування керуючого пристрою реалізовано у вигляді циклічної програми, що забезпечує безперервний моніторинг параметрів навколишнього середовища та своєчасну реакцію системи на їх зміну. Загальна логіка роботи програми подана у вигляді блок-схеми, наведеної на рисунку 3.4.

Після запуску програми виконується подача живлення на мікроконтролер та перехід у початковий стан (Старт). Далі система здійснює опитування підключених сенсорів і отримує актуальні значення параметрів, зокрема температури повітря.

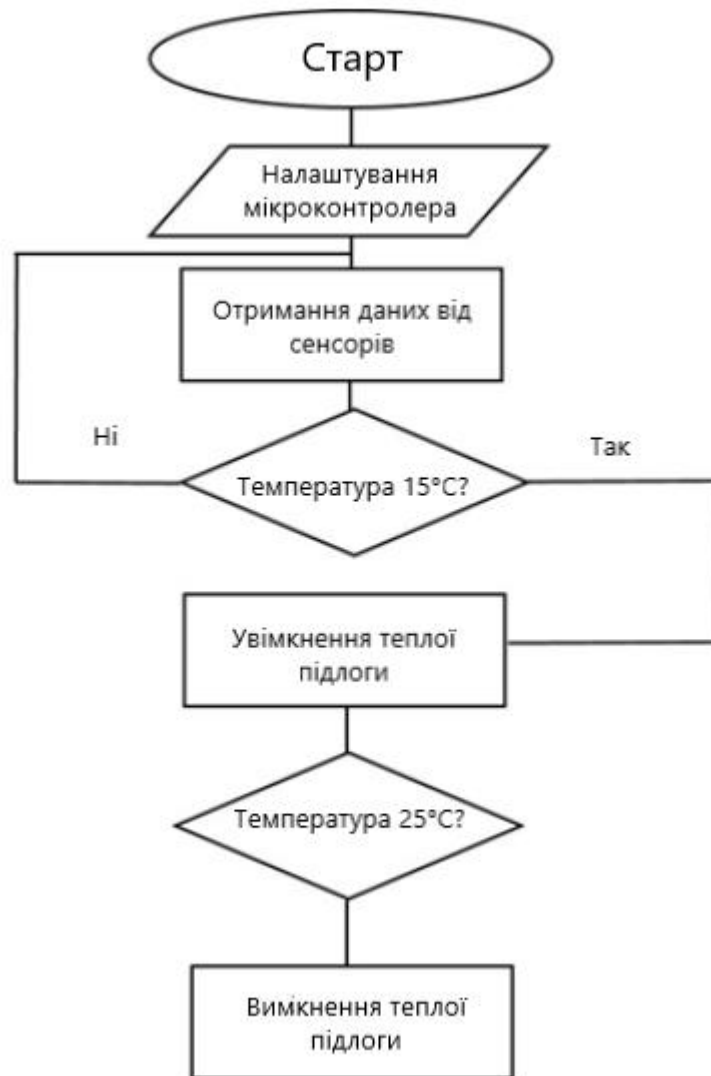


Рис. 3.4. Блок-схема алгоритму з циклічною структурою

Отримане значення температури порівнюється із заданим нижнім порогом 15 °С.

- Якщо температура нижча або дорівнює 15 °С, система приймає рішення про необхідність обігріву та подає керуючий сигнал на виконавчий пристрій — теплу підлогу, вмикаючи її.
- Якщо температура вища за 15 °С, система не активує обігрів і продовжує циклічне опитування датчиків.

Після вмикання теплої підлоги система продовжує контролювати температуру. Коли значення досягає або перевищує верхній поріг 25 °С,

відбувається автоматичне вимкнення теплої підлоги, що запобігає перегріву приміщення та сприяє енергоефективності системи.

Таким чином, реалізований алгоритм забезпечує підтримання температури в заданому діапазоні шляхом автоматичного вмикання та вимикання системи обігріву без участі користувача.

### **3.2.2 Середовище розробки Arduino IDE**

Для розроблення програмного забезпечення використовується платформа Arduino IDE, яка є текстово-орієнтованим інтегрованим середовищем програмування. Вона включає в себе:

- редактор програмного коду;
- область повідомлень;
- консоль виводу повідомлень;
- набір інструментів для компіляції та завантаження програм;
- систему меню для керування проектом.

Програмний код, створений у середовищі Arduino IDE, називається скетчем (sketch). Скетч розробляється в текстовому редакторі, що підтримує введення, редагування та форматування коду. Під час компіляції та завантаження програми в мікроконтролер у вікні повідомлень відображається інформація про стан виконання операцій, а також повідомлення про можливі помилки.

Консоль виводу використовується для відображення службових повідомлень Arduino IDE, інформації про помилки, попереджень та діагностичних даних, що суттєво полегшує процес налагодження програми.

Загальний вигляд вікна середовища розробки Arduino IDE наведено на рисунку 3.6.

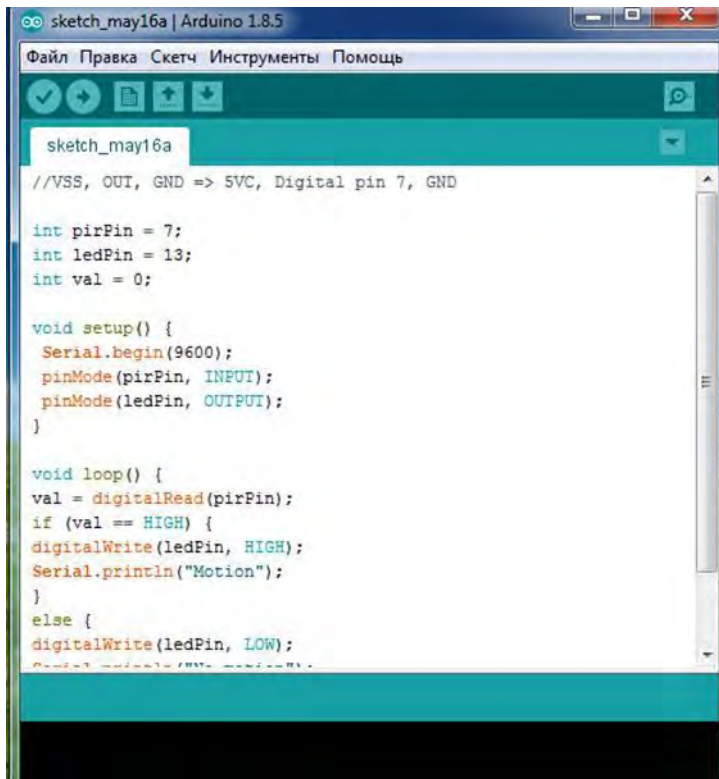


Рис. 3.6. Вікно програми Arduino IDE

### 3.2.3 Інтегрований програмний код система керування мікрокліматом приватного будинку

Система автоматизованого керування реалізує контроль температури, вологості та концентрації чадного газу (CO) з подальшим керуванням виконавчим пристроєм (теплою підлогою або вентиляцією) через релейний модуль SRD-05VDC-SL-C.

*Програмний код (Arduino IDE)*

```
#include <DHT.h>
```

```
// Налаштування DHT22
```

```
#define DHTPIN 2
```

```
#define DHTTYPE DHT22
```

```
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
```

```
// Піни підключення
#define MQ7_PIN A0
#define RELAY_PIN 8

// Температурні пороги
#define TEMP_ON 15.0
#define TEMP_OFF 25.0

// Порогове значення CO (умовне)
#define CO_LIMIT 300

void setup() {
  pinMode(RELAY_PIN, OUTPUT);
  digitalWrite(RELAY_PIN, LOW); // реле вимкнене

  Serial.begin(9600);
  dht.begin();

  Serial.println("Система автоматизованого керування запущена");
}

void loop() {
  // Зчитування даних з DHT22
  float temperature = dht.readTemperature();
  float humidity = dht.readHumidity();

  // Зчитування даних з MQ-7
```

```
int coValue = analogRead(MQ7_PIN);

// Перевірка коректності зчитування
if (isnan(temperature) || isnan(humidity)) {
    Serial.println("Помилка зчитування з DHT22");
    return;
}

// Виведення даних у консоль
Serial.print("Температура: ");
Serial.print(temperature);
Serial.print(" °C | Вологість: ");
Serial.print(humidity);
Serial.print(" % | CO: ");
Serial.println(coValue);

// Логіка керування теплою підлогою
if (temperature <= TEMP_ON) {
    digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH); // увімкнути теплу підлогу
    Serial.println("Тепла підлога УВІМКНЕНА");
}

if (temperature >= TEMP_OFF) {
    digitalWrite(RELAY_PIN, LOW); // вимкнути теплу підлогу
    Serial.println("Тепла підлога ВИМКНЕНА");
}

// Реакція на перевищення концентрації CO
```

```

if (coValue >= CO_LIMIT) {
    digitalWrite(RELAY_PIN, LOW); // аварійне вимкнення
    Serial.println("УВАГА! Підвищений рівень СО!");
}

delay(2000); // затримка між циклами
}

```

Після подачі живлення мікроконтролер ініціалізує датчики DHT22 та MQ-7, а також встановлює режим роботи релейного модуля. У головному циклі програми (loop()) здійснюється безперервне опитування сенсорів температури, вологості та концентрації чадного газу.

