

Хмельницький національний університет

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

Розробка системи для підтримання мікроклімату у приміщенні на основі Arduino

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»
Шифр, назва
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Шифр, назва
Освітня програма «Електропобутова техніка»

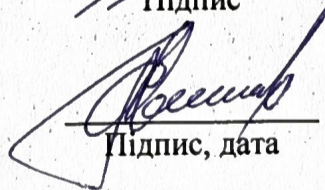
Шифр МРМА 25.00.00.000 ПЗ

Виконав студент 2 курсу
група ЕТмз-24-1


Підпис

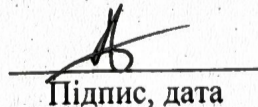
М. О. Яворський
Ініціали, прізвище

Керівник


Підпис, дата

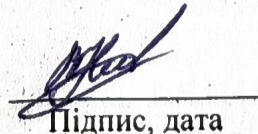
С. Л. Горященко
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер


Підпис, дата

С. І. Тимощук
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:


Підпис, дата

В. С. Неймак
Ініціали, прізвище

Зав. кафедри МАЕЕС

10 12 2025 р.

Хмельницький 2025

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ФІІІА

Кафедра МАЕЕС

Освітній рівень Магістр

Галузь знань Електрична інженерія

Шифр і назва

Спеціальність 141, Електроенергетика, електротехніка

Шифр і назва

та електромеханіка

Спеціалізація _____

Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС

к.т.н., доц. Веймар В. С.

10.12.2025

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Розробка системи для підтримання мікроклимату у приміщенні на основі Arduino

керівник роботи Торачук Сергій Леонідович, к.т.н.
Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від _____ 202__ р. № _____

2. Строк подання студентом роботи на кафедру _____

3. Вихідні дані до роботи Група системи 5В, потужність двигуна до 500 Ват, температура в приміщенні 20С

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Вступ, Аналіз існуючих систем кліматизації приміщень, Розробка конструкції кліматизації системи, Розробка прототипу системи кліматизації, Висновки, додатки.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)
МРМА 25.00.00.000 Д0, МРМА 25.00.00.000 Д11, МРМА 25.00.00.000 Д12, МРМА 25.00.00.000 Д13, МРМА 25.00.00.000 РР, МРМА 25.00.00.000 Д14.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв


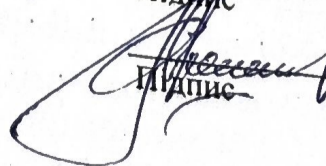
7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1 Вступ		
2 Аналіз існуючих систем		
3 Розробка конструкції ...систем		
4. Розробка прототипу системи		
5. Висновки		
6. Оформлення графічного матеріалу.		

Студент

Керівник роботи


Підпис

Підпис

М.О. Яворський
Ініціали, прізвище

С.А. Горюченко
Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

до магістерської роботи студента
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

1. Прізвище, ім'я та по батькові Яворський Іван Олександрович
2. Тема магістерської роботи Розробка системи для підтримання мікроклімату у приміщенні на основі Arduino
3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента _____
4. Об'єм магістерської роботи: креслень 6 арк., сторінок записки 72
5. Основні розділи розрахунково-пояснювальної записки: _____

Вступ

Аналіз існуючих систем кліматизації приміщень

Розробка конструкції кліматичної системи

Розробка прототипу системи кліматизації повітря

Висновки

Перелік джерел пошуків

Додатки

Підпис студента 

" 10 " 12 20 25 р.

РІШЕННЯ ЕК:

Протокол 2 від " 23 " 12 20 25 р.

Оцінка проекту ЕК серед 10 / 78

Рекомендації ЕК -

Особливі відмітки -

Технічний секретар Берез А.В. 

" 23 " 12 20 25 р.

ЗМІСТ

	с.
Вступ.....	5
1 Аналіз існуючих систем кліматизації приміщень.....	7
1.1 Огляд дахових кондиціонерів.....	7
1.2 Огляд систем кліматизації.....	11
1.3 Аналіз елементів системи кліматизації.....	15
1.4 Аналіз схеми керування.....	17
Висновки до першого розділу.....	20
2. Розробка конструкції кліматичної системи.....	21
2.1 Розробка конструкції системи подачі повітря до приміщення.....	21
2.2 Розрахунок і підбір елементів системи	24
2.3 Обробка свіжого повітря в приміщенні.....	31
2.4 Розробка системи керування мікрокліматом.....	32
2.5 Розробка електричної схеми системи.....	39
2.6 Аналіз розрахунків заданої конструкції терморегулятора на основі терморезистора	42
2.7 Розробка ПД регулювання	47
2.8 Моделювання руху повітря.....	50
Висновки до другого розділу	54
3 Розробка прототипу системи кліматизації повітря.....	56
3.1 Вибір апаратної частини.....	56
3.2 Вибір середовища для програмування Arduino.....	56
3.3 Розробка програмного коду.....	61
Висновки до третього розділу.....	62
ВИСНОВКИ.....	63

МРМА 25.00.00.000 ПЗ										
Зм.	Арк.	№ док.чм.	Підпис	Дата	Розробка системи для підтримання мікроклімату у приміщенні на основі Arduino			Літера	Арк.чм	Арк.чшв
Виконав		Яворський М						д	з	71
Перевір.		Горященко			ХНУ зр. ЕТМЗ-24-1					
Н.контр.										
Затвер.		Неймак В.С.								

ВСТУП

У сучасних умовах розвитку набули особливої значущості питання кліматизації в умовах кліматичних змін, які стають усе помітнішими через збільшення амплітуд добових і сезонних коливань температури навколишнього середовища. У багатьох регіонах простежується тенденція до холодніших зимових періодів, а також екстремально високих температур улітку. У таких обставинах традиційні системи опалення та кондиціонування, спроектовані під сталий кліматичний режим, часто виявляються малоефективними або економічно недоцільними. Одним із ключових викликів сучасних HVAC-систем є відсутність узгодженості між проєктними умовами роботи та реальними експлуатаційними обставинами. Більшість побутових і навіть промислових систем кліматизації функціонують на основі простих алгоритмів управління, які ігнорують динамічну природу теплових процесів у приміщеннях. Такі системи не враховують інерційність будівельних конструкцій, зміни теплових втрат чи надходжень. У результаті це призводить до підвищеного енергоспоживання, зношення обладнання та погіршення умов комфорту для користувачів.

На сьогодні існує широкий вибір технічних рішень для забезпечення теплового комфорту: водяні чи електричні системи опалення, теплові насоси, різнотипні кондиціонери, а також комбіновані системи HVAC. Попри це, більшість із них проєктується без достатнього врахування нестационарних теплових процесів, що обмежує їхню ефективність. Традиційні методики теплотехнічних розрахунків базуються на стаціонарних моделях, які мають на меті забезпечити рівновагу між джерелами тепла та тепловими втратами. Хоча ця методика підходить для базового проєктування, вона не може адекватно описати перехідні періоди: запуск системи, різкі зміни зовнішньої температури, коливання теплового навантаження або коригування режиму роботи обладнання. У реальних умовах температура в приміщенні постійно змінюється під впливом численних факторів: теплоємності повітря, теплофізичних властивостей

									Арк.
									5
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ				

огороджувальних конструкцій, втрат через стіни, підлогу чи дах, інфільтрації повітря і режимів роботи джерел тепла чи холоду. Нехтування цими аспектами в математичних моделях суттєво знижує точність прогнозування температурного режиму. Сучасні тенденції розвитку інженерних систем демонструють необхідність переходу від жорстких алгоритмів управління до адаптивних та інтелектуальних систем. Такі рішення здатні автоматично підлаштовуватися до змін умов експлуатації. Адаптивні HVAC-системи базуються на математичних моделях, що динамічно оновлюються в реальному часі з урахуванням вимірюваних параметрів.

Застосування адаптивних методів керування дозволяє:

- зменшити енергоспоживання;
- підвищити точність підтримання заданої температури;
- компенсувати невизначеності, пов'язані зі змінами теплофізичних параметрів;
- забезпечити стабільну роботу системи в широкому діапазоні зовнішніх умов.

Всесезонні HVAC-системи повинні враховувати такі ключові аспекти:

- зміну напрямку теплового потоку (нагрівання чи охолодження);
- обмеження потужності обладнання;
- уникнення одночасної роботи пристроїв нагрівання та охолодження;
- змінні тарифи на електроенергію;
- теплову інерцію будівель.

Ігнорування цих факторів спричиняє нераціональне використання енергоресурсів і зниження ефективності кліматичних систем. Таким чином, важливість цього дослідження визначається потребою у створенні фізично обґрунтованих математичних моделей HVAC-систем, розробці адаптивних алгоритмів регулювання температурного режиму приміщень, а також забезпеченні стабільного теплового комфорту в умовах мінливого клімату.

									Арк.
									6
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	MPMA 25.00.00.000 ПЗ				

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ КЛІМАТИЗАЦІЇ ПРИМІЩЕНЬ

1.1 Огляд дахових кондиціонерів

Даховий кондиціонер розроблений як універсальне рішення та додатково корисний для консолідації простору. Пакетні системи популярні в регіонах, де будівництво віддає перевагу системі з однією шафою, а не спліт-системі, яка має як зовнішній, так і внутрішній блоки. Як правило, пакетні системи встановлюються зовні на рівні землі. У деяких випадках їх також можна встановити на даху для горизонтального або низхідного конструктивного виконання. На відміну від спліт-систем, у пакетній системі більшість компонентів знаходяться в одній шафі. Незалежно від того, чи шукаєте ви лише охолодження, тип теплового насоса чи тип рекуперації тепла, у нас є правильний вибір для вас.

Щодо методів нагріву дахових кондиціонерів, може використовуватись тепловий насос, електричний нагрів, паровий нагрів та нагрів гарячої води. Щодо методів зволоження, може використовуватись електродне зволоження, зволоження сухою парою, електротермічне зволоження, змочування мікротуманом високого тиску та вологе мембранне зволоження. Можна збільшити середній перетин потоку, секцію фільтра середнього ефекту, секцію шумозаглушення та секцію виходу повітря.

Приклади дахових систем показано на МРМП 25.00.000.00 ДО та на рис.1.1- по 1.18 [1, 2].

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		7



Рисунок 1.1 - SLRC Дахова вентиляція Tons AC



Рисунок 1.2 - Дахова вентиляція AC Unit



Рисунок 1.3 - Дахова вентиляція з кондиціонером



Рисунок 1.4 - Комерційна дахова вентиляція Air Conditioning Units

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.

8



Рисунок 1.5 - Резиденсна дахова вентиляція



Рисунок 1.6 - Дахова вентиляція текстильної фабрики



Рисунок 1.7 - Дахова вентиляція з вітряковою системою



Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.

9

Рисунок 1.8 - Дахова вентиляція Hvac Units



Рисунок 1.9 - Дахова вентиляція Heat Pump

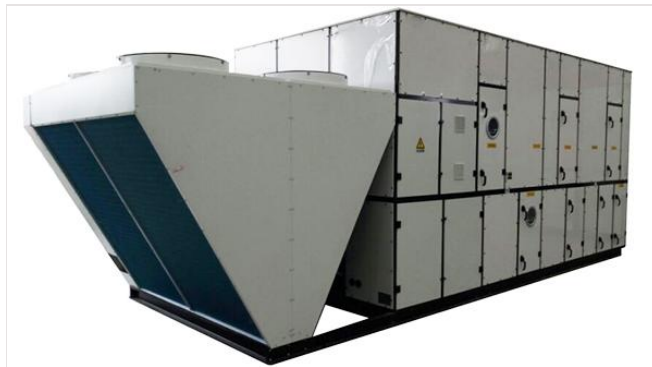


Рисунок 1.10 - Дахова вентиляція з рекуператором

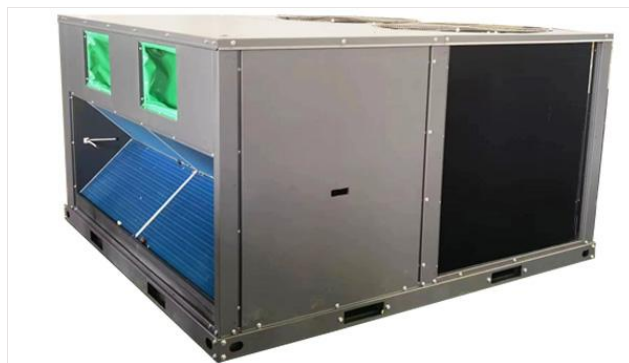


Рисунок 1.11 - Дахова вентиляція з кондиціонером



Рисунок 1.12 - Commercial Makeup дахова вентиляція t

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.

10



Рисунок 1.13 - Tent Package Type AC/Shenglin Event Air Conditioning



Рисунок 1.14 - Виставковий Tent Portable кондиціонер



Рисунок 1.15 - Дахова вентиляція теплового насосу



Рисунок 1.16 - Дахова вентиляція з системою гарячого водопостачання

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 25.00.00.000 ПЗ

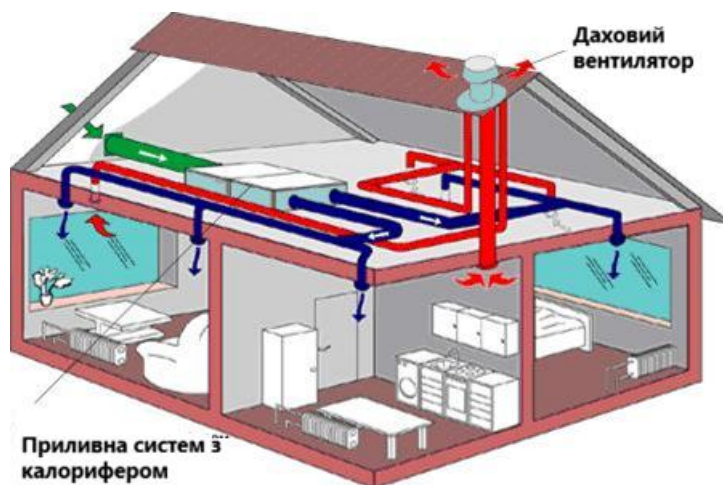
Арк.

11

1.2 Огляд систем кліматизації

Комплексна автоматизація та диспетчеризація житлових будинків уже не є чимось недосяжним та надтехнологічним у піднесенні рівня комфорту, безпеки, ефективності функціонування систем будівель.

На рис. 1.17 представлена схема механічної вентиляції житлових приміщень котеджу. Припливна вентиляційна установка забезпечує оптимальні метеорологічні умови та відповідає санітарним нормам повітря, установленим СНіП. До складу припливної установки входять такі компоненти: - клапан з електричним приводом для регулювання подачі повітря; - фільтр для очищення повітря від пилу та інших забруднень; - електричний або водяний калорифер, який забезпечує підігрів повітря в зимовий період; - вентилятор для циркуляції повітря; - автоматизована система управління з пультом керування. Усі ці елементи інтегровані в єдиний металевий звукоізолюваний корпус. Така компактна конструкція дозволяє розташовувати установку в зоні підвісної стелі у приміщенні, яке обслуговується. У цьому випадку розглядається варіант розміщення установки на технічному поверсі. Підготовлене повітря надходить у приміщення через мережу повітропроводів і розподіляється за допомогою стельових плафонів з регуляторами потоку повітря. Для організації витяжної вентиляції використовується даховий вентилятор.



Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.

12

Рисунок 1.17 - Система вентиляції будинку на базі припливної установки та витяжного дахового вентилятора

На рисунку 1.18 зображено систему кондиюнування магазину з використанням спліт-системи з припливною вентиляцією. Зовнішній блок, що містить компресор та конденсатор, встановлюється на фасаді будівлі або в технічному приміщенні, якщо він оснащений відцентровим вентилятором. Внутрішній блок, що включає фільтр, вентилятор, фреоновий охолоджувач, електронну панель управління та повітрянагрівач, монтується в приміщенні за підвісною стелею. Свіже повітря забирається ззовні та подається через термоізовований повітропровід до змішувальної камери, де змішується з рециркуляційним повітрям із приміщення. Далі отримана суміш проходить через фільтрацію в внутрішньому блоці і обробляється відповідно до вибраного режиму (охолодження чи нагрівання). Після цього оброблене повітря потрапляє в обслуговувані приміщення через систему повітроводів і розподільні решітки. Дизайн інтер'єру залишається незмінним завдяки монтажу всього обладнання за підвісною стелею, а в самому приміщенні видно лише акуратні декоративні решітки для розподілу повітря. Внутрішній і зовнішній блоки з'єднані між собою ізольованим фреоновим трубопроводом. Спліт-система з припливною вентиляцією, оснащена електронною системою керування, дозволяє підтримувати оптимальні параметри мікроклімату у будь-який сезон.

									Арк.
									13
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ				

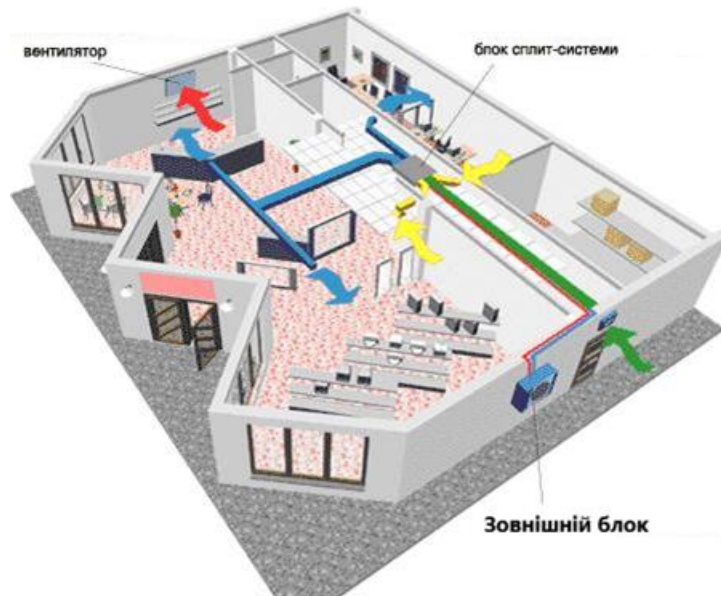


Рисунок 1.18 - Система з припливною вентиляцією бази спліт

У літню пору повітропровід охолоджується, що дозволяє підтримувати в приміщенні задану температуру. У міжсезоння, восени та навесні, кондиціонер переходить у режим теплового насоса, ефективно нагріваючи повітропровід без запуску калорифера. У випадку, коли температура зовнішнього повітря опускається нижче 0°C, автоматично активується додатковий калорифер. Електронний модуль управління калорифером забезпечує плавне регулювання його потужності залежно від температури зовнішнього середовища, що мінімізує споживання електроенергії. Для підтримання повітряного балансу у приміщеннях магазину передбачено витяжну вентиляцію з каналним вентилятором. Система VRF із використанням кліматизатора типу "спліт-установка з припливом повітря" і природною вентиляцією також може застосовуватися у приватних будинках. Цей вид кліматизатора оснащений внутрішнім (випарним) і зовнішнім (компресорно-конденсаторним) модулями. У наведеному прикладі використовується компресорно-конденсаторний модуль, обладнаний відцентровим вентилятором. Він встановлений на технічному поверсі, і для його роботи повітря постачається ззовні.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.

14

Як правило, треба керувати нагріванням для зростання температури у приміщенні та тримання її у заданих рамках згідно з тижневим розкладом, введеним користувачем. Для цього застосовується терморегулятор. У щоденному житті терморегулятори трапляються майже у всіх приладах, де так чи інакше потрібно регулювати чи підтримувати тепло у заданих межах.

Найбільш звичні три види терморегуляторів:

- електронні;
- електромеханічні;
- механічні.

Механічні терморегулятори, мабуть, один із найпоширеніших. Те, що можна побачити у повсякденному житті – це регулятори тепла у системах опалення. Зовні вони схожі на прості запірні крани.

Електромеханічні терморегулятори за будовою, мабуть, найбільш прості. Існує багато типів електромеханічних реле. Оглянемо найбільш звичні:

1) терморегулятори, які можна знайти у прасках, електричних плитах, різних обігрівачах зроблені досить просто та надійно та складаються з біметалічної пластини та контактної групи;

2) інший тип електромеханічних терморегуляторів базується трохи на іншому принципі. В основу роботи даних реле покладено властивість розширення матеріалів при впливі на них температур.

Електронні терморегулятори конструктивно складаються з трьох головних частин - датчика температури, апарату обробки сигналу - процесора та керуючої, комутуючої частини - реле або електронних ключів.

Основна перевага електронних терморегуляторів – точність регулювання встановленої температури, легкість монтажу та керування, надійність. Багато зразків терморегуляторів дозволяють програмувати не лише температуру, а й час увімкнення – вимкнення навантаження, що дозволяє значно зберігати кошти, а також підтримувати температуру у досить точному інтервалі.

									Арк.	
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	MPMA 25.00.00.000 ПЗ					16

Виходячи з вищевказаних міркувань, обираємо електронний терморегулятор.

Цей терморегулятор складається з нижченаведених блоків:

- мікроконтролера;
- панелі керування;
- Датчика температури;
- Блок живлення;
- індикатор увімкнення навантаження;
- звукового сповіщувача натиснутої кнопки;
- рідкокристалічного дисплея;
- Апарату управління навантаженням.

Мікроконтролер - це мікросхема, яка призначена для керування електронними компонентами. Типовий мікроконтролер поєднує функції процесора і периферійних апаратів, і, по суті, є «однокристальний комп'ютер», здатний виконати нескладні завдання. За допомогою нього ведеться керування навантаженням відповідно до закладеної програми даних з датчика температури і даних, введених користувачем.

Панель керування потрібна для взаємодії людини та мікроконтролера. За допомогою неї відбувається введення інформації в мікроконтролер та увімкнення підсвічування дисплея.

Щоб мікроконтролер регулював тепло в необхідному проміжку, відповідно до температури у приміщенні застосовуємо температурний датчик.

Блок живлення призначений для перетворення змінної напруги на постійну з потрібними потенціалами для живлення усіх вузлів приладу. Він повинен забезпечувати задану стабільність напруги та величину струму. Для живлення схеми потрібна напруга 5В.

Для індикації стану апарату керування служить індикатор увімкненого навантаження.

										Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ					17

Натискання кнопок панелі керування супроводжується звуковим сигналом, що формується звуковим сповіщувачем натиснутої кнопки.

Рідкокристалічний дисплей – апарат перетворення сигнал-світло. Він необхідний для індикації режимів роботи та налаштувань терморегулятора.

Апарат управління навантаженням здійснює комутацію навантаження (тіни) та створює гальванічну розв'язку для ланцюгів живлення терморегулятора та навантаження.

1.4 Аналіз схеми керування

Аналіз роботи систем, які забезпечують необхідний мікроклімат у приміщеннях цивільних будівель, дозволив визначити основні параметри, що його описують, технічні рішення для їх забезпечення та нормативні документи, які регламентують ці вимоги. До параметрів, що характеризують тепловий баланс у будівлях, віднесені санітарно-гігієнічні показники, експлуатаційні особливості, а також внутрішні й зовнішні впливи. Санітарно-гігієнічні показники мають рекомендовані обмеження, визначені для оптимальних та допустимих умов відповідно до нормативів. Наприклад, у холодний період року для легкої роботи оптимальними вважаються температура повітря в межах 22–24 °С, відносна вологість 60–40% та швидкість руху повітря 0,1 м/с. Допустимі умови передбачають температурний діапазон: на постійних робочих місцях – 21–25 °С, на непостійних – 18–26 °С; відносну вологість до 75% і швидкість руху повітря до 0,1 м/с. До експлуатаційних параметрів входять характеристики огорожувальних конструкцій, температури на їхніх поверхнях і значення енергоефективності інженерних систем [9]. Наприклад:

- приведений термічний опір $R_{\Sigma пр}$ повинен бути не меншим за мінімально допустиме значення;

- різниця між температурою внутрішнього повітря та температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції (Δt_{st});

									Арк.	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ					18

- мінімальна температура внутрішньої поверхні огороження в зонах теплопровідних включень (t_{vmin});
- питомі тепловитрати на опалення (q_b), які не можуть перевищувати максимально допустимі значення за опалювальний період (E_{max}).

Нормативи цих параметрів описані у стандартних документах. Наприклад, для навчального закладу в першій температурній зоні мінімальний термічний опір огорожувальних конструкцій становить $3,3 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ для зовнішніх стін, $0,75 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ для світлопрозорих конструкцій та $0,44 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ для вхідних дверей. Різниця температур між внутрішнім повітрям і поверхнями огорожень не повинна перевищувати $5 \text{ }^\circ\text{C}$, а тепловитрати E_{max} — не більше $31 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^3$. До зовнішніх впливів належать фактори, такі як сонячна радіація і температура зовнішнього середовища [9].

Внутрішні збурення можуть включати тепловиділення від людей, побутової техніки, освітлення та особливості використання приміщення. Наприклад, теплонадходження від освітлення залежить від типу ламп, їхньої потужності та кількості, а техніка може створювати до $10 \text{ Вт}/\text{м}^2$ теплового навантаження. Внесок людського організму у формування теплового клімату залежить від активності й вимірюється індексами «met». Один met еквівалентний енергії, яку виділяє людина в стані спокою — це приблизно 58 Вт на квадратний метр площі її тіла. Для чоловіків середня площа становить $1,9 \text{ м}^2$, для жінок — $1,6 \text{ м}^2$. Наприклад, сидяча робота відповідає показникам $1,2$ – $1,4 \text{ met}$; стояння — $1,2 \text{ met}$; повільна хода зі швидкістю $1 \text{ м}/\text{с}$ — 2 met . Взаємозв'язок між тепловими витратами людини та ергономічністю теплового середовища регламентований стандартами. Зокрема, він визначається через показники PMV (прогнозована середня оцінка) і PPD (прогнозований коефіцієнт невдоволення). PMV відображає загальне сприйняття температури велики

Прогнозована середня оцінка PMV визначає середнє значення сприйняття температурного комфорту великою групою людей у приміщенні за семибальною шкалою (від -3 , що відповідає відчуттю "холодно", до $+3$, що означає "жарко").