На основі отриманих значень реалізується логіка керування:

- при зниженні температури до 15 °С відбувається автоматичне вмикання теплої підлоги;
- при досягненні температури 25 °С система вимикає обігрів;
- у разі перевищення допустимого рівня СО здійснюється аварійне вимкнення виконавчого пристрою та виведення попереджувального повідомлення.

Такий підхід забезпечує енергоефективну, безпечну та автономну роботу системи автоматизації мікроклімату.

### **3.3 Аналіз роботи сенсорних модулів та автоматичних пристроїв**

У процесі аналізу роботи сенсорних модулів і автоматичних пристроїв, що входять до складу автоматизованої системи керування мікрокліматом приватного будинку, було виконано поглиблене дослідження принципів функціонування кожного елемента, а також особливостей їхньої взаємодії між собою. Основною метою аналізу було оцінювання ефективності збору, обробки та використання

інформації про параметри навколишнього середовища для забезпечення комфортних і безпечних умов проживання.

Система ґрунтується на використанні сенсорних модулів, які здійснюють безперервний моніторинг основних мікрокліматичних параметрів, зокрема температури повітря, відносної вологості та концентрації газів. Датчики реагують на зміни умов у приміщенні та формують відповідні електричні сигнали, що передаються до центрального керуючого пристрою — мікроконтролера Arduino Nano. Отримані дані обробляються програмним забезпеченням, після чого формується керуючий вплив на виконавчі механізми системи. Аналіз показав, що застосовані сенсорні модулі забезпечують достатню точність вимірювань, стабільність показників та швидку реакцію на зміну зовнішніх факторів, що є критично важливим для автоматичного регулювання опалення, вентиляції та допоміжних елементів, таких як електричні карнизи або штори.

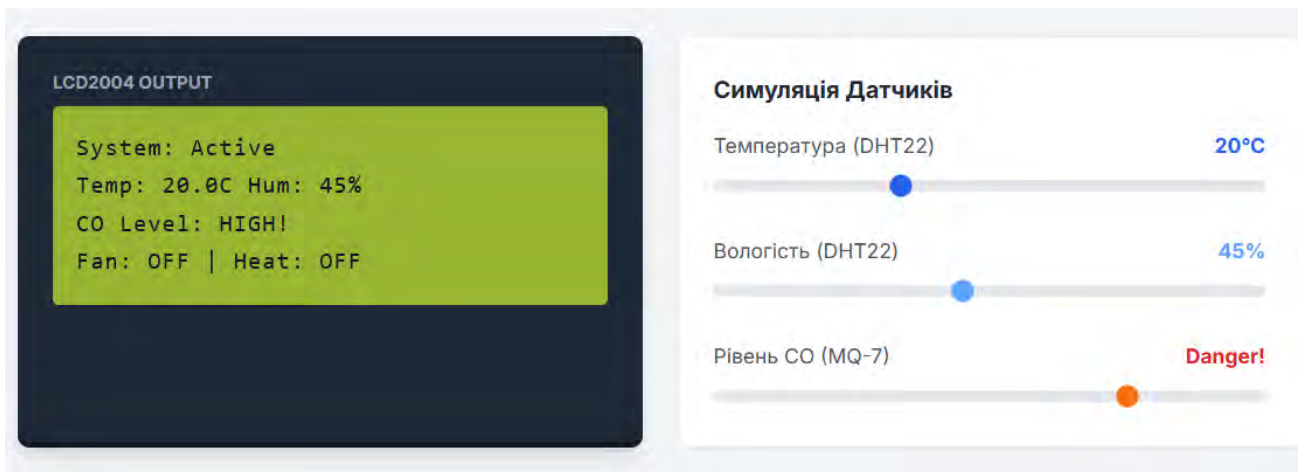


Рис. 3.7.а. Симуляція роботи датчиків

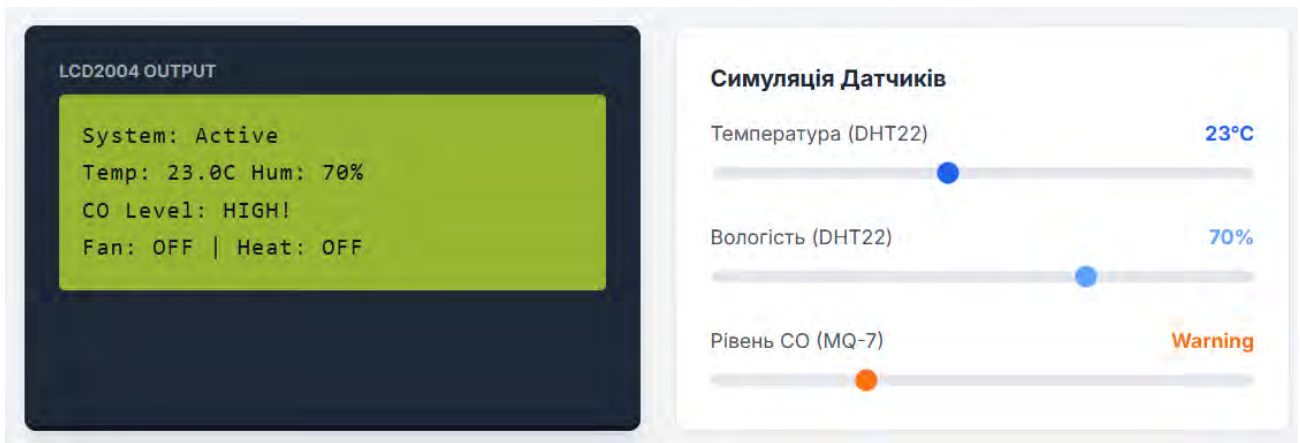


Рис. 3.7.б. Симуляція роботи датчиків

Графік Моніторингу (Real-time)

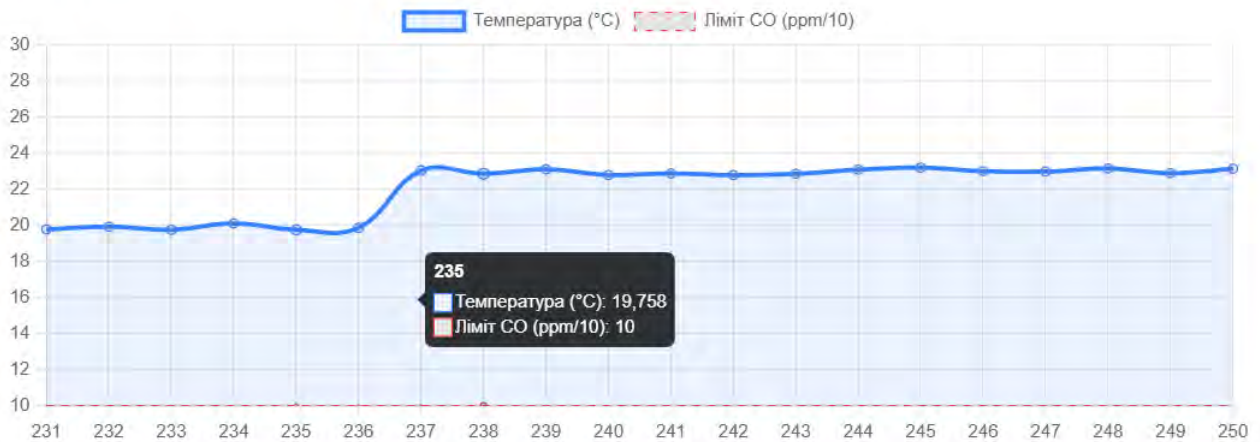


Рис. 3.8. Залежність температури від часу на графіку

На основі отриманих експериментальних та симуляційних даних було підтверджено, що система коректно відображає динаміку зміни температури та вологості у вигляді графіків, що дає змогу здійснювати візуальний контроль і аналіз роботи мікроклімату в реальному часі. Це значно підвищує зручність експлуатації системи та дозволяє оперативно виявляти відхилення від заданих значень.