Показник PPD, у свою чергу, оцінює ймовірність незадоволення термальним середовищем у схожих умовах, визначаючи середню реакцію групи людей на мікроклімат. Залежність між цими показниками ґрунтується на методиці розрахунку енергоспоживання для систем опалення, охолодження, вентиляції, гарячого водопостачання та освітлення. Ця залежність враховується у рівнянні теплового балансу [6]. Як показує аналіз у джерелі [9], комбінування різноманітних технічних рішень дозволяє досягати встановлених нормами параметрів теплового комфорту в муніципальних будівлях. При цьому забезпечується раціональне використання енергоресурсів. Автоматизовану систему комбінованого опалення можна розглядати як важливий елемент загальної схеми класифікації вимог щодо забезпечення теплового балансу в приміщеннях цивільних будівель [9]. (рис. 1.20).



Рисунок 1.20 – Класифікація параметрів, інженерних рішень та регламентних норм щодо теплового балансу приміщення [10]

Висновки до першого розділу

Було проведено аналіз існуючих дахових систем вентиляції та кліматизації.

Визначено основні типи, їх переваги та особливості.

Визначені норми та параметри мікроклімату, що повинні витримуватись.

Все це лягає основою для подальшого проектування та розробки конструкції керування кліматичною системою.

На основі цих робіт можемо запропонувати конструкцію кліматичної установки, яка складається з кількох частин: системи подачі повітря до приміщення (повітродувка), системи контролю повітря (датчики) в приміщенні та системи керування.

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		21

2. Розробка конструкції кліматичної системи

2.1 Розробка конструкції системи подачі повітря до приміщення

Повітродувки є важливими компонентами у багатьох сферах, таких як системи опалення, вентиляції, кондиціонування повітря (ОВК), пневматичне транспортування та процеси аерації. Їхнє основне завдання полягає в забезпеченні переміщення повітря чи газу через систему, створюючи необхідну швидкість потоку й тиск для оптимальної роботи. Продуктивність цих пристроїв відіграє ключову роль у підвищенні енергоефективності, оптимізації споживання електроенергії та загальна ефективність систем. Відцентрові повітродувки широко застосовуються у промисловості для вентиляції та циркуляції повітря. Зокрема, харчова промисловість, а саме виробництво фруктових соків, стикається з безліччю викликів під час зберігання продуктів. Важливий вплив на вирішення цих питань відіграють охолоджувальні вентилятори, які розробляються у різних варіантах залежно від вимог до тепловіддачі. Використання відцентрових повітродувок дозволяє підтримувати стабільний тепловий режим. Нещодавні дослідження приділяють велику увагу вдосконаленню конструкції та підвищенню ефективності повітродувок. У науковій роботі [1] наведено результати моделювання конструкції за допомогою SolidWorks. Основна мета цих досліджень — збільшення енергоефективності та забезпечення постійного потоку повітря, досягаючи коефіцієнта ефективності до 84%. У роботі [2] аналізується продуктивність відцентрових вентиляторів через дослідження їхніх кривих продуктивності. Це дозволило виявити складності потоків між лопатками, а також ідентифікувати основні джерела втрат — на вході, робочому колесі, ущільненнях і спіралях. Автори застосували програмне забезпечення SolidWorks для моделювання та програмні пакети ANSYS CFX і Taguchi для оптимізації результатів. Дослідження [3] фокусується на параметричних аспектах конструкції відцентрових повітродувок з метою

									Арк.	
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	MPMA 25.00.00.000 ПЗ					22

покращення їхньої ефективності. Аналіз впливу конструктивних параметрів на коефіцієнт тиску та швидкість потоку показав значне вдосконалення в порівнянні з існуючими промисловими розробками. Крім того, акцент зроблено на охолодження продуктів перед упаковкою, щоб мінімізувати ризик псування. Втім, тривала експлуатація в умовах низьких температур може спричиняти корозію деталей повітродувки, що негативно впливає як на її продуктивність, так і на безпеку харчових продуктів у зберіганні. У роботі [4] розглянуто шляхи вдосконалення стійкості до корозії, зокрема через дослідження теплообміну за допомогою CFD та аналіз напружень із використанням FEA-методів.

Отже створимо елементи системи подачі повітря у програмному середовищі SolidWorks. Лопаті будуть кільцеві, показані на рис.1 Матеріал – листовий метал, товщина 2 мм. [22]. З такого ж матеріалу зроблений й корпус повітродувки (рис.2.2).

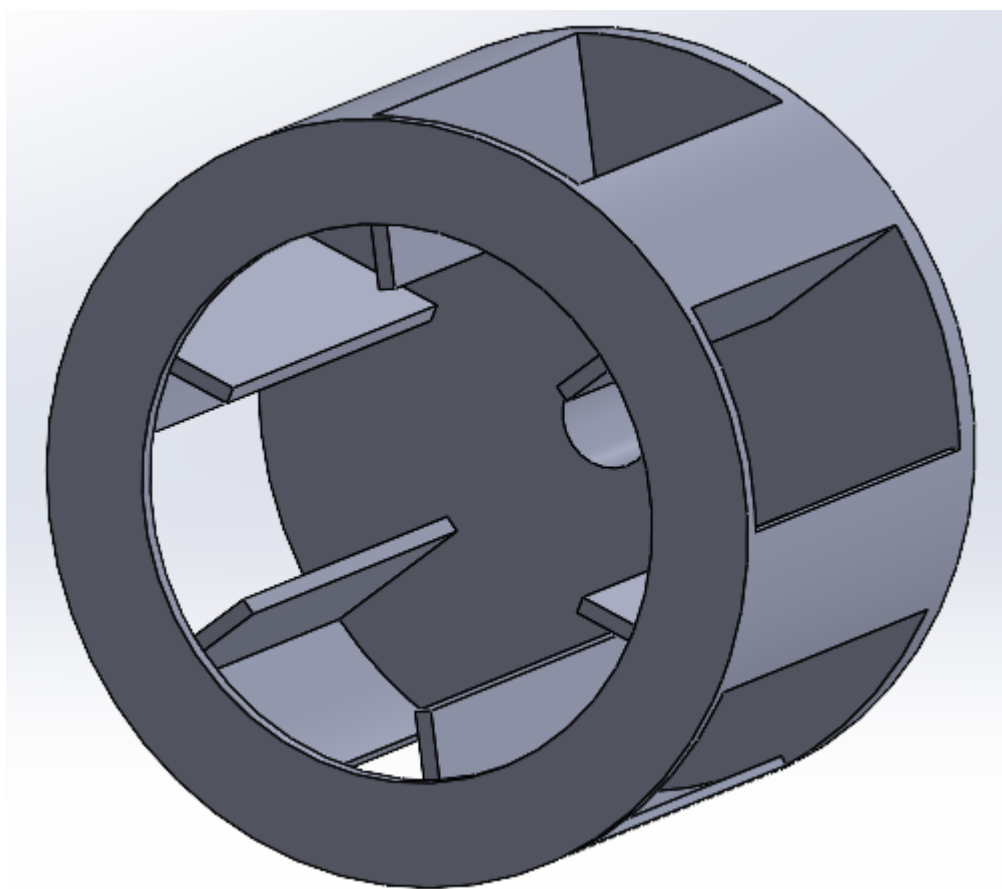


Рисунок 2.1 – Кільцеві лопаті повітродувки

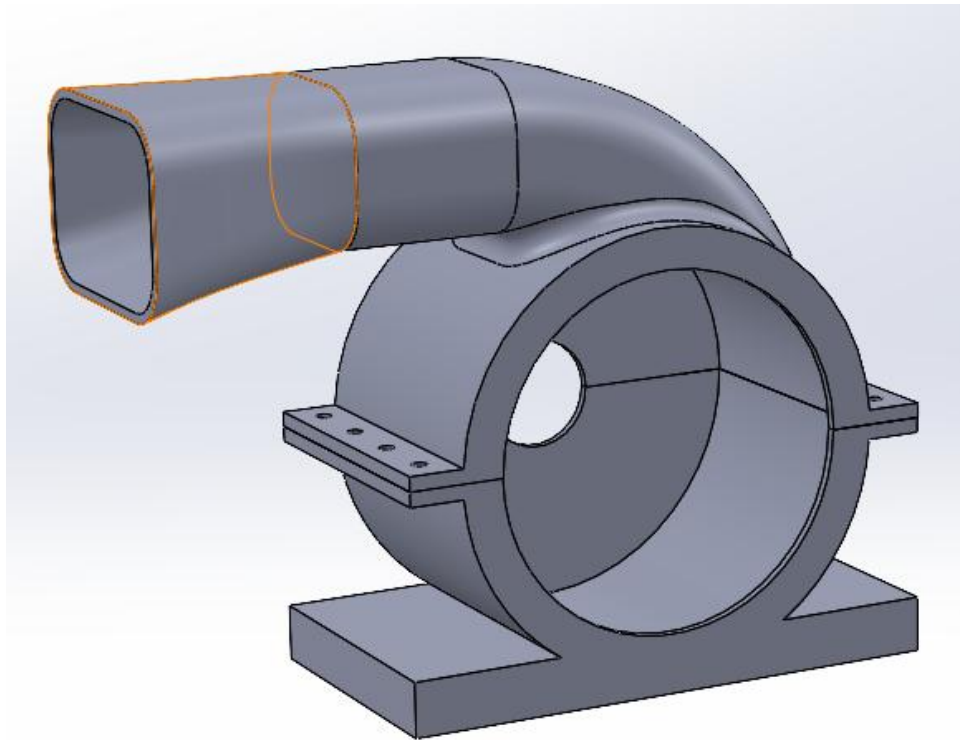


Рисунок 2.2 - Корпус повітрودувки

Далі моделюємо електродвигун, врахуючи, що його потужність до 500 Вт (рис.2.3) Також моделюємо захисну рiшiтку для двигуна та вал.. Складальна конструкцiя показана на рис.2.4.

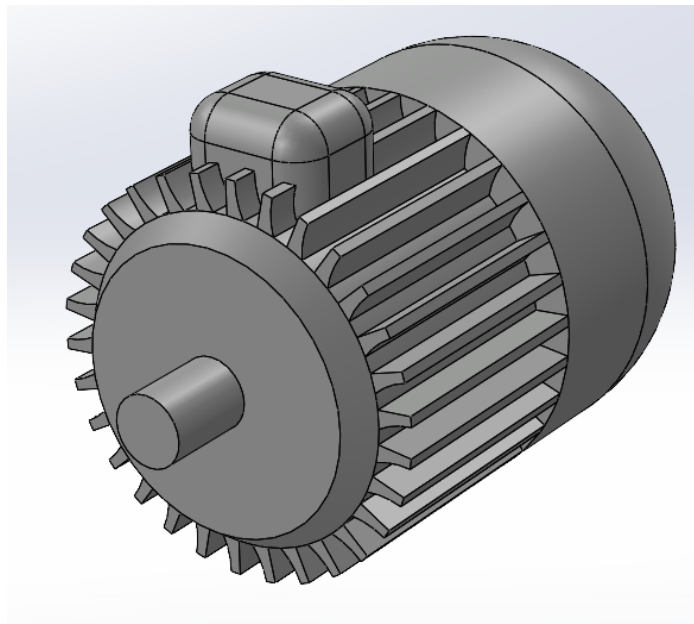


Рисунок 2.3 – Модель електродвигуна

Зм.	Арк.	№докум.	Пiдпис	Дата

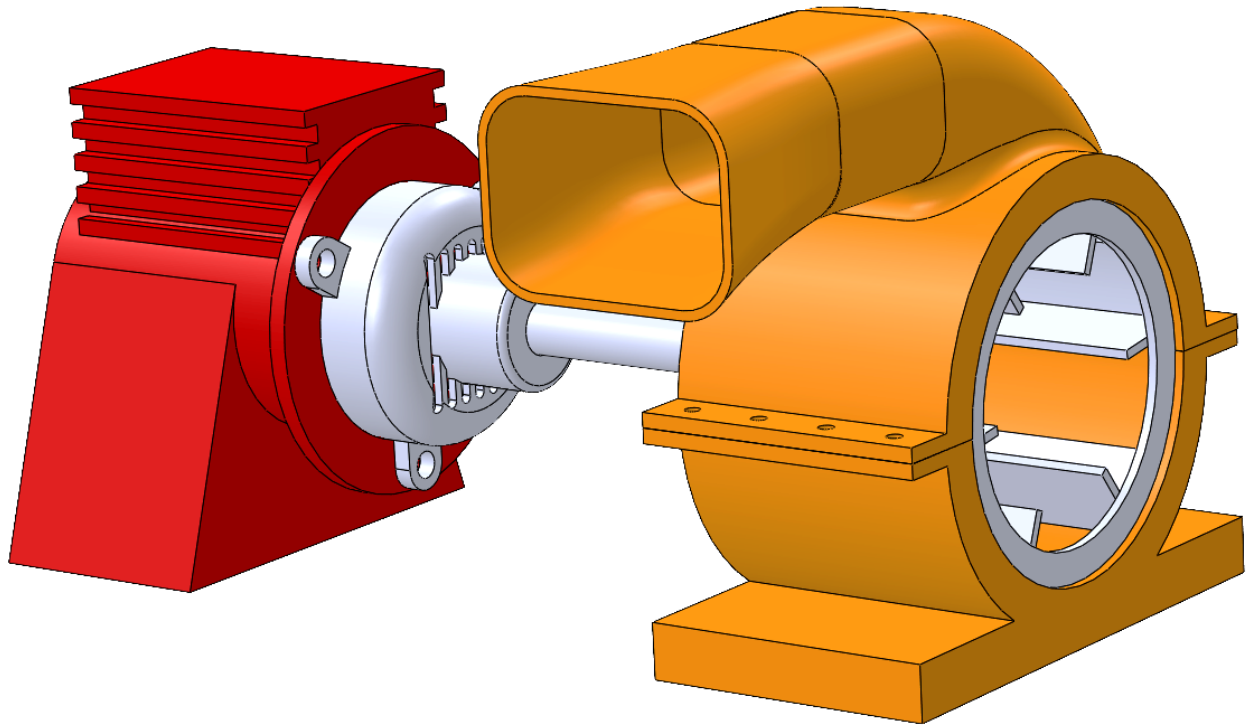


Рисунок 2.4 – Конструкція системи подачі повітря

2.2 Розрахунок і підбір елементів системи

Для подальшого моделювання процесів теплозабезпечення приміщень та для передбачення температури повітря всередині будинку, створена математична модель температури повітря у приміщенні. На прикладі будівель, наприклад котеджного типу, здійснено пасивний експеримент із вивчення характеристик теплоносія, що рухається у системі вентиляції та опалення, вибудовані потрібні моделі чинників.

Формула для температури повітря у кімнаті, сформована як модель температури повітря у приміщенні побутової споруди. Замінивши дійсні величини витрат і температур теплоносія, що циркулює, які входять до неї, їхніми відповідними оцінками, ми отримаємо

$$\hat{t}_e(\tau) = \frac{\hat{T}_{out}(\tau) + \hat{T}_{in}(\tau)}{2} - \left(\beta_1 - \frac{\beta_2}{\hat{G}_{in}(\tau)} \right) \left[(\hat{T}_{in}(\tau) - \hat{T}_{out}(\tau)) \hat{G}_{in}(\tau) \right]^{\beta_3}, \quad (2.1)$$

						Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ	25

Де

$\hat{t}_e(\tau)$ - оцінка середньої температури повітря в приміщенні в момент часу,

τ , $\hat{T}_{in}(\tau)$; $\hat{T}_{out}(\tau)$ - оцінки температур повітря в трубах, що подає і зворотній відповідно;

$\hat{G}_{in}(\tau)$ - оцінка потоку теплоносія в трубі, що подає;

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$ - параметри моделі, що отримуються на основі експериментальних даних.

Знаючи значення оцінок $\hat{T}_{in}(\tau)$, $\hat{T}_{out}(\tau)$, $\hat{G}_{in}(\tau)$ та маючи ідентифіковану за параметрами $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ модель (2.1), можна вирахувати прогноз середньої температури повітря у приміщенні (рис. 2.5). Для здобуття значень оцінок технологічних параметрів $\hat{T}_{in}(\tau)$, $\hat{T}_{out}(\tau)$, $\hat{G}_{in}(\tau)$, що входять до структури моделі (2.1) у довільні моменти часу, потрібне дослідження природи поведінки цих параметрів, тобто створення відповідних математичних моделей цих величин. Для цього необхідно вивчити систему тепlopостачання об'єкта вивчення та використати здобутки пасивного експерименту

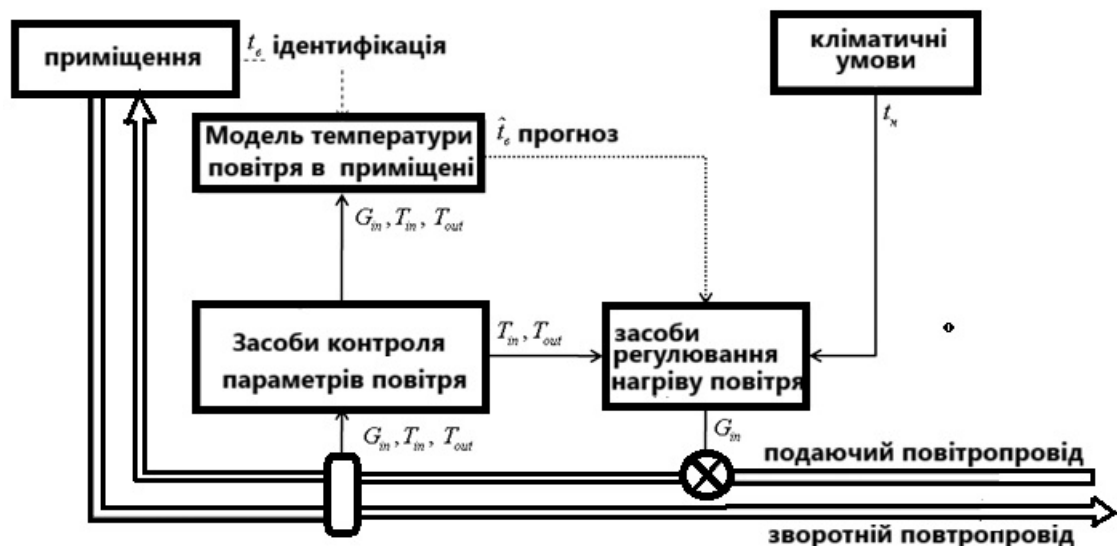


Рисунок 2.5 - Схема використання моделі температури повітря у приміщенні

Модель, що описує нагрівання повітря, що подається може бути описано таким рівнянням:

$$\Delta T_{in}(\tau, t_n) = \begin{cases} \sum_{i=1}^p \beta_i \Delta T_{in}(\tau - i) + \varepsilon, & \text{если } t_n(\tau - 1) < -5^\circ\text{C}; \\ \sum_{i=1}^p \beta_i \Delta T_{in}(\tau - i) + \beta_{p+1} t_n(\tau - 1) + \varepsilon, & \text{если } t_n(\tau - 1) \geq -5^\circ\text{C}, \end{cases} \quad (2.2)$$

де $\beta_1, \dots, \beta_{p+1}$ - параметри моделі,

ΔT_{in} - ряд перших різниць ряду T_{in}

Щодо діапазону зовнішніх температур $[\min t_n; -5]$, початкові оцінки параметрів моделі та їх кількість обчислимо, зважаючи на те, що часовий ряд, на якому будується модель – випадковий, а його окремі відтинки на інтервалі $[\min t_n; -5]$ стаціонарні та незалежні від значень температури зовнішнього повітря.

Функція, що має автокореляцію обривається на затримці, звідси структура формулюється у вигляді авторегресійної моделі:

$$\Delta T_{in}(\tau, t_n) = \sum_{i=1}^5 \beta_i \Delta T_{in}(\tau - i) + \Delta \tilde{T}_{in}(\tau - 1), \quad \text{если } t_n(\tau - 1) < -5^\circ\text{C}, \quad (2.3)$$

де $\Delta \tilde{T}_{in}(\tau - 1)$ - помилка прогнозу на попередньому кроці, а відновлений прогноз виражається у вигляді $\hat{T}_{in}(\tau) = T_{in}(\tau - 1) + \Delta T_{in}(\tau - 1, t_n)$

Оцінка \hat{T}_{21out} , своєю чергою, також пов'язані зі значеннями величин t_n . Такий зв'язок зумовлена тим, що при зменшенні температури зовнішнього повітря у приміщеннях охолоджується швидше, і відповідно зростає тепловий напір, що викликає прискорене зниження температури саме у зворотному трубопроводі, а кількісним регулюванням значення витрати система

автоматичного керування подачі тепла досягає підтримки заданого температурного графіка, здійснюючи управління теплоподачею. Зазначається, що окрім розглянутих у (2.3) зв'язків необхідно врахувати корельованість послідовних значень температури у зворотному повітряпроводі, а також те, що значення насправді визначається реальним теплоспоживанням об'єкту, тому адитивно включимо в модель поправку, що враховує середню швидкість вітру. Кінцевий вираз з урахуванням вітрового навантаження у попередній інтервал часу запишеться у вигляді

$$\hat{T}_{21out}(\tau) = \beta_1 + \sum_{i=1}^6 \beta_{i+1} t_h(\tau - i) + \sum_{j=1}^6 \beta_{j+7} G_{21in}(\tau - j) + \sum_{k=1}^6 \beta_{k+13} T_{21out}(\tau - k) + \beta_{20} (v(\tau - 1) - 0,092 t_h(\tau - 1) - 5,37)(20 - t_h(\tau - 1)) + \varepsilon. \quad (2.4)$$

Описаний метод побудови моделі температури повітря у приміщенні, а також моделей температур і витрат повітря у повітропроводах, що подає та зворотному, зважаючи на особливості систем автоматичного регулювання тепlopостачання, може бути застосований для опису динаміки параметрів на індивідуальних приватних та багатоквартирних будинків.

2.2.1 Мінімальна необхідна кількість свіжого повітря

Об'ємний потік за I критерієм [10]:

$$V_{s-Ij} = \begin{cases} 20N_j \text{ при } j = 9 \vee j = 17 \\ 30N_j \text{ при } j \neq 9 \vee j \neq 17 \end{cases} \left[\frac{\text{м}^3}{\text{год.}} \right] \quad (2.5)$$

Результати представлені у таблиці А.1.

Об'ємний потік за II критерієм [15]:

$$V_{s-IIj} = \begin{cases} 2A_{kubj} \text{ при } j \in (6;12) \vee j = 16 \vee j = 17 \\ A_{kubj} \text{ при } j \notin (6;12) \vee j \neq 16 \vee j \neq 17 \end{cases} \left[\frac{\text{м}^3}{\text{год.}} \right] \quad (2.6)$$

						Арк.
						28
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ	

Результати представлені у таблиці А.1.

Мінімальний вимаганий потік свіжого повітря:

$$V_{sj} = \max(V_{s_Ij}, V_{s_IIj}), \left[\frac{m^3}{год.} \right] \quad (2.7)$$

Кратність змін цілого об'єму повітря в приміщенні визначається як відношення:

$$nh_j = \frac{V_{sj}}{A_{kubj}}, \left[\frac{1}{год.} \right] \quad (2.8)$$

Результати представлені у таблиці 2.2.

Таблиця 2.1 – Мінімальна вимагана кількість свіжого повітря.

Номер приміщення j	Об'ємний потік V_s	Кратність змін nh
	$\left[\frac{m^3}{год.} \right]$	$\left[\frac{1}{год.} \right]$
0	36,715	1
1	8,700	1
2	18,046	1
3	4,162	1
4	6,000	1,359
5	10,206	1
6	12,260	1
7	75,000	3,322
8	75,000	4,529
9	1 00,000	5,359

10	75,000	3,556
11	87,276	2
12	4,411	1
13	75,000	4,374
14	75,000	5,751
15	75,000	7,659
16	45,000	3,250
17	1 00,000	5,376
18	3,000	2,500
19	6,000	1,667
20	6,000	1,608

2.2.2 Розподіл потоків повітря

Навів свіжого повітря відбуватиметься до всіх приміщень за виключенням коридору, із 5% надлишком для створення додаткового тиску в аудиторіях:

$$V_{Nj} = \begin{cases} 1,05 \cdot V_{s-j} \text{ при } j \neq 0 \\ 0 \text{ при } j = 0 \end{cases}, \left[\frac{\text{м}^3}{\text{год.}} \right] \quad (2.9)$$

Результати представлені у таблиці А.1.

Потік повітря, який необхідно подати до цілого поверху:

$$V_{sum} = \sum_{j=1}^{20} V_{s j}, \left[\frac{\text{м}^3}{\text{год.}} \right] \quad (2.10)$$

$$V_{sum} = 8626 \left[\frac{\text{м}^3}{\text{год.}} \right]$$

2.2.3 Вивів з приміщень

Закладаємо вивів $65 \left[\frac{\text{м}^3}{\text{год.}} \right]$ з кожного з приміщень через нещільності, відкривання дверей, скрізьні вентиляційні решітки.