Окрему увагу під час аналізу було приділено автоматичним та виконавчим пристроям, зокрема електромагнітним реле типу SPDT і електродвигунам, які підключені через драйвер типу H-bridge. Дослідження показало, що використання реле забезпечує надійне комутаційне керування силовими

ланцюгами, такими як система теплої підлоги, освітлення та інші побутові електроприлади. Реле демонструють стабільну роботу при змінних навантаженнях, а також сприяють підвищенню рівня електробезпеки за рахунок гальванічної розв'язки між керуючою та силовою частинами системи.

Електродвигуни та серводвигуни, керовані за допомогою H-bridge драйвера, забезпечують точне та плавне виконання команд, сформованих контролером. Це дозволяє автоматизувати роботу рухомих елементів будинку, таких як вентиляційні заслінки, приводи штор або інші механізовані системи. Аналіз підтвердив, що обраний спосіб керування двигунами забезпечує необхідну швидкодію, реверсивність та контроль напрямку обертання, що є важливим для реалізації гнучких сценаріїв автоматизації.

### Керування Пристроями (Реле)

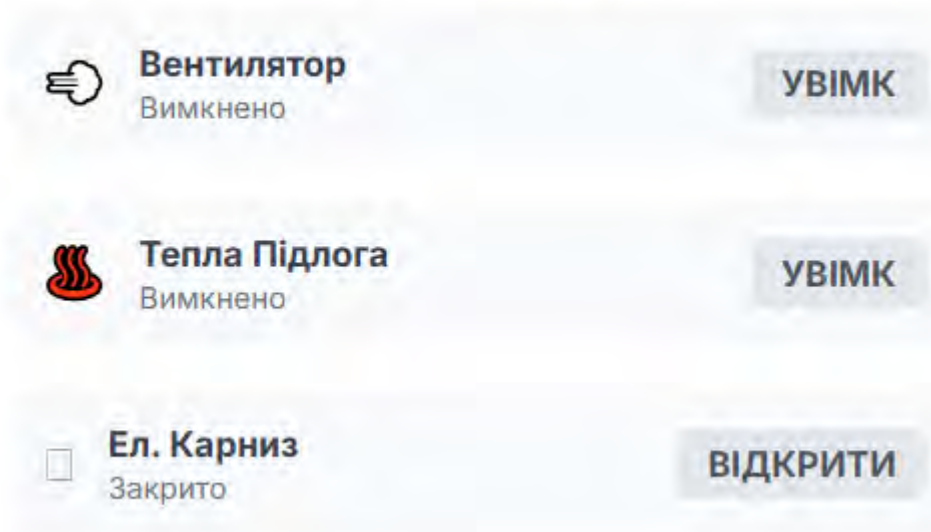


Рис. 3.9.а. Керування пристроями системи

## Керування Пристроями (Реле)

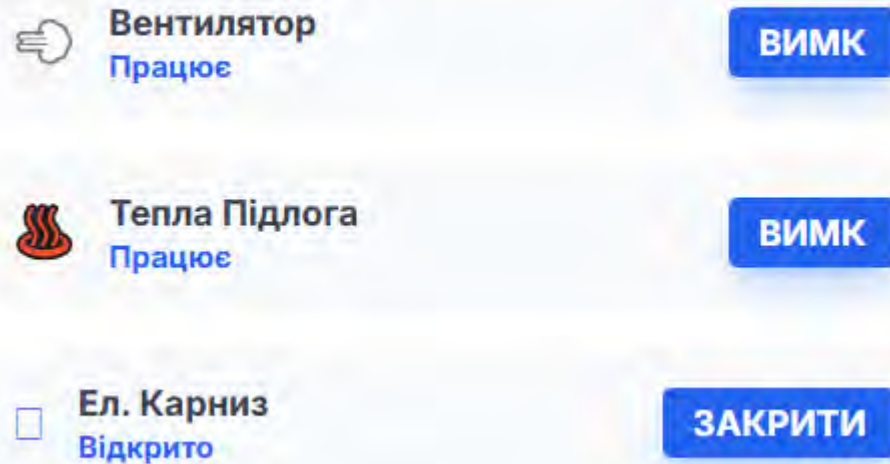


Рис. 3.9.б. Керування пристроями системи

Узагальнюючи результати проведеного аналізу, можна зробити висновок, що всі сенсорні модулі та автоматичні пристрої працюють узгоджено та утворюють єдину функціональну систему. Система забезпечує точне вимірювання параметрів навколишнього середовища, своєчасне реагування на потенційно небезпечні ситуації, такі як перевищення допустимих температурних або газових показників, а також ефективно автоматичне керування інженерними системами будинку. Завдяки інтегрованій взаємодії сенсорів, виконавчих механізмів і програмного забезпечення досягається високий рівень комфорту, безпеки та енергозбереження, що підтверджує доцільність впровадження даної автоматизованої системи в умовах приватного житлового будинку.

### 3.4 Висновки до розділу 3

У третьому, проектно-рекомендаційному розділі магістерської роботи виконано практичну реалізацію автоматизованої системи керування мікрокліматом приватного будинку на основі мікроконтролерної платформи Arduino Nano. Розроблено структурну та принципову схему підключення основних елементів системи, що забезпечує коректну, надійну та безпечну взаємодію між сенсорними модулями, виконавчими пристроями та джерелами живлення.

Обґрунтовано вибір апаратної платформи Arduino Nano як центрального керуючого елемента системи, що зумовлено її компактністю, функціональною універсальністю, підтримкою необхідних інтерфейсів зв'язку та можливістю автоматичного вибору джерела живлення. Розроблення схеми підключення з використанням програмного середовища Fritzing дозволило наочно відобразити взаємозв'язки між компонентами, зменшити ймовірність помилок під час монтажу та забезпечити формування повноцінної технічної документації для подальшого впровадження або модернізації системи.

У межах розділу розроблено програмне забезпечення системи керування мікрокліматом у середовищі Arduino IDE. Сформовано алгоритм роботи керуючого пристрою з циклічною структурою, що забезпечує безперервний моніторинг температури, вологості та концентрації чадного газу в приміщенні. Реалізована логіка автоматичного керування теплою підлогою на основі порогових значень температури дозволяє підтримувати комфортні умови проживання без участі користувача та сприяє підвищенню енергоефективності системи.

Інтегрований програмний код підтвердив можливість одночасної обробки даних із кількох сенсорних модулів і формування керуючих сигналів для виконавчих пристроїв через релейні модулі. Особливу увагу приділено реалізації аварійних режимів роботи, зокрема автоматичному вимкненню навантаження

при перевищенні допустимого рівня чадного газу, що підвищує загальний рівень безпеки експлуатації системи.

Проведений аналіз роботи сенсорних модулів та автоматичних пристроїв показав їх стабільну та узгоджену роботу в складі єдиної автоматизованої системи. Експериментальні та симуляційні результати підтвердили достовірність вимірювань мікрокліматичних параметрів, коректність відображення динаміки змін у часі та ефективність керування виконавчими механізмами. Використання електромагнітних реле та драйверів керування двигунами забезпечує надійну комутацію силових ланцюгів і точне виконання керуючих команд.

Отже, результати третього розділу підтверджують працездатність, функціональну завершеність та доцільність впровадження розробленої автоматизованої системи керування мікрокліматом у приватному житловому будинку. Запропоновані апаратні та програмні рішення можуть бути використані як основа для подальшого розширення системи, інтеграції додаткових сенсорів, виконавчих пристроїв і реалізації складніших сценаріїв автоматизації.

## РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 4.1 Охорона праці при виконанні електромонтажних робіт

До виконання електромонтажних робіт і робіт з приготування малярних складів, а також з ручними пневматичними та електричними машинами, допускаються працівники не молодше 18 років, які пройшли медичний огляд, не мають протипоказань за станом здоров'я, мають необхідну теоретичну та практичну підготовку, пройшли вступний та первинний робоче місце інструктажі з охорони праці та навчання за спеціальною програмою, атестовані кваліфікаційною комісією та отримали допуск до самостійного виконання електромонтажних та оздоблювальних робіт.

До роботи з нанесення лакофарбових матеріалів не допускаються вагітні жінки з моменту встановлення вагітності на весь період грудного вигодовування дитини.

Працівники, допущені до виконання електромонтажних та оздоблювальних робіт (далі іменуються – працівники), повинні пройти навчання та перевірку знань норм та правил роботи в електроустановках та отримати відповідну групу з електробезпеки.

Працівники, допущені до самостійного виконання електромонтажних та оздоблювальних робіт, повинні знати: основи електробезпеки. Заходи безпеки в момент використання зварювального обладнання для електромонтажних робіт. Правила безпеки при користуванні такелажними засобами, правила стропування та переміщення обладнання. Правила, норми та інструкції з охорони праці та пожежної безпеки. Правила користування первинними засобами пожежогасіння. Способи надання першої допомоги у разі нещасних випадків. Правила внутрішнього трудового порядку організації.

Працівники повинні періодично, не рідше одного разу на рік, проходити перевірку знань вимог охорони праці та отримати допуск до робіт підвищеної

небезпеки.

Працівники, незалежно від кваліфікації та стажу роботи, не рідше ніж один раз на три місяці повинні проходити повторний інструктаж з охорони праці.

Працівники, які показали незадовільні знання та навички безпечного виконання електромонтажних та оздоблювальних робіт, до самостійної роботи не допускаються.

Працівникам забороняється виконувати роботи, до яких його не допущено в установленому порядку, а також користуватися інструментом та обладнанням, з якими він не має навичок безпечного поводження.

У процесі виконання роботи працівників можуть впливати, переважно, такі небезпечні і шкідливі виробничі чинники:

— Електричний струм, шлях якого у разі замикання на корпус може пройти через тіло людини;

— Розташування робочого місця на висоті щодо землі, наприклад, при роботі з лісів, риштування, драбин, драбин і т.п.;

— тверді частинки, що відлітають (наприклад, при пробиванні отворів);

— дюбель, що вилітає (при користуванні монтажно-поршневым пістолетом);

— Нагріта до високої температури кабельна маса;

— деталі, що переміщуються під час монтажу, вузли;

— гострі кромки, задирки та шорсткість на поверхні інструментів, що монтуються вузлів;

— Підвищена запиленість повітря, наприклад, при змішуванні сухих фарб з оліфою, приготуванні розчинів для штукатурки, шліфування поверхонь наждачним папером;

— розпорошені дрібні частинки фарби (аерозоль) у повітрі при механізованому фарбуванні поверхонь;

— Шкідливі речовини і пари, що виділяються при висиханні фарб;

— забруднення шкірних покривів та спецодягу хімічними сполуками,

пиллом, аерозолем;

— підвищена пожежо- та вибухонебезпечність багатьох лакофарбових матеріалів;

- Несприятливі мікрокліматичні умови (температура, відносна вологість та рухливість повітря);

- Недостатня освітленість робочої зони;

- Підвищена напруженість і важкість праці, наприклад, при тривалій роботі в незручній позі;

- Підвищена запиленість повітря (наприклад, при роботі з цементом).

Працівники під час роботи повинні користуватися спецодягом, спецвзуттям та іншими засобами індивідуального захисту від впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів.

Для попередження можливості захворювань працівникам слід дотримуватись правил особистої гігієни, у тому числі, перед їдою необхідно ретельно мити руки з милом.

Працівники, при необхідності, повинні вміти надати першу допомогу, у тому числі при ураженні електричним струмом, користуватися медичною аптечкою.

Працівники зобов'язані дотримуватися трудової та виробничої дисципліни, правил внутрішнього трудового розпорядку; слід пам'ятати, що вживання спиртних напоїв зазвичай призводить до нещасних випадків.

Працівники, які допустили порушення чи невиконання вимог інструкції з охорони праці, розглядаються як порушники виробничої дисципліни і можуть бути притягнуті до дисциплінарної відповідальності, а залежно від наслідків і до кримінальної; якщо порушення пов'язане із заподіянням матеріальних збитків, то винні можуть притягуватися до матеріальної відповідальності в установленому порядку.

Працівник, який перебуває у хворобливому чи перевтомленому стані, а також під впливом алкоголю, наркотичних речовин чи ліків, що притупляють увагу та реакцію, не повинен братися до роботи, оскільки це може призвести до

нешасного випадку.

Під час роботи необхідно поводитися спокійно та витримано, щоб уникнути конфліктних ситуацій, які викликають нервово-емоційне напруження та впливають на безпеку праці.

Під час роботи слід бути уважним, не відволікатися під час виконання своїх обов'язків.

Під час електромонтажу необхідно дотримуватися наступних вимог безпеки:

— забороняється працювати на висоті, а також при використанні електрообладнання, електровимірювальної апаратури, під час дощу, грози та вітру понад 12 м за секунду;

— Свердління та свердління отворів у цеглі та бетоні, протягування сталевих дротів через труби. Необхідно використовувати захисні окуляри з неб'ючим склом;

— при свердлінні отворів ручним інструментом (шуруповерт, шпindel тощо) необхідно перевіряти, чи не перевищує довжина його активної частини товщину стінки не менше ніж на 200 мм;

— під час протягування дроту (кабелю) через трубу (канал) руки працівника повинні знаходитися на відстані не менше 1 м від кінця труби (каналу);

— З іншого боку, при вимірюванні опору проводів і кабелів мегомметром кінці проводів (проводів) повинні бути замкнуті або під контролем спеціально обраної для цієї роботи особи, кваліфікованої за правилами електробезпеки. ;

— Електромонтажникам забороняється виконувати будь-які роботи, пов'язані з експлуатацією електроустаткування;

— При використанні підйомних машин і такелажного обладнання, виробів і конструкцій електромонтери повинні мати посвідчення на зв'язування.

При монтажі електричних і освітлювальних мереж необхідно дотримуватися наступних вимог безпеки:

- Труби та металоконструкції слід прокладати на землі або на підлозі;
- Кінці труб повинні бути оснащені балками і очищені;
- Перед установкою командних щитів і приладів необхідно перевірити їх центрування і надійність центрування і центрування;
- перевірку з'єднання отворів в сполучних конструкціях проводити за допомогою спеціальних сортувальних інструментів;
- Монтаж легкого обладнання вагою більше 10 кг повинні проводити дві людини;
- Смуги слід встановлювати секціями або по одному блоку; Забороняється збирати частини або блоки в лісах, на шляхопроводах і службових мостах.

При установці вимикача повинні бути дотримані такі вимоги безпеки:

- піднімати, переміщати і встановлювати роз'єднувачі та інші пристрої типу відключення повинні бути у стані "ввімкнено", а пристрої з пристроями повернення або пристрої вільного переміщення - у стані "вимкнено";
- при підготовці вимикачів і роз'єднувачів, підключених до приводів, необхідно вжити заходів щодо запобігання їх увімкненню або вимкненню без потреби;
- одночасну перевірку перемикачів контактів масляного вимикача проводити при напрузі не вище 12 В;
- при роботі на сучасних трансформаторах їх вторинні обмотки необхідно зводити безпосередньо на затискачах трансформатора і нарощувати до завершення монтажу відповідних схем;
- при транспортуванні трансформатора навантажувачем стелажі повинні бути з'єднані зі спеціальними підйомними гаками (ободами);
- Під час встановлення силового трансформатора його проводи повинні бути закорочені та заземлені під час встановлення.

При монтажі вторинних кіл необхідно дотримуватися наступних вимог безпеки:

- Оператори повинні забезпечити, щоб комплект клем, встановлених у

приміщеннях ЖП, був закритий кришками та оснащений попереджувальними літерами із зазначенням електричної енергії;

— мідні та алюмінієві кабелі та кабелі контролю необхідно прокладати по колу за допомогою спеціальних інструментів або обладнання; Не можна використовувати плоскогубці;

— для проводів і жил на металевій поверхні з лотком слід використовувати оцинковану сталь (щоб уникнути флюсу і кіптяви з поверхні стола і проводів);

— знімаючи дрібні деталі та нитки, слід притримувати їх пінцетом або плоскогубцями;

— не промивати місця зварювання бензином та іншими легкозаймистими рідинами;

— Тигель з жерстяної дроту слід зберігати в надійному місці на сусідній металевій пластині.

Роботи з приготування малярних складів слід виконувати у спеціальному приміщенні, обладнаному вентиляцією.

У процесі приготування робочих розчинів лакофарбових матеріалів необхідно дотримуватись технологічної інструкції.

Щоб уникнути самозаймання, забороняється змішувати поліефірні лаки та їх компоненти з нітроцелюлозними.

Після закінчення роботи працівник зобов'язаний виконати такі операції:

— відключити електроінструмент та інше обладнання, що використовується в роботі;

— протерти і змастити частини інструменту, що труться, і здати його на зберігання;

— упорядкувати робоче місце, вилучивши з проходів сторонні предмети;

— ручний інструмент, пристрої очистити і прибрати у відведене для зберігання місце;

— упорядкувати та прибрати спецодяг, спецвзуття та інші засоби індивідуального захисту, при необхідності – здати їх у прання, чищення.