Потік повітря, що усуватиметься безпосередньо з приміщень:

$$V_{Wj} = \begin{cases} V_{sj} \text{ при } j = 9 \vee j = 17 \\ 0 \text{ при } j \in \{0;1;3;4;12;18;19;20\} \\ V_{sj} - 65 \text{ при } j \in \{5;6;7;8\} \vee j \in \{2;10;11;13;14;15;16\} \end{cases} \left[\frac{\text{м}^3}{\text{год.}} \right] \quad (2.11)$$

Сумарний потік повітря, що усуватиметься безпосередньо з приміщень:

$$V_{W_sum} = \sum_{j=0}^{20} V_{Wj} \left[\frac{\text{м}^3}{\text{год.}} \right] \quad (2.12)$$

$$V_{W_sum} = 73 \left[\frac{\text{м}^3}{\text{год.}} \right]$$

При цьому для виконання санітарно-гігієнічних норм, для санвузлів приймається витяг повітря:

$$V_{WC} = 12 \left[\frac{\text{м}^3}{\text{год.}} \right]$$

Потік повітря, що усуватиметься через коридор:

$$V_{W0} = V_{sum} - V_{W_sum} - V_{WC} \left[\frac{\text{м}^3}{\text{год.}} \right] \quad (2.13)$$

Остаточні прийняті величини представлені у таблиці А.1.

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		31

2.3 Обробка свіжого повітря в приміщенні

2.3.1 Параметри повітря у приміщенні

Для забезпечення запасу тепла, закумуляованого в відповідно обробленому свіжому повітрі, в якості температур всередині приміщення для літнього та зимового сезонів приймаються відповідно нижня та верхня допустимі величини [27], подані у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Температурно-вологісні умови всередині приміщень.

Сезон	Температура		Вологість		Питома теплоємність	Питомий об'єм
	[°C]	[K]	$\left[\frac{\text{кг}}{\text{кг с.п.}}\right]$	[%]	$\left[\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{K}}\right]$	$\left[\frac{\text{м}^3}{\text{кг}}\right]$
Теплий	22	295,15	0,01100	60	1028	0,869
Холодний	23	296,15	0,00625	40	1018	0,853

2.3.2 Масовий потік свіжого повітря

Потік маси свіжого повітря до кожного з приміщень:

$$m_{s_j} = \frac{V_{s_j}}{3600 \cdot v_{R_L}}, \left[\frac{\text{кг}}{\text{с}}\right] \quad (2.14)$$

Результати представлені у таблиці А.1.

Сумарний масовий потік повітря, який треба приготувати для цілого будинку:

$$m_{s_sum} = \sum_{j=1}^{20} m_{s_j} \left[\frac{\text{кг}}{\text{с}}\right] \quad (2.15)$$

$$m_{s_sum} = 2,757 \left[\frac{\text{кг}}{\text{с}}\right]$$

2.4 Розробка системи керування мікрокліматом

Розумні термостати є прикладом сучасної еволюції традиційних моделей, забезпечуючи поліпшену функціональність та зручність. Завдяки датчикам, Wi-Fi та складним алгоритмам, ці гаджети підлаштовуються під вибір користувача та інтелектуально змінюють налаштування опалення та охолодження. Аналізуючи процедури та шаблони, вони можуть автоматично уточнювати налаштування температури для підвищення комфорту та енергоефективності. Крім того, користувачі мають змогу дистанційно керувати ними через мобільні додатки, забезпечуючи зручний доступ до налаштувань практично з будь-якого місця. Ці термостати також створюють детальні звіти про споживання енергії, що дозволяє користувачам ефективніше спостерігати та регулювати споживання. Сумісний з різними голосовими помічниками.

Вони адаптуються до розкладу користувача, надають пропозиції щодо енергозбереження та інтегруються з іншими пристроями для розумного будинку. Доступні різні системи контролю температури, кожна з яких має свій власний набір функцій та переваг. Розумні термостати пропонують розширений контроль та зручність, тоді як зоновані системи опалення, вентиляції та кондиціонування повітря (HVAC) та програмовані термостати забезпечують більш базове, але все ж ефективне управління температурою.

Аналіз існуючих систем показав, що сучасні рішення є досить дорогими та потребують додаткового обладнання для встановлення та обслуговування. Порівняння також базувалося на факторах енергозбереження. У сучасних умовах нам потрібна проста та енергоефективна система, яка може контролювати задану температуру в певному приміщенні. Тому наші подальші розробки будуть базуватися на вищезазначених факторах: простоті та енергоефективності. Датчики температури: DHT11, DHT22 або DS18B20 зазвичай використовуються для вимірювання температури у приміщенні.

									Арк.	
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	MPMA 25.00.00.000 ПЗ					33

2.4.1 Вибір мікроконтролера

При виборі мікроконтролера враховувалися такі фактори, як:

- Наявність необхідного числа портів введення-виведення;
- Наявність внутрішньої флеш пам'яті;
- Діапазон робочих температур;
- надійність;
- Дешевизна та доступність.

З усього безлічі мікроконтролерів різних виробників як пристрій управління підсилювачем було обрано мікроконтролери компанії Atmel [13]. Вони відрізняються високою продуктивністю та простою архітектурою. З усієї безлічі мікроконтролерів був обраний ATmega328. До особливостей вибраного мікроконтролера можна віднести наявність у його структурі 8 КБ флеш-пам'яті команд, 512 байт пам'яті, що електрично програмується, 23 лінії вводу/виводу загального призначення, робоча температура $-40^{\circ}\text{C} \sim 85^{\circ}\text{C}$. Він ідеально поєднує ціну, функціональність, простоту застосування.

Тому розробимо бездротову автоматизовану систему контролю клімату в приміщенні на основі мікроконтролерів Arduino. Система призначена для підтримки визначеного користувачем температурного режиму шляхом керування побутовими опалювальними та охолоджувальними приладами, забезпечуючи при цьому енергоефективність, доступність та простоту впровадження для житлових приміщень.

Бездротова система збудована на базі мікроконтролера Arduino та радіопередавача з радіоприймачем, які можуть працювати на частоті 433 МГц [11].

Для першого виберемо Arduino UNO – він є центральним, зчитуватиме тепло з NTC-термістора, і цей контролер також матиме інтерфейс для взаємодії з користувачем у вигляді дисплея та кнопок навігації [11].

Для другого буде контролер, Arduino Nano, що монтується безпосередньо на об'єкті кліматичного обладнання. Його невеликий габарит робить його оптимальним вибором для обробки вимог системи.

Платформа Arduino Nano, заснована на мікроконтролері ATmega328 (Arduino Nano 3.0) та має малі розміри та може застосовуватися в лабораторних установках. Вона виконує аналогічні функції, що й Arduino UNO, проте має конструктивні відмінності. Основною різницею є відсутність роз'єму для підключення постійного струму, а живлення забезпечується через кабель Mini-B USB. До її переваг можна віднести компактний розмір, який дає змогу інтегрувати пристрій майже в будь-який прилад без шкоди для його функціональності.

2.4.2 Вибір елементів керування

У панелі керування необхідно використовувати кнопки двох типів, так як керувати приладом і вводити в нього графік температури, що підтримується, необхідно тактами, а для включення / вимикання підсвічування кнопку з фіксацією положення.

Вибір кнопок проводився, виходячи з наступних критеріїв:

- Робоча напруга не менше 5В;
- робочий струм не менше 0,05А-для керування і не менше 0,08А для підсвічування;
- температура, що відповідає робочій температурі пристрою;
- Дешевизна та доступність.

Виходячи з наведених вище критеріїв, були вибрані SWT-14-13 тактильні без фіксації для управління і PS580L з фіксацією для ввімкнення/вимкнення підсвічування.

Система оснащена двома окремими джерелами живлення: блоком живлення на 6 В для контролера Arduino Uno і ще одним блоком живлення на 6 В для контролера Arduino Nano. Основна функція системи керування полягає у

									Арк.	
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ					35

зборі даних з температурного сенсора, їх обробці головним контролером і надсиланні керівних сигналів на приймач відповідно до запрограмованої логіки, а також в активації чи деактивації обладнання. Як тільки температура досягне заданого користувачем значення, передавач відправить команду на вимкнення пристрою опалення або охолодження. Для реалізації такого автоматичного управління найдоцільніше використовувати радіомодуль, який має низку переваг у порівнянні з іншими способами бездротового зв'язку. Різноманітність модулів зв'язку дозволяє обрати той, що відповідає конкретним вимогам та завданням системи. Так, для систем із віддаленим доступом (взаємодія з пристроями через модуль зв'язку на великих відстанях через мережі) найкраще підійдуть модулі GPS або WiFi. Перший можна підключити до мобільної мережі, а другий – до Інтернету, забезпечуючи можливість отримання або передачі даних на значні відстані завдяки відповідним комунікаційним протоколам.

Модуль Bluetooth також можна використовувати дистанційно, але лише у поєднанні з пристроєм Bluetooth, який знаходиться в зоні дії сигналу та посиляє або приймає дані через Інтернет.

Найкращим елементом для збудови автоматизованої системи в оселі є радіомодуль, який функціонує без додаткового обладнання для розподілу мережі та може бути застосований для керування та регулювання параметрів мікроклімату в залі.

Для забезпечення бездротового сполучення використовується радіомодуль з частотою 433 МГц.

Відомо два типи таких модулів: передавач MX-FS-03V та приймач MX-05V. Сигнал посиляється з центральної плати Arduino UNO, таким чином передавач MX-FS-03V з'єднаний з центральною платою, а приймач MX-05V з'єднаний з Arduino Nano.

Електромагнітне реле призначене для замикання або розмикання електричних ланцюгів у відповідь на зміни в електричних чи неелектричних вхідних сигналах. У системах керування воно слугує для підключення пристроїв

									Арк.	
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ					36

до мережі змінного струму 220 В із максимальною потужністю до 2 кВт. Для досягнення таких характеристик використовується відповідне реле. SONGLE SRD-05VDC.

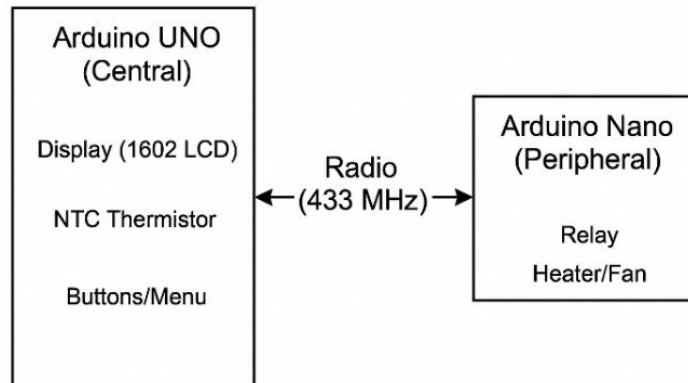


Рисунок 2.5 – Схема системи бездротового керування

Для забезпечення зворотного сполучення з користувачем система застосовує дисплей та тактові перемикачі як інтерфейс. Як дисплей використовується РК-модуль 1602, заснований на контролері HD44780. Це один із найпростіших, доступних за ціною та широко використовуваних дисплеїв, який підходить для створення різноманітних електронних пристроїв. Його застосовують як у лабораторних установках, так і в промислових апаратах, наприклад, у кавоварках. Для забезпечення взаємодії користувача із системою керування використовуються 4 тактові перемикачі, які дозволяють створювати навігаційне меню.

2.4.3: Вибір датчика температури

У випадках, коли потрібно вимірювати температуру в мікроконтролерній системі, необхідно підбирати відповідні рішення та компоненти:

- Датчик, що перетворює температуру, наприклад, в напругу;
- аналогово-цифровий перетворювач, що оцифровує аналоговий сигнал.

АЦП може бути вбудований в деякі мікроконтролери.

Існують різні варіанти зазначених елементів від терморезистора до мікросхеми, що поєднує в собі всі необхідні компоненти і має цифровий вихід.

При виборі враховувалися такі критерії:

- Дешевизна та доступність;
- Вбудований АЦП;
- не потребує калібрування;
- малі розміри;
- надійність;
- Відповідний діапазон вимірювань.

До цих параметрів підходить для вимірювання температури у приміщенні NTC-термістор MF52-103 3435 з діапазоном робочих температур від -30 до +125°C. Інші подібні датчики мають або невідповідний корпус або вже не випускаються (DS1621, LM75). DS18B20 являє собою мікросхему, яка за командою вимірює температуру і перетворює ці дані у цифровий вигляд. Також вона має корпус TO-92, який компактний, що можна використовувати для виведення його з корпусу.

Вибір блока живлення

Для роботи схеми потрібно:

- Напруга 5В;
- Споживаний струм 125мА.

Виходячи з цього, вибираємо трансформаторний БП зі стабілізатором [7], тому що він найбільш простий у виконанні і має високу надійність порівняно з імпульсним.

Трансформатор повинен відповідати параметрам:

- фазність – однофазний;
- напруга вторинної обмотки – щонайменше 8В;
- Струм номінального навантаження – не менше 0,2А;
- Дешевизна та доступність;
- надійність;
- кліматичне виконання – відкрите.

За даними параметрами є дуже велика кількість трансформаторів..

									Арк.
									38
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ				

Змінний струм з трансформатора буде перетворюватися в пульсуючий за допомогою двонапівперіодної схеми, що дасть, в порівнянні з іншими схемами, напруга на виході з підвищеною частотою пульсацій, яке простіше згладити фільтром на конденсаторі і уникнути постійного струму підмагнічування в трансформаторі живлення.

Діодний міст вибирається за такими критеріями:

- монолітна конструкція;
- зворотне напруга – щонайменше 20В;
- Прямий струм - не менше 0,2А;
- Дешевизна та доступність.

Найбільш дешеві і доступні діодні мости, що підходять за параметрами, це Міст діодний DB105S $I_{av}=1.0A$, $V_{rrm}=600V$, DB-1S, SMD.

Стабілізатор напруги обраний в інтегральному виконанні, тому що вони дуже ефективні в роботі та малогабаритні.

Стабілізатор напруги вибирався виходячи з таких вимог:

- Вихідна напруга - 6В;
- Вихідний струм - не менше 0,2А;
- температура, що відповідає робочій температурі пристрою;
- Дешевизна та доступність.

Для роботи при негативних температурах представлено не так багато стабілізаторів обираємо L7806.

У порівнянні з аналоговими датчиками температури, такими як LM35 або TMP36, а також цифровими варіантами, наприклад, DS18B20 чи термопарами, термістори мають значно нижчу вартість, вищу надійність і не потребують додаткових компонентів для використання, що робить їх беззаперечною перевагою. Температурний сенсор вимірює поточний рівень температури у приміщенні, перетворюючи аналоговий сигнал напруги в значення температури у градусах Цельсія, яке передається до контролера Arduino Uno. Контролер опрацьовує отримане значення і відображає його на екрані. Далі він порівнює

показник температури, зафіксований сенсором, із заданим користувачем параметром через меню. У випадку, якщо задана температура вища за поточну, контролер надсилає сигнал модулю зв'язку для передачі команд на приймач зі значенням 1. Якщо ж температура користувача нижча за фактично виміряну, передається сигнал із значенням 0..

2.5 Розробка електричної схеми системи

Система клімат-контролю складається з кількох модулів Arduino. Кожен модуль спроможний функціонувати як вузол сенсора, модуль виконавчого пристрою або головний вузол керування. Вузли сенсорів збирають відомості про довкілля та скеровують їх до центрального вузла керування за допомогою радіозв'язкових модулів. Головний вузол керування обробляє ці відомості та надсилає накази до вузлів виконавчих пристроїв для коригування кліматичних умов.

Під час розробки системи автоматизованого контролю подачі повітря одним із ключових етапів стало створення макета для підключення всіх компонентів. Цей етап дозволив перевірити правильність взаємодії елементів системи, оцінити логіку побудови схеми, протестувати сумісність модулів та ще на початковій стадії виявити потенційні недоліки. Завдяки розробці макета вдалося уникнути типових помилок, таких як неправильні підключення або конфлікти між компонентами. Для побудови візуального макета (рис. 3.1) використовувалося спеціалізоване програмне забезпечення Tinkercad, яке пропонує великі можливості для моделювання електронних схем і відрізняється зручним інтуїтивним інтерфейсом. З його допомогою було створено схему, що відображає всі з'єднання компонентів із мікроконтролерами Arduino Uno, які обрані як основну апаратну платформу пристрою. Вибір цих мікроконтролерів обґрунтований його компактними розмірами, енергоефективністю, достатньою

									Арк.
									40
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ				

кількістю цифрових та аналогових портів, а також розвинутою підтримкою в спільноті розробників.

Система містить дві плати Arduino UNO, кожна з яких виконує власну програму для імітації бездротової комунікації через видиме світло. Було спроектовано електричні схеми з'єднання ланок автоматизованої системи контролю температури.

Перша Arduino (Automated Room Temperature Monitoring) зчитує дані про тепло з NTC-термістора, застосовуючи рівняння Штейнхарта-Харта для перетворення аналогової напруги у градуси Цельсія. Автоматизований моніторинг кімнатної температури показано на рисунку 2.6.

Передавальна система використовує Arduino UNO, з'єднаний з NTC-термістором, для вимірювання температури доквілля. Коли температура оцінюється стосовно заздалегідь встановленого граничного значення, як-от 25°C, Arduino встановлює, чи значення прямує нижче заданої міри. Якщо так, формується цифровий сигнал, який вмикає радіопередавач, що працює як імітатор бездротового пристрою. На приймальному боці інша система на основі Arduino (відображена як Automated Actuation на рисунку 2.7) містить радіоприймач для детектування вхідних сигналів. Система безупинно стежить за потужністю сигналу та співвідносить її із встановленою межею. Коли фіксується достатньо потужний сигнал, що свідчить про те, що температура на передавачі менша за межу, Arduino активує релейний модуль, який опосередковано подає живлення на приєднаний нагрівач. І, навпаки, якщо сигнал не виявляється, реле лишається неактивним, залишаючи обігрівач у вимкненому стані. Така конфігурація ілюструє основний механізм бездротового керування, що мотивується певними умовами доквілля.

									Арк.
									41
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ				

- Миготіння сегменту екрана (символу) під час увімкнення двигуна;
- Передача логічного стану (ввімкнено / вимкнено) через LED.

Кнопками “UP”/“DOWN” змінюється поріг температури (з кроком 0.5 °C).

Поточна і встановлена температура відображаються на LCD.

Якщо $\text{currentTemp} < \text{threshold} \rightarrow$ LED увімкнено і на LCD блимає “*”.

Якщо температура вище порогу \rightarrow LED і "мигання" вимикаються.

Таким чином здійснюється моніторинг стану та за необхідністю запускається система подачі повітря до приміщення.

2.6 Аналіз розрахунків заданої конструкції терморегулятора на основі терморезистора

2.6.1 Розрахунок резистивного моста

Опір терморезистора визначається його температурою, яка залежить не лише від температури навколишнього середовища, але й від струму, що протікає через нього. Перегрів платиногового термометра через струм не має перевищувати 0,2 °C. Для забезпечення цього струм повинен перебувати в межах 10–15 мА. Подальший розрахунок моста будемо проводити виходячи з цієї умови. Для спрощення розрахунків між іншим: Опір платиногового датчика при $0t^0$ C рівно 1 кОм.

Міст збалансований, тому $R_1 = R_2 = 1$ кОм і $R_3(t) = R_4 = 1$ кОм.

Тоді, щоб уникнути перегріву, загальний струм моста не повинен перевищувати 30 мА (по 1 - му закону Кірхгофа). Отже [13]:

$$I_0 := \frac{U_B}{\left[\frac{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} \right]}, \quad (2.16)$$

тоді при $I_0 = 30$ мА, отримаємо:

									Арк.	
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ					43

$$30 \cdot 10^{-3} \leq \left[\frac{15}{\frac{(R_1 + 1000)(1000 + R_4)}{R_1 + R_2 + 2000}} \right]. \quad (2.17)$$

$R_1 = R_2$, відповідно:

$$1 \cdot 10^{-3} \leq \frac{1}{(R_1 + 1000)}, \quad (2.18)$$

звідси $R_1 \geq 0$.

Для забезпечення нормальної роботи опору R_1 і R_2 підбираємо також рівними 1 кОм. Тоді $I_{\text{заг}} = 15$ мА.

В умови збалансованого моста $I_1 = I_2$, тоді по 1 - му закону Кірхгофа [13]

$$I_{\text{заг}} = I_1 + I_2,$$

відповідно $I_{\text{заг}} = 2 I_1$, $I_1 I_{\text{заг}} = 15/2 = 7,5$ мА. Тоді $U_{R3(t)} = 7,5$ В.

Отримаємо:

$$I_1 := I_0 \cdot \frac{(R_2 + R_4)}{(R_1 + R_2 + R_3 + R_4)}, \quad (2.19)$$

Очевидно, що з підвищенням температури опір термодатчика буде збільшуватися, отже буде збільшуватися і падіння напруги на ньому.

Для підстроювання і лінеаризації ВАХ термометра в одне з плечей включаємо підлаштування резистор $R_{\text{підстр}}$.

2.6.2 Розрахунок диференціального включення операційного підсилювача.

У цьому конкретному випадку найбільш підходящою є схема диференціального підключення операційного підсилювача, оскільки потрібно посилювати різницевий сигнал від розбалансованого резистивного моста. Диференціальне включення операційного підсилювача показано на рис. 2.8

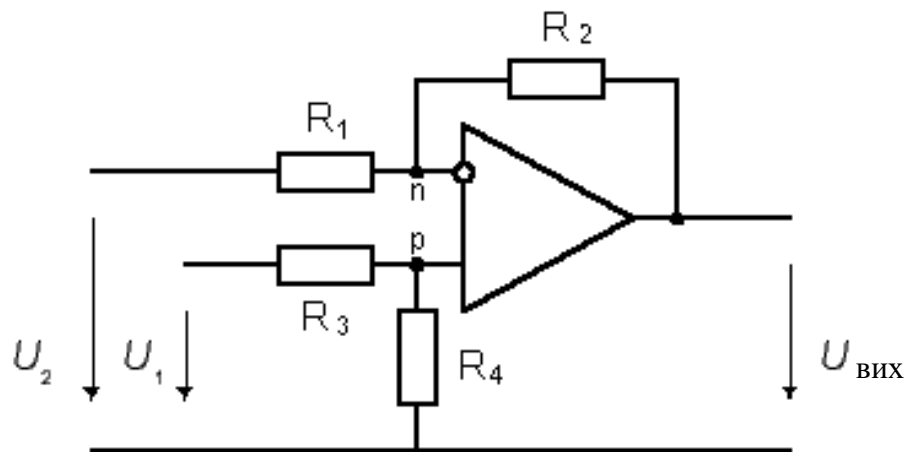


Рисунок 2.8 – Схема включення операційного підсилювача

Розглянемо розрахунок диференціального підключення операційного підсилювача (ОП). У цьому конкретному випадку найкращим вибором є схема диференціального підключення ОП, оскільки потрібно посилювати різницевий сигнал розбалансованого резистивного моста [21]. Схема диференціального підключення ОП наведена на рисунку. Визначимо залежність вихідної напруги операційного підсилювача від вхідних сигналів. Завдяки властивості ідеального операційного підсилювача, різниця потенціалів між його входами р та н дорівнює нулю. Співвідношення між вхідною напругою U_1 і напругою U_p (між неінвертуючим входом і загальною шиною) визначається коефіцієнтом поділу, який залежить від параметрів резистивного діляника на резисторах R_3 і R_4 [13]:

$$R_1 = U_1 R_4 / (R_3 + R_4) \quad (2.20)$$

скільки напруга між інвертувальним входом і загальною шиною $U_n = U_p$, струм I_1 можна знайти за формулою [13]:

$$I_1 = (U_2 - U_p)/R_1 \quad (2.21)$$

раховуючи властивість с) ідеального операційного підсилювача, маємо $I_1 = I_2$. Таким чином, вихідна напруга підсилювача в цьому випадку становить:

$$U_{\text{вих}} = U_p - I_1 R_1 \quad (2.22)$$

Підставивши (4) і (5) в (6), отримаємо:

$$U_{\text{вих}} = \frac{(R_1 + R_2)R_4}{(R_3 + R_4)R_1} U_1 - \frac{R_2}{R_1} U_2 \quad (2.23)$$

При умові виконання такого співвідношення $R_1 R_4 = R_2 R_3$,

$$U_{\text{вих}} = (U_1 - U_2) R_2 / R_1 . \quad (2.24)$$

В даному випадку $R_1 = R_3 = 1$ кОм и $R_4 = R_2 = 10$ кОм, тоді за формулою (2.24) знаходимо, що коефіцієнт посилення різницевого сигналу приблизно дорівнює: $R_2/R_1=10$.

2.6.3 Розрахунок неінвертуючого включення

В якості другого каскаду перетворювача використовуємо схему з регульованою ООС, а значить і з регульованим коефіцієнтом посилення, що дає нам можливість встановити необхідну точність вимірювання температури. При неінвертуючому підключенні вхідний сигнал подається на неінвертуючий вхід операційного підсилювача, тоді як на інвертуючий вхід через подільник на резисторах $R_1=1$ кОм і $R_2=100$ кОм передається сигнал із виходу підсилювача.

Для визначення коефіцієнта підсилення схеми K , припускаємо значення потенціалу U_2 рівним нулю. У результаті розрахунків виглядатиме наступним чином. отримаємо:

$$K = \frac{U_{\text{вих}}}{U_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (2.25)$$

тоді коефіцієнт посилення дорівнює - $K = 101$, такого посилення досить, щоб реалізувати індикацію стрілочним приладом.