Про всі помічені в процесі роботи неполадки та несправності застосовуваного інструменту та обладнання, а також про інші порушення вимог охорони праці слід повідомити свого безпосереднього керівника.

#### **4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях в приватних будинках**

Сучасна архітектура безпеки приватного житлового сектора в Україні зазнала фундаментальних трансформацій під впливом системних викликів, зумовлених як воєнними діями, так і глобальними кліматичними змінами. Традиційні підходи до цивільного захисту, що раніше сприймалися як теоретичні настанови, наразі перетворилися на прикладні інженерні та логістичні рішення, від яких безпосередньо залежить збереження життя та майна. Аналіз сучасних загроз вказує на необхідність переходу від реактивної моделі поведінки до стратегічного планування автономності та захищеності житлового простору.

Протягом тривалого часу базовою рекомендацією для цивільного населення в умовах обстрілів було так зване правило «двох стін», яке передбачало перебування у просторі, відокремленому від фасаду будівлі щонайменше двома капітальними конструкціями. Логіка цього методу базувалася на розрахунку, що перша стіна приймає на себе основну ударну хвилю та уламки, а друга захищає від вторинних вражаючих елементів — скла, фрагментів меблів та штукатурки. Проте, досвід бойових дій 2024-2025 років демонструє, що ефективність цього правила значно знизилася через використання боєприпасів з великою термічною та фугасною дією, таких як баражуючі боєприпаси типу «Шахед».

При прямому влучанні сучасних засобів ураження конструктивна цілісність будівлі порушується настільки критично, що правило «двох стін» перестає бути гарантом безпеки. Висока температура горіння палива та вибухової речовини може призвести до швидкого вигорання приміщень за лічені хвилини, що робить перебування в коридорах чи ванних кімнатах надзвичайно ризикованим через задимлення та термічні опіки. Сучасні стандарти безпеки

диктують необхідність переміщення до підготовлених підвальних приміщень або найближчих сертифікованих укриттів при перших сигналах тривоги.

Таблиця 4.1.

## Ефективність різних типів захисних зон у приватному будинку

Місце укриття	Рівень захисту від уламків	Захист від ударної хвилі	Ризик блокування при завалі	Примітка
Між двома капітальними стінами	Середній	Низький	Середній	Актуально лише при віддалених вибухах.
Спеціалізований підвал	Високий	Високий	Високий	Вимагає наявності аварійного виходу.
Зовнішнє укриття (погреб)	Дуже високий	Дуже високий	Низький	Поза зоною можливого завалу будинку.
Ванна кімната	Низький	Низький	Середній	Небезпека від керамічної плитки та скла.

Для мешканців приватних будинків критично важливим є облаштування підвалу з урахуванням ризику обвалу самої будівлі. Це передбачає не лише зміцнення перекриттів, а й обов'язкове створення альтернативного шляху евакуації, оскільки основний вихід може бути заблокований уламками конструкцій. При знаходженні безпосередньо в зоні обстрілу, коли переміщення до укриття неможливе, базовим правилом виживання стає негайне прийняття горизонтального положення на землі, що знижує ймовірність ураження уламками у десять разів порівняно з вертикальним положенням.

**Технічне зміцнення віконних конструкцій та світлопрозорих елементів**

Вікна є найбільш вразливим елементом приватного будинку під час вибуху. Механізм пошкодження скла пов'язаний з надлишковим тиском вибухової хвилі, який змушує склопакет прогинатися всередину. Якщо навантаження перевищує

межу міцності матеріалу, скло руйнується, перетворюючись на сотні гострих осколків, що рухаються з великою швидкістю. Для мінімізації цього ризику використовується комплекс методів — від підручних засобів до професійних бронеплівки.

Використання скотчу або тканинних смужок на клейстері не підвищує загальну міцність скла, але радикально змінює характер його руйнації. Замість дрібних уламків скло розбивається на великі фрагменти, які утримуються на клейкій основі, що суттєво зменшує площу ураження всередині приміщення. Найбільш ефективним серед підручних засобів є наклеювання прозорого скотчу суцільним шаром із заходом на раму, оскільки він має кращу тягучість порівняно з малярним паперовим скотчем.

Таблиця 4.2.

#### Порівняльна характеристика методів захисту вікон

Метод	Матеріал	Ступінь захисту	Переваги	Недоліки
Бронеплівка	Полімери (100-300 мк)	Високий	Прозорість, довговічність.	Висока вартість.
Клейка стрічка	Прозорий скотч	Середній	Швидкість монтажу.	Труднощі при знятті.
Тканинні смужки	Бавовна + клейстер	Середній	Надійність предків.	Клопітність підготовки.
Фанера / ОСБ	Деревні плити	Високий	Захист від ударної хвилі.	Повна темрява.
Мішки з піском	Поліпропілен + пісок	Найвищий	Зупиняє дрібні уламки.	Велика вага, складність.

Для виготовлення клейстеру, який за надійністю не поступається скотчу, використовується розчин на основі пшеничного борошна. Технологія приготування передбачає змішування 0,5 склянки борошна зі склянкою холодної води з наступним вливанням у 0,5 літра киплячої води. Отриманий в'язкий склад наноситься на смужки тканини, які клеяться хрест-навхрест або «сніжинкою»,

обов'язково захоплюючи раму. Для мешканців приватних садиб найбільш надійним методом залишається зовнішнє закладання віконних прорізів мішками з піском, оскільки пісок має унікальну здатність поглинати та розсіювати кінетичну енергію як вибухової хвилі, так і осколка.

#### *Протипожежна безпека та інженерний захист приміщень*

У приватному будинку ризики виникнення пожежі значно вищі, ніж у багатоквартирному, через наявність автономних систем опалення, складних газових мереж та частого використання дерев'яних конструкційних елементів. В умовах воєнного стану пожежна безпека ускладнюється можливістю займання від уламків або короткого замикання мереж внаслідок вибухів. Основою системи захисту є раннє виявлення загоряння та наявність засобів первинного пожежогасіння.

Фахівці рекомендують встановлювати комбіновані датчики, що реагують на дим, різке підвищення температури та наявність чадного газу (СО). Розміщення вогнегасників має бути стратегічним: обов'язково на кухні (зона підвищеного ризику), біля входу (для швидкого доступу при евакуації) та в кожній житловій кімнаті на видному місці. Для приватного сектора важливо також мати запас технічної води (від 100 літрів) та піску для гасіння електроприладів чи паливно-мастильних матеріалів.

#### *Рекомендації щодо розміщення сповіщувачів та засобів гасіння*

- **Датчики диму та СО:** Встановлюються у спальнях на рівні обличчя сплячої людини та в коридорах на висоті 0,5–1,5 метра від підлоги. Не слід монтувати їх у місцях зі швидкою циркуляцією повітря або безпосередньо над кухонною плитою (мінімальна відстань — 1 метр).
- **Вогнегасники:** Найбільш ефективними для побутового використання є порошкові та вуглекислотні моделі. Ідеальний варіант передбачає наявність хоча б одного пристрою на кожному поверсі будинку.

- **Вогнезахисна обробка:** Дерев'яні крокви та перекриття мають бути оброблені антипіренами. Якісні протипожежні двері на шляхах евакуації здатні стримувати поширення вогню до 30–60 хвилин.

Особливу небезпеку становить пічне опалення та використання «буржуйок» у непідготовлених приміщеннях. Основними причинами трагедій є наскрізні тріщини в цегляній кладці димоходів, через які чадний газ потрапляє до житлової зони, та перегрів стінок печі, що призводить до займання суміжних конструкцій. Профілактика включає очищення димоходів від сажі не рідше одного разу на три місяці та встановлення металевого листа розміром 0,5 × 0,7 метра перед топковим отвором для захисту підлоги від іскор.

#### *Енергетична автономність та стійкість інженерних мереж*

В умовах дефіциту централізованого енергопостачання приватний будинок має функціонувати як незалежна енергетична система. Вибір джерела живлення залежить від потреб мешканців та технічних характеристик обладнання. Найбільш критичним споживачем у зимовий період є опалювальний котел, який зазвичай потребує напруги з характеристикою «чиста синусоїда».

Більшість сучасних газових котлів чутливі до якості напруги. Циркуляційні насоси та електронні плати керування можуть некоректно працювати або вийти з ладу при використанні звичайних бензинових генераторів з високим рівнем гармонійних спотворень. В таких випадках ідеальним рішенням є інверторний генератор, який забезпечує якісний струм без перепадів, автоматично регулює оберти двигуна залежно від навантаження та має компактні розміри.

При експлуатації генераторів слід суворо дотримуватися правил безпеки: заборонено використовувати пристрої в закритих приміщеннях (навіть у гаражах з відкритими дверима) через ризик смертельного отруєння чадним газом. Ідеальний варіант — встановлення в окремому вуличному боксі з вентиляцією. Для тривалої автономності сонячні панелі є перспективним рішенням, проте вони потребують регулярного догляду, зокрема очищення поверхні від пилу та бруду

струменем води або м'якою мікрофіброю для збереження ККД.

Таблиця 4.3.

Порівняльна таблиця джерел резервного живлення

Тип пристрою	Потужність (типова)	Паливо / Джерело	Синусоїда	Переваги
Інверторний генератор	1,6 – 3,5 кВт	Бензин	Чиста	Тихий, економічний.
Бензиновий генератор	2,0 – 7,0 кВт	Бензин	Апроксимована	Доступна ціна, потужність.
Дизельний генератор	5,0 – 15,0 кВт	Дизель	Стабільна	Для великих навантажень.
Інвертор АКБ +	0,3 – 3,0 кВт	Акумулятор	Чиста	Безшумність, автозапуск.
Сонячні панелі	Залежить від площі	Сонце	Через інвертор	Економічність, екологічність.

#### *Забезпечення водними ресурсами та технології фільтрації*

Автономність водопостачання у приватному будинку базується на використанні свердловин або колодязів. Проте в умовах надзвичайних ситуацій, особливо при відключенні електроенергії або ризику хімічного чи бактеріологічного зараження ґрунтових вод, стандартні системи водопідготовки можуть виявитися неефективними.

Для отримання безпечної питної води необхідно застосовувати багатоступеневі схеми очищення. Першим етапом завжди є механічна фільтрація (сітчасті або дискові фільтри) для видалення піску та іржі.<sup>11</sup> Для дезінфекції в польових умовах найбільш надійним засобом є діоксид хлору у формі таблеток (наприклад, Dutrion). Одна таблетка масою 20 г здатна очистити до 500 літрів води невідомого походження, знищуючи до 99% бактерій та вірусів за 15 хвилин.

#### *Параметри мобільних систем очищення води*

Мобільні станції (типу ОАЗИС або АН модуль) дозволяють очищувати воду з відкритих водойм до санітарних норм. Такі системи можуть працювати як

від мережі 220 V, так і від автомобільного акумулятора 12 V, що критично при блекаутах. Технологія очищення включає дозування коагулянту, фільтрацію на вугільних картриджах та фінішне ультрафіолетове знезараження. Для приватних потреб часто достатньо переносного фільтра-кейса, який освоює до 5 літрів рідини за цикл для пиття або приготування їжі.

При загрозі повені чи підтоплення особливу увагу слід приділити кесонам свердловин. Труба свердловини має виступати всередині кесона на 50 см, а зовнішні стінки потребують гідроізоляції бітумною мастикою для запобігання потраплянню брудної поверхневої води у водоносний горизонт.

#### *Реагування на хімічні та радіаційні загрози*

Ризики аварій на промислових об'єктах або застосування засобів масового ураження вимагають від мешканців приватних будинків специфічних знань щодо герметизації житла та алгоритмів евакуації. Основним принципом захисту є створення ізольованого середовища всередині будинку. У разі хімічної небезпеки необхідно негайно зачинити вікна, двері, вентиляційні отвори та димоходи. Щілини заклеюються скотчем або папером, а входні двері завішуються вологою щільною тканиною.

Знання фізичних властивостей небезпечних речовин дозволяє правильно обрати місце укриття:

- **Хлор:** Важчий за повітря, накопичується в низинах. Необхідно пересуватися на підвищення (верхні поверхи чи горища).
- **Аміак:** Легший за повітря, піднімається вгору. Слід шукати укриття в низинних місцях, підвалах або цокольних поверхах.

Після виходу із зони зараження обов'язковою процедурою є дезактивація: зняття верхнього одягу (його слід залишити на вулиці), ретельне промивання очей та рота, прийняття душу з милом. Категорично заборонено вживати воду чи їжу, що знаходилися на відкритому повітрі під час викиду хімічних речовин.

#### *Побудова та зміцнення захисних споруд*

Для мешканців приватних садиб підвал або погреб є основним місцем укриття. Проте без належного інженерного зміцнення перебування в підвалі під будинком може бути небезпечним через ризик обвалу перекриттів. Якщо немає можливості побудувати окреме зовнішнє укриття, необхідно зміцнити існуюче приміщення за допомогою дерев'яних або металевих стійок.

При облаштуванні погребів своїми руками фахівці рекомендують виконувати стіни з невеликим нахилом для запобігання осипанню ґрунту. Перекриття найкраще робити з жердин, покритих глиносолом'яним змащенням, та засипати шаром землі завтовшки до 0,5–0,6 метра. Обов'язковою умовою є наявність вентиляції, яку слід розташовувати під стелею з можливістю швидкої герметизації. Навколо споруди має бути облаштована водовідвідна канава для захисту від атмосферних опадів.

#### *Логістика виживання: «екстрена валіза» та медикаменти*

Підготовка до надзвичайних ситуацій включає формування автономного набору речей, розрахованого на 3–5 діб незалежного існування або термінову евакуацію. Вага такого наплічника не має перевищувати 25 кг для дорослої людини, щоб забезпечити мобільність на великі відстані.

Основою «валізи» є документи (паспорти, акти на право власності, медичні картки) в оригіналах та копіях, запаковані у герметичні пакети. Готівку варто розділити на частини та зберігати в різних місцях валізи. Продуктовий набір має складатися з висококалорійних продуктів тривалого зберігання: консервів, субліматів, енергетичних батончиків та галет.

До складу також мають входити інструменти: мультитул (ніж, шило, викрутка), сірники та запальнички в декількох примірниках, ліхтарик із запасними батарейками та свисток для подачі сигналів у разі завалу.

Таблиця 4.4.

## Склад розширеної індивідуальної аптечки

Категорія	Препарати та засоби	Призначення
Антисептики	Перекис водню, йод, спиртові серветки	Обробка ран.
Знеболювальні	Парацетамол, Ібупрофен, Німесулід	Зняття болю, температури.
Абсорбенти	Активоване вугілля, Біле вугілля	При отруєннях.
Спазмолітики	Но-шпа, Спазмалгон	При гострих болях.
Перев'язка	Стерильні бинти, джгут-турнікет, лейкопластир	Зупинка кровотеч.
Побутова хімія	Мило, антисептик для рук, хлоргексидин	Гігієна в укритті.

*Алгоритми поведінки при стихійних лихах та у зоні бойових дій*

Безпека в приватному будинку також залежить від правильних дій під час природних катастроф, таких як землетруси, паводки чи грози. Під час грози категорично заборонено ховатися під окремими деревами або наближатися до ліній електропередач. У разі загрози повені необхідно заздалегідь підняти цінні речі на верхні поверхи, створити запас води на 2–3 доби та відкрити допоміжні люки для пропускання води, щоб знизити тиск на фундамент.

У зонах прямого воєнного зіткнення цивільним особам рекомендується уникати носіння військової форми або камуфляжу, не демонструвати зброю (навіть іграшкову) та не вступати в конфлікти з озброєними людьми. При попаданні в завал необхідно періодично подавати звукові сигнали, використовуючи металеві предмети чи свисток, та зберігати кисень, уникаючи зайвих рухів.

Комплексна безпека приватного будинку в сучасних реаліях базується на трьох стовпах: інженерна підготовка споруди (укриття, захист вікон), технологічна автономність (генератори, фільтрація води) та персональна готовність мешканців (знання алгоритмів, наявність тривожної валізи). Аналіз демонструє, що застарілі методи, такі як правило «двох стін», мають бути замінені на більш радикальні заходи захисту — використання підвалів із посиленням перекриттям та створення запасів ресурсів на випадок тривалої ізоляції. Тільки інтегрований підхід, де кожен елемент системи дублює інший, здатний забезпечити виживання та збереження майна в умовах непередбачуваних надзвичайних ситуацій.

#### **4.3 Висновки до розділу 4.**

У четвертому розділі магістерської роботи розглянуто комплекс питань охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях, пов'язаних з експлуатацією та впровадженням інженерних і автоматизованих систем у приватному житловому будинку. Проведений аналіз підтвердив, що дотримання вимог охорони праці під час виконання електромонтажних та супутніх робіт є обов'язковою передумовою безпечної реалізації проєкту та запобігання виробничому травматизму.