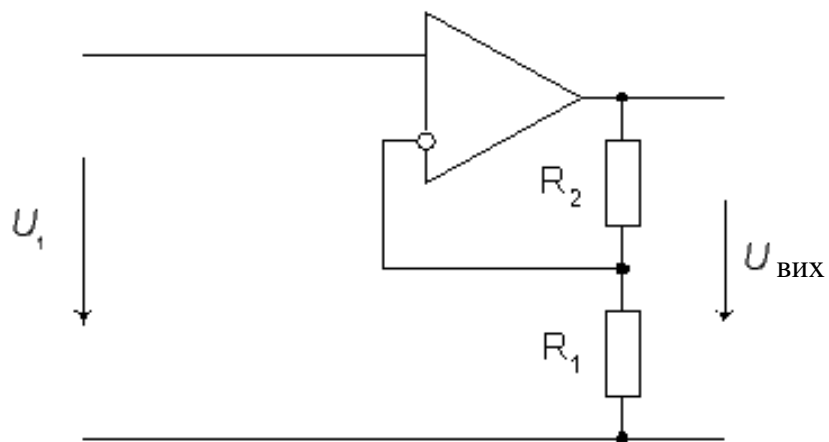


Рисунок 2.9 – Неінвертувальне підключення операційного підсилювача

У цьому випадку вихідний сигнал є синфазним із вхідним. Коефіцієнт підсилення напруги не може бути меншим за одиницю, оскільки в схемі зворотного зв'язку, окрім змінного резистора, також присутній постійний. В якості блоку живлення можна використовувати будь-який гальванічно розв'язаний від мережі блок живлення з вихідною напругою не більше 15 В

2.6.4 Силова частина

Однією з умов є забезпечення комутованої потужності $P_n = 1.0\text{КВт}$. Така умова виконує схема представлена на рис.2.7. До входу силової частини підключається вихід датчика температури. При досягненні заданої температури, датчик замикає ланцюг управління триністором VS1. Цей триністор, а слідом за

ним і симістор MI2 закриваються, а нагрівач R_n знеструмлюється. При зниженні температури, датчик розмикає ланцюг, в результаті чого триністор і симістор відкриваються, а нагрівач R_n підключається до мережі його мережі змінного струму. І так - до наступного замикання датчика.

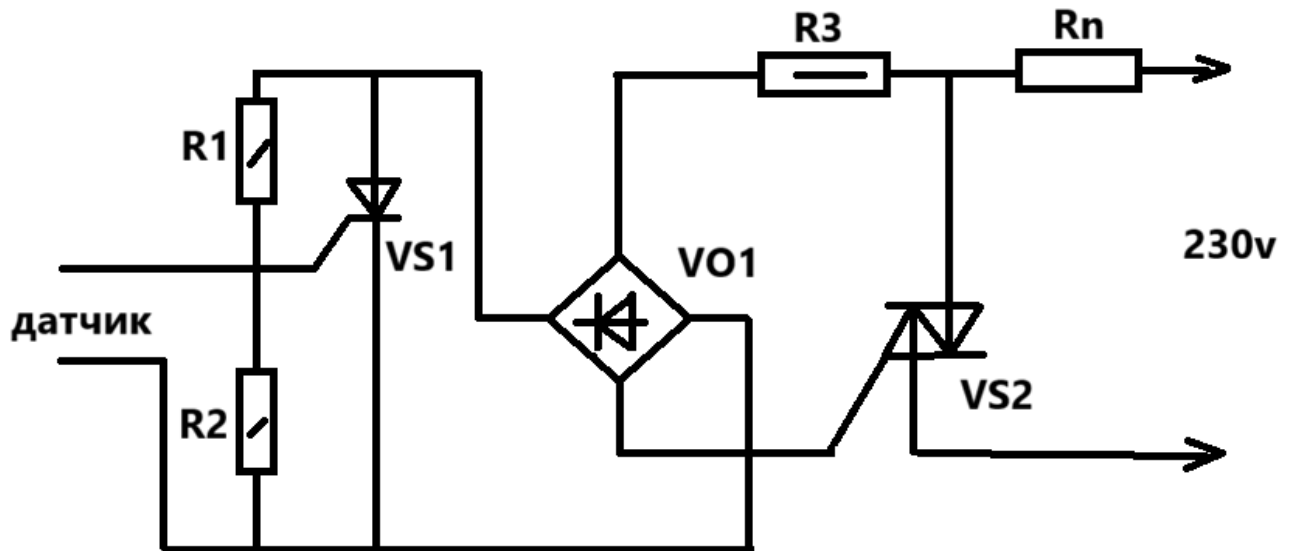


Рисунок 2.10 - Силова частина терморегулятора

2.7 Розробка ПІД регулювання

Пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) регулятор є пристроєм у контурі зворотного зв'язку, який застосовують у системах автоматичного керування для підтримання стабільного значення певного параметра. Цей регулятор визначає відхилення контрольованої величини від заданого значення (уставки) та формує керуючий сигнал. Сигнал складається з трьох компонентів: перша прямо пропорційна відхиленню, друга — інтегралу відхилення, а третя — його похідній (або похідній вимірюваної величини). Пропорційна складова створює вихідний сигнал, що протидіє зміні регульованої величини, намагаючись повернути її до заданого значення в конкретний момент часу. Чим більше відхилення, тим інтенсивніший цей сигнал. Якщо вхідний сигнал співпадає з уставкою, вихідний сигнал стає рівним нулю.

									Арк.
									48
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ				

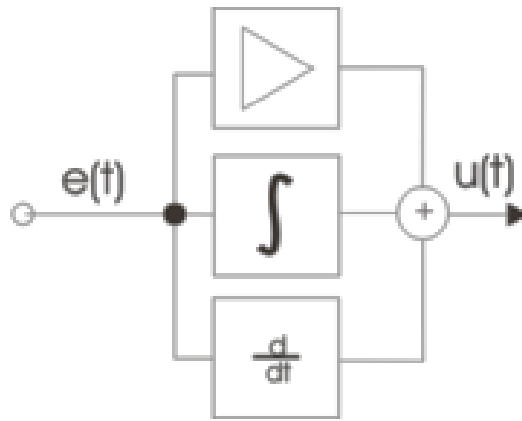


Рисунок 2.11 - Схема, яка пояснює принцип роботи ПІД-регулятора.

Використання лише пропорційного регулятора не дозволяє регульованій величині стабілізуватися на заданому значенні. Це зумовлено наявністю так званої статичної помилки — відхиленням регульованої величини, яке забезпечує вихідний сигнал для стабілізації системи на цьому рівні. Наприклад, у випадку з регулятором температури вихідний сигнал (потужність нагрівача) поступово зменшується в міру наближення температури до встановленої уставки. Система стабілізується, коли потужність нагрівача дорівнює тепловим втратам. Водночас температура не досягає уставки, оскільки за цього вихідний сигнал опуститься до нуля, і нагрівач почне охолоджуватись. Зі збільшенням коефіцієнта пропорційності між вхідним і вихідним сигналом (коефіцієнта підсилення), статична помилка зменшується. Однак надмірно високий коефіцієнт може спричинити автоколивання в системі, а подальше його підвищення здатне призвести до втрати стійкості системи. Щоб компенсувати статичну помилку, застосовують інтегральну складову. Вона дозволяє регулятору "навчатися" на основі попереднього досвіду. У разі відсутності зовнішніх збурень система через певний час стабілізується на уставці, у цьому стані сигнал пропорційної складової стає нульовим, а весь вихідний сигнал формується за рахунок інтегральної складової. Диференціальна складова працює на випередження, протидіючи потенційним відхиленням регульованої величини, які можуть виникати у результаті зовнішніх впливів або запізнення реакції регулятора. Чим

швидше регульована величина відхиляється від уставки, тим сильніше це відхилення компенсується диференціальною складовою.

Головним завданням ПДД-регулятора є підтримка заданого значення x_0 деякої змінної x шляхом коригування іншої змінної u . Задане значення x_0 називається уставкою, а різниця $e = (x_0 - x)$ є неточністю або неузгодженістю. Вихідний сигнал регулятора u розраховується як сума трьох складових.

$$u(t) = P + I + D = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de}{dt}, \quad (2.26)$$

де K_p , K_i , K_d - множники посилення пропорційної, інтегральної та диференціальної частин регулятора, відповідно.

Більшість способів налаштування ПДД-регуляторів застосовують дещо інший вираз для вихідного сигналу, у якому на пропорційний множник посилення помножено також інтегральну та диференціальну частини [13].

$$u(t) = K_p \left(e(t) + K_{ip} \int_0^t e(\tau) d\tau + K_{dp} \frac{de}{dt} \right), \quad (2.27)$$

Часто як параметри ПДД-регулятора використовуються:

- відносний діапазон

$$K_b = \frac{1}{K_p}, \quad (2.24)$$

постійні інтегрування та диференціювання, що мають таку розмірність часу

$$T_i = \frac{1}{K_i},$$
$$T_d = K_d, \quad (2.28)$$

									Арк.
									50
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ				

Складений алгоритм роботи, що опказано на рис.2.12.

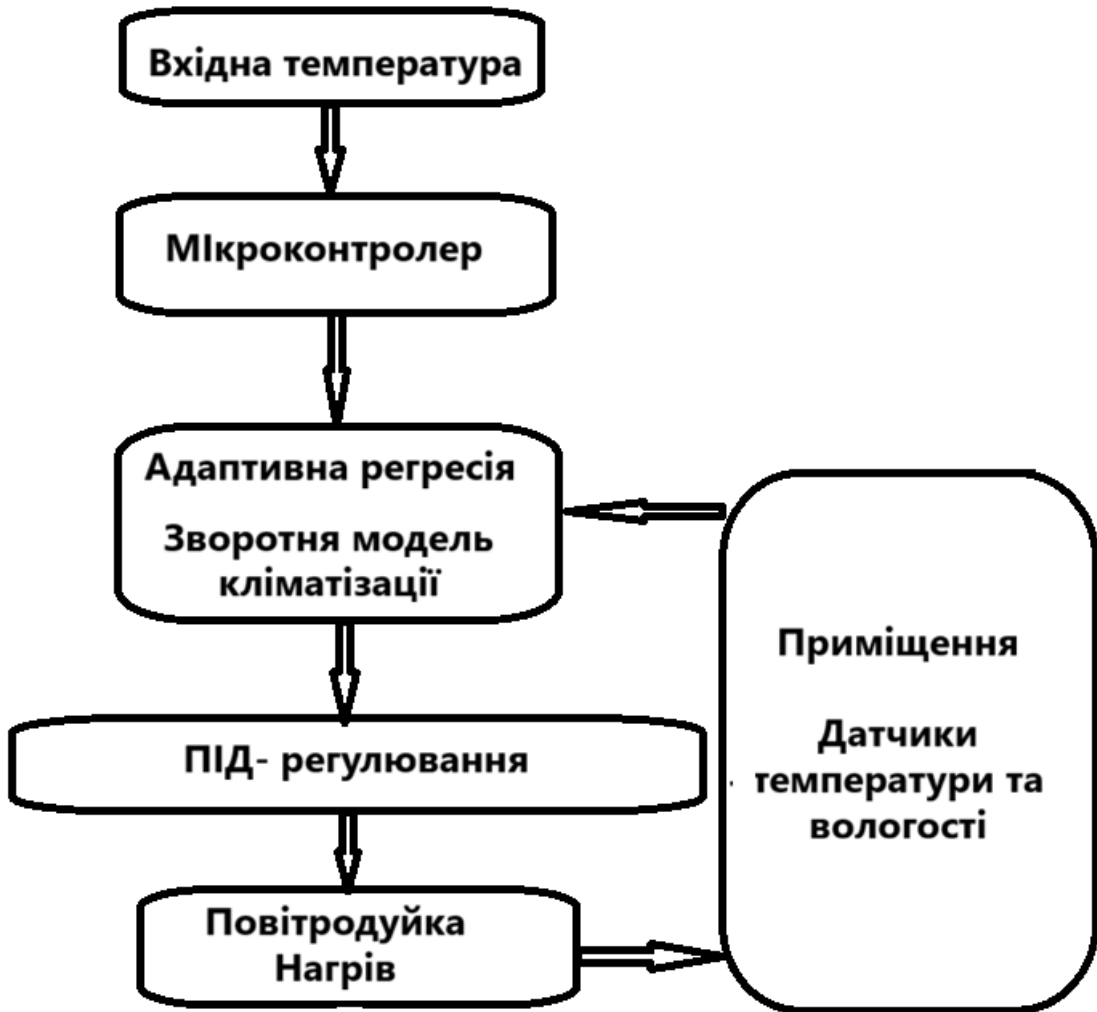


Рисунок 2.22 - Архітектура керування (узагальнена)

2.8 Моделювання руху повітря

Розглянемо основну класифікацію повітропроводів. Для початку згадаємо головне: повітропровід — це система труб, виготовлених з металу або пластику, яка встановлюється у приміщеннях для забезпечення повітрообміну шляхом вентиляції (природної чи штучної).