У межах розділу визначено основні небезпечні та шкідливі виробничі чинники, які можуть впливати на працівників під час виконання електромонтажних, оздоблювальних і налагоджувальних робіт. Систематизовано вимоги до допуску персоналу, рівня кваліфікації, проходження інструктажів і періодичної перевірки знань з охорони праці та електробезпеки. Обґрунтовано необхідність використання засобів індивідуального захисту, дотримання правил особистої гігієни та виконання регламентованих процедур до, під час і після завершення робіт.

Окрему увагу приділено заходам безпеки при роботі з електроінструментом, монтажі електричних і освітлювальних мереж, установці комутаційної апаратури, трансформаторів та вторинних кіл. Дотримання наведених вимог дозволяє мінімізувати ризики ураження електричним струмом, падіння з висоти, механічних травм, пожеж та вибухонебезпечних ситуацій, що є особливо актуальним під час виконання робіт підвищеної небезпеки.

У підрозділі, присвяченому безпеці в надзвичайних ситуаціях, проведено аналіз сучасних загроз для приватних житлових будинків в умовах воєнного стану та зростання техногенних і природних ризиків. Доведено обмежену ефективність традиційних підходів захисту та обґрунтовано доцільність переходу до комплексної моделі безпеки, що поєднує інженерне укріплення споруд, організацію укриттів, захист світлопрозорих конструкцій, протипожежні заходи та підготовку мешканців до автономного існування.

Розглянуті питання енергетичної, водної та логістичної автономності підтвердили важливість резервних джерел електроживлення, систем очищення води, протипожежного обладнання та формування індивідуальних аварійних наборів. Запропоновані рекомендації щодо реагування на хімічні, радіаційні та пожежні загрози, а також алгоритми поведінки при стихійних лихах і в зоні бойових дій сприяють підвищенню рівня особистої безпеки та зменшенню негативних наслідків надзвичайних ситуацій.

Таким чином, результати четвертого розділу підтверджують, що ефективне функціонування автоматизованих систем у приватному будинку неможливе без комплексного врахування вимог охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях. Інтеграція технічних, організаційних і поведінкових заходів безпеки забезпечує захист життя і здоров'я людей, збереження матеріальних цінностей та підвищує загальну стійкість житлового об'єкта в сучасних умовах.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

У магістерській роботі розв'язано актуальну науково-практичну задачу — розробку та обґрунтування принципів побудови автоматизованої системи керування мікрокліматом приватного будинку, яка забезпечує високий рівень енергоефективності, комфорту та безпеки мешканців в умовах сучасних викликів.

Основними результатами роботи є:

1. Проаналізовано стан проблеми контролю мікроклімату та встановлено, що будівлі є одними з найбільших споживачів енергії (до 40% світового споживання). Виявлено, що традиційні системи керування, які орієнтовані лише на температурний режим, не забезпечують оптимальної якості повітря та енергозбереження. Доведено необхідність впровадження комплексних інтегрованих систем, що базуються на технологіях IoT та враховують показники вологості й концентрації CO<sub>2</sub>.

2. Обґрунтовано структуру автоматизованої системи, яка включає мережу інтелектуальних датчиків, виконавчі пристрої та центральний контролер з адаптивними алгоритмами управління. Запропонований підхід дозволяє динамічно коригувати роботу систем опалення, вентиляції та кондиціонування залежно від присутності людей у приміщенні та зовнішніх кліматичних умов.

3. Досліджено питання енергоефективності та встановлено, що впровадження інтелектуального керування мікрокліматом у поєднанні з сучасними інженерними рішеннями дозволяє знизити енерговитрати житлового будинку на 15–25%. Це має критичне значення для сталого розвитку енергетичного сектору України та зменшення фінансового навантаження на власників домогосподарств.

4. Проведено аналіз аспектів охорони праці, що підтвердив безпечність запропонованих технічних рішень для користувачів та

обслуговуючого персоналу. Встановлено, що автоматизація рутинних процесів контролю середовища суттєво знижує ризик виникнення небезпечних ситуацій, пов'язаних з людським фактором.

5. Визначено заходи щодо захисту мешканців у надзвичайних ситуаціях. Розроблено рекомендації з інженерного укріплення споруд, захисту світлопрозорих конструкцій від вибухової хвилі та підготовки автономних укриттів. Описано протоколи дій при виникненні хімічних, радіаційних та пожежних загроз, що інтегровані в загальну концепцію «безпечного розумного будинку».

Результати роботи мають практичну цінність і можуть бути використані проектними організаціями та приватними особами при будівництві або реновації житла для створення енергоефективного та безпечного життєвого простору. Запропоновані рішення відповідають сучасним вимогам автономності та стійкості житлового сектору в кризових умовах.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Daurenbayeva, N., Nurlanuly, A., Atymtayeva, L., Mendes, M. Survey of Applications of Machine Learning for Fault Detection, Diagnosis and Prediction in Microclimate Control Systems. *Energies*. 2023, Vol.16, No.8. P. 21. DOI: <https://doi.org/10.3390/en16083508>.
2. A Machine Learning Approach to Microclimate Monitoring and Fault Detection. *Applied Mathematics & Information Sciences*. 2025. Т. 19, № 2. С. 327–334. DOI: <https://doi.org/10.18576/amis/190209>.
3. Review of Fault Detection and Diagnosis Methods in Power Plants: Algorithms, Architectures, and Trends / С. А. Maican та ін. *Applied Sciences*. 2025. Т. 15, № 11. С. 6334. DOI: <https://doi.org/10.3390/app15116334>.
4. Fault Detection in Industrial Equipment through Analysis of Time Series Stationarity / D. Falcão та ін. *Algorithms*. 2024. Т. 17, № 10. С. 455. DOI: <https://doi.org/10.3390/a17100455>.
5. Survey of Applications of Machine Learning for Fault Detection, Diagnosis and Prediction in Microclimate Control Systems / N. Daurenbayeva та ін. *Energies*. 2023. Т. 16, № 8. С. 3508. DOI: <https://doi.org/10.3390/en16083508>.
6. Rosato A., Piscitelli M. S., Capozzoli A. Data-Driven Fault Detection and Diagnosis: Research and Applications for HVAC Systems in Buildings. *Energies*. 2023. Т. 16, № 2. С. 854. DOI: <https://doi.org/10.3390/en16020854>.
7. Опалення теплою підлогою - чи можна використовувати як основну систему обігріву. URL: <https://alterair.ua/otoplenie/teplyu-pol-pod-laminat-ili-plitku/> (дата звернення: 21.11.2025).
8. Тепла підлога: Досвід використання, переваги та недоліки. *DecorMDI*. URL: <https://decormdi.com.ua/tepla-pidloha-dosvid-vykorystannia-perevahy-ta-nedoliky> (дата звернення: 19.11.2025).

9. Міркування про те, чи шкідлива тепла підлога для здоров'я. *Лабораторія тепла*. URL: <https://teplolab.kiev.ua/ua/rassuzhdeniya-o-tom-vreden-li-terpyu-pol-dlya-zdorovya/> (дата звернення: 21.11.2025).

10. Електрокарнизи для штор, автоматичні карнизи на пульті. *Сайт компанії «Захід-Пласт»*. URL: <http://zp-if.com.ua/index.php?type=stat&a=32> (дата звернення: 21.11.2025).

11. Керовані карнизи з приводом та дистанційним керуванням, електрокарнизи, розумні автоматичні карнизи. URL: <https://markizalux.com.ua/tekstilnyj-i-okonnyj-dizajn/karnizy-i-aksessuary/avtomaticheskie-karnizy.html> (дата звернення: 21.11.2025).

12. Автоматизація систем вентиляції та кондиціонування повітря. URL: <https://termocom.com.ua/ua/avtomatizacija-sistem-ventiljacii-ta-kondicionuvannja-povitrja/> (дата звернення: 17.11.2025).

13. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування URL: <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-1018> (дата звернення: 17.11.2025).

14. Як працює система димовидалення. URL: <https://brandmauer.com.ua/blog/yak-pratsiuie-systema-dymovudalennia/> (дата звернення: 19.11.2025).

15. Advanced IoT Based Smart Home Automation using Arduino. URL: <https://xilirprojects.com/product/advanced-iot-based-smart-home-automation-using-arduino/> (дата звернення: 19.11.2025).

16. Smart Weather Station with ESP8266, BMP180, DHT11, and MQ135 Sensors – Local SD Card Storage and Web-Based Monitoring. *Arduino Project Hub*. URL: <https://projecthub.arduino.cc/ballieducation/smart-weather-station-with-esp8266-bmp180-dht11-and-mq135-sensors-local-sd-card-storage-and-web-based-monitoring-cfe75d> (дата звернення: 21.11.2025).

17. What Is Smart Home Automation - and Why It Matters for Security | Smart Shield Systems. *Smart Shield Systems*. URL:

<https://www.smartshieldsystems.com/blog/what-is-smart-home-automation> (дата звернення: 21.11.2025).

18. Improve Indoor Air Quality: Why Every Home Needs a CO2 Monitor. *CO2 Meter*. URL: <https://www.co2meter.com/blogs/news/high-carbon-dioxide-co2-levels-indoors> (дата звернення: 21.11.2025).

19. Carbon Dioxide Levels Chart. *CO2 Meter*. URL: <https://www.co2meter.com/blogs/news/carbon-dioxide-indoor-levels-chart> (дата звернення: 21.11.2025).

20. Arduino DS3231 Real Time Clock (RTC): Time and Alarms | Random Nerd Tutorials. *Random Nerd Tutorials*. URL: <https://randomnerdtutorials.com/arduino-ds3231-real-time-clock/> (дата звернення: 21.11.2025).

21. Smart Home Dashboards | Best Smart Display Devices Guide | CEDIA. *CEDIA - The Association for Smart Home Professionals*. URL: <https://cedia.org/homeowners/knowledge/creating-a-central-smart-home-dashboard-with-smart-displays/> (дата звернення: 21.11.2025).

22. Arduino - Revolution of hardware opensource - Woodpecker. *Woodpecker*. URL: <https://woodpeck.org/arduino-revolution-of-hardware-opensource/> (дата звернення: 21.11.2025).

23. Brief History of Open Source Hardware Organizations and Definitions. *OSHWA*. URL: <https://oshwa.org/resources/brief-history-of-open-source-hardware-organizations-and-definitions/> (дата звернення: 21.11.2025).

24. Interview with Massimo Banzi, co-founder of Arduino – Open-Electronics. *Open-Electronics – Open source electronic projects*. URL: <https://www.open-electronics.org/interview-with-massimo-banzi-co-founder-of-arduino/> (дата звернення: 21.11.2025).

25. ATmega328P Microcontroller: A Powerful Microcontroller. *Genuine and Original Electronic Components In Stock - Blikai*. URL:

<https://www.blikai.com/blog/featured-products/atmega328p-microcontroller-a-powerful-microcontroller> (дата звернення: 21.11.2025).

26. Knowledge T. E. Types of Arduino Boards: Comparison of Specification and Features. *PCB Prototype & Fabrication Manufacturer - NEXTPCB*. URL: <https://www.nextpcb.com/blog/types-of-arduino-boards-comparison-of-specification-and-features> (дата звернення: 21.11.2025).

27. DHT11 & DHT22 Sensors Temperature and Humidity Tutorial using Arduino. *Energia Zero*. URL: [https://energiazero.org/cartelle/arduino\\_sensori\\_umidita/DHT11-22%20arduini%20sensor.pdf](https://energiazero.org/cartelle/arduino_sensori_umidita/DHT11-22%20arduini%20sensor.pdf) (дата звернення: 21.11.2025).

28. DHT11 vs DHT22 – Which Temperature and Humidity Sensor Should You Use? - Latest News from Seeed Studio. *Latest News from Seeed Studio*. URL: <https://www.seeedstudio.com/blog/2020/04/20/dht11-vs-dht22-am2302-which-temperature-humidity-sensor-should-you-use/> (дата звернення: 21.11.2025).

29. DHT11 vs DHT22 – Which Temperature and Humidity Sensor Should You Use? - Latest News from Seeed Studio. *Latest News from Seeed Studio*. URL: <https://www.seeedstudio.com/blog/2020/04/20/dht11-vs-dht22-am2302-which-temperature-humidity-sensor-should-you-use/> (дата звернення: 21.11.2025).

30. How to Interface DHT11 and DHT22 Sensors with Arduino Uno. *Play with Circuit*. URL: <https://playwithcircuit.com/how-to-interface-dht11-and-dht22-sensors-with-arduino-uno/> (дата звернення: 21.11.2025).

31. Smart Air Quality Devices: Market Insight | Intretech. *Intretech*. URL: <https://intretech.com/news/why-air-quality-devices-are-the-fastest-growing-smart-home-category/> (дата звернення: 21.11.2025).

32. Indoor Air Quality Monitor Market Size & Growth Driver, 2032. *SNS Insider / Actionable Market Insights And Research Reports*. URL: <https://www.snsinsider.com/reports/indoor-air-quality-monitor-market-6206> (дата звернення: 21.11.2025).

33. Comparison Of The Main Advantages And Disadvantages Of Common Gas Detection Technologies. *MFrontier-MEMS sensor, infrared thermopile sensor, infrared pyroelectric sensor, infrared thermopile array sensor, temperature sensor, gas sensor, PM sensor, pressure sensor, infrared filter.* URL: <https://www.memsf.com/chanpinredian/67> (дата звернення: 21.11.2025).

34. Gas Sensors: Varieties, Operating Mechanisms, and Uses. Best Weather Station Manufacturer | Coda Sensors. URL: <https://www.codasensor.com/types-of-gas-sensors.html> (дата звернення: 21.11.2025).

35. MQ-7 Carbon Monoxide Sensor: Datasheet, Pinout & Working - The Engineering Projects. *The Engineering Projects.* URL: <https://www.theengineeringprojects.com/2024/02/mq-7-carbon-monoxide-sensor-datasheet-pinout-working.html> (дата звернення: 21.11.2025).

36. An article enables you to master all models of mq sensors proficiently – Easyelecmodule. *easyelecmodule.* URL: <https://easyelecmodule.com/an-article-enables-you-to-master-all-models-of-mq-sensors-proficiently/> (дата звернення: 21.11.2025).

37. MQ-7 Semiconductor Sensor for Carbon Monoxide. URL: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-7%20Ver1.3%20-%20Manual.pdf> (дата звернення: 21.11.2025).

38. Understanding Relay Modules: Types, Functions, and Its Working - LKE Smartshop. *Lauritz Knudsen Electrical & Automation.* URL: <https://smartshop.lk-ea.com/blog-articles/post/understanding-relay-modules-types-functions-working.html> (дата звернення: 21.11.2025).

39. 1-Channel 5V Optical Isolated Relay Module. *HandsOn Tech – Open Source Electronics Platform.* URL: <https://handsontec.com/dataspecs/module/Relay%20Module/1Ch-relay%20Opto.pdf> (дата звернення: 21.11.2025).

40. 18 Series Microcontroller - Chapter 6 - Character LCD. *Welcome to Ed's Projects!*. URL: <http://www.edproject.co.uk/18Series6.html> (дата звернення: 21.11.2025).
41. HD44780U (LCD-II). URL: <https://cdn.sparkfun.com/assets/9/5/f/7/b/HD44780.pdf> (дата звернення: 21.11.2025).
42. Ward I. LCD2004 20×4 LCD Character Display with HD44780 Tutorial. *excess.org*. URL: <https://excess.org/lcd2004-tutorial/> (дата звернення: 21.11.2025).
43. Arduino IDE. *Arduino - Home*. URL: <https://www.arduino.cc/en/software/> (дата звернення: 21.11.2025).
44. Fritzing Blog. *Fritzing Blog*. URL: <https://blog.fritzing.org/> (дата звернення: 21.11.2025).
45. Голінько В.І. Основи охорони праці: підручник. М-во освіти і науки України. Нац. гірн. ун-т. 2-ге вид. Д.: НГУ, 2014. 271 с
46. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 № 2694-XII : станом на 12 верес. 2025 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text> (дата звернення: 18.11.2025).
47. Пожарова О. В. Охорона праці: навчальний посібник/ Одеса, 2022. 86 с. URL: <https://doi.org/10.32837/11300.18442>
48. Охорона праці та цивільний захист: підручник / За ред. О. Г. Левченка. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, «Основа», 2019. 472 с.
49. Поради ДСНС для населення під час військової агресії. *Обухівська міська рада*. URL: <https://obcity.gov.ua/2022/03/17/poradi-dsns-dlya-naselennya-pid-chas-viyskovoї-agresii/> (дата звернення: 21.11.2025).
50. Шаранова Ю.Г., Фролов О.В. Рекомендації щодо дій населення у разі виникнення надзвичайних ситуацій/ Дніпро, 2023. 48 с. URL: <https://nmc.dsns.gov.ua/upload/6/0/9/9/1/posibnik-rekomendaciyi-shhodo-dii-naselennia-2.pdf> (дата звернення: 21.11.2025).