Однією з основних характеристик класифікації повітропроводів є форма їхнього перерізу. Найчастіше трапляються круглі та прямокутні повітропроводи, хоча іноді використовують і еліптичний (плоскоовальний) тип. Круглі повітропроводи виробляються за більш доступною та економічною технологією,

тоді як для прямокутних потрібно на 20-30% більше матеріалу при однакових технічних характеристиках. Прямокутні варіанти складаються з окремих дрібніших частин.

Переваги круглих повітропроводів:

- висока герметичність;
- ефективне проходження повітряного потоку;
- низький рівень шуму;
- легкість монтажу та відносно мала вага.

Переваги прямокутних повітропроводів:

- оптимальне використання простору;
- можливість інтеграції в приміщення з обмеженим місцем або низькими підвісними стелями.

Повітропроводи поділяються на:

- Прямошовні (фальцеві), які виготовляються зі сталевого листового металу з товщиною від 0,5 до 1 мм.
- Спирально-замкові, що виробляються зі сталевих стрічок із антикорозійним покриттям, що забезпечує додатковий захист.

Ще одним важливим критерієм є матеріал, з якого створені повітропроводи.

1. Оцинкована сталь використовується для умов помірного клімату. Цинкове покриття захищає від корозії. Завдяки вологостійкості такі вироби підходять для санвузлів, кухонь, басейнів тощо.

2. Нержавіюча сталь дозволяє експлуатацію за температури до +500°C і застосовується у важких умовах (висока температура, агресивне середовище). Зазвичай її використовують на підприємствах важкої промисловості, як-от у металургії.

3. Металопластик складається з двох шарів металу (часто алюмінієвого) із шаром спіненого пластику між ними. Такий матеріал поєднує міцність і малу вагу, має гарний зовнішній вигляд та не потребує додаткової теплоізоляції.

									Арк.	
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ					52

4. Пластик застосовується в агресивних середовищах (хімічна, фармацевтична, харчова промисловості). Основний матеріал — полівінілхлорид (ПВХ), який володіє стійкістю до вологи, кислот та лугів, а також забезпечує мінімальні втрати тиску завдяки герметичності. Із пластику створюють різноманітні сполучні елементи (коліна, трійники). Додатково для виготовлення іноді використовуються рідше вживані матеріали: поліетилен, склотканина, вінілпласт.

Повітропроводи також розрізняють за показниками жорсткості:

Найпоширенішим на ринку є жорсткий тип повітропроводів. Більшість вентиляційного обладнання проєктується саме з урахуванням їх використання. Такі повітропроводи виготовляються з круглим або прямокутним перетином, зазвичай із листового металу (оцинкованої сталі, нержавіючої сталі, алюмінію) чи пластику. Зовні вони можуть мати теплоізоляційний шар, створений, наприклад, з базальтової вати. Основні переваги жорстких повітропроводів — це зручність при монтажі та обслуговуванні, а також відмінні аеродинамічні характеристики. Але важливо враховувати загальну вагу всієї системи вентиляції, щоб заздалегідь забезпечити конструкції достатню стійкість і міцність.

Гнучкі повітропроводи мають форму гофрованого рукава, тому їх часто називають гофрованими або гнучкими. Основу таких виробів формує сталевий дротова арматура, а стінки виготовляють з металізованого полієфіру або ламінованої фольги. Серед їхніх переваг — легкість транспортування, простота монтажу та технічного обслуговування. До того ж, вони легко піддаються зміні напрямку та адаптації до вже існуючих конструкцій при модернізації системи. Однак недоліком є рифлена поверхня внутрішніх стінок, що утруднює проходження повітря і може негативно впливати на шумоізоляцію.

Напівжорсткий тип повітропроводів є проміжним варіантом між жорсткими та гнучкими. Вони виготовляються з алюмінієвих або сталевих стрічок, які утворюють трубу зі спіральним швом. За характеристиками ці

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ				53

повітроводи поєднують міцність жорстких моделей і часткову гнучкість гофрованих виробів. Проте, як і у випадку з гнучкими моделями, їхньою суттєвою слабкістю є знижена швидкість руху повітря через вентиляційні канали, що може ускладнювати застосування в складних розгалужених мережах вентилявання.

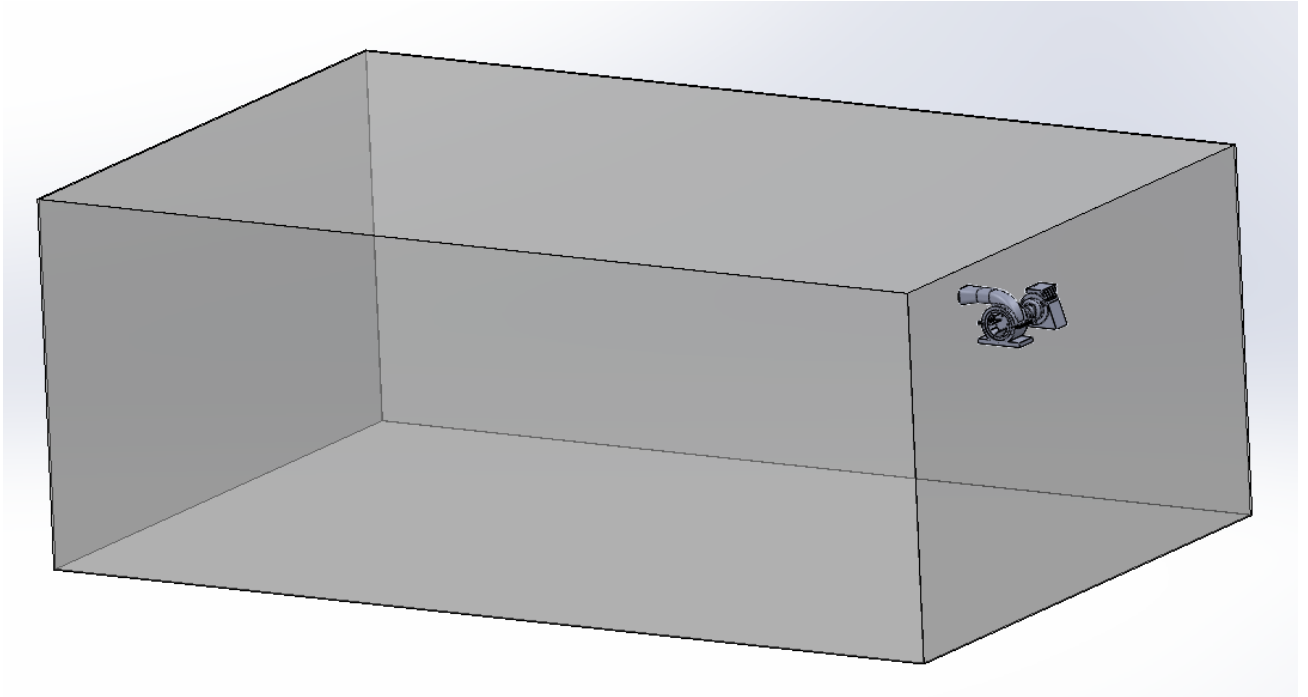


Рисунок 2.23 – Модель приміщення та системи подачі повітря

Модель включає в себе приміщення, яке являє собою кімнату з розмірами 8000X5000X3000 мм. Температура що подається - 20⁰С зі швидкістю подачі 2 м³/хв.

На рис.2.24 показано розподіл швидкосей переміщення повітря в приміщенні. Видно що зі збільшенням відстані вона падає. Найбільша швидкість становила 0.14 м/с, найменша біля 0.04 м/с, що говорить про конвекцію повітря всередині приміщення.

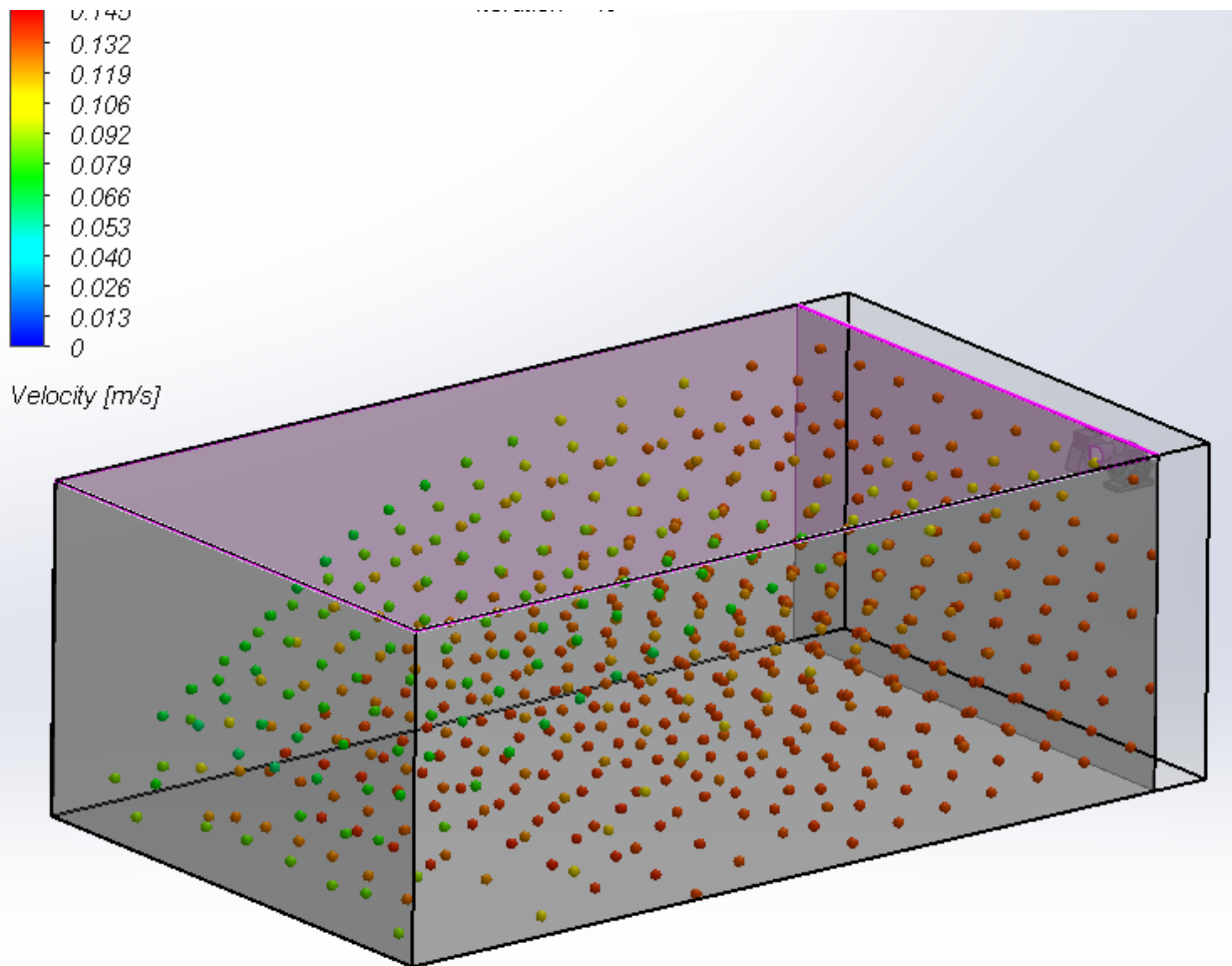


Рисунок 2.24 – Розподіл повітря в приміщенні

Висновки до другого розділу

Було змодельовано системи подачі повітря до приміщення (повітродувка), системи контролю повітря (датчики) в приміщенні та системи керування цим.

Одним із ключових етапів дослідження стала побудова двовимірної теплової моделі приміщення. Запропонований підхід дозволив перейти від «зосередженої» температурної моделі до просторово-розподіленого опису температурного поля.

У ході моделювання було продемонстровано, що навіть спрощена 2D-модель здатна виявити важливі особливості теплового режиму, зокрема:

- нерівномірність розподілу температури;
- локальні перегріву поблизу радіатора;

вплив зовнішніх стін на формування температурних градієнтів.

Виявлений на початковому етапі некоректний результат (підвищення температури до нереалістичних значень) дозволив ідентифікувати типову помилку чисельного моделювання — відсутність адекватних тепловтрат і обмежень по потужності. Після корекції моделі температурні значення набули фізично обґрунтованого характеру, що підтверджує важливість контролю розмірностей і балансів у чисельних експериментах.

Провели математичні розрахунки кількості повітря, потужності системи керування.

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		56

3 РОЗРОБКА ПРОТОТИПУ СИСТЕМИ КЛІМАТИЗАЦІЇ ПОВІТРЯ

3.1 Вибір апаратної частини

Обираючи складову для перетворення та виконання для Arduino, варто брати до уваги чимало чинників, як-от функціональність, сумісність із Arduino, вхідні та вихідні інтерфейси, напруга живлення, енергоспоживання, розмір та інші технічні параметри. Тому вибір певної складової залежить від цього проєкту та вимог.

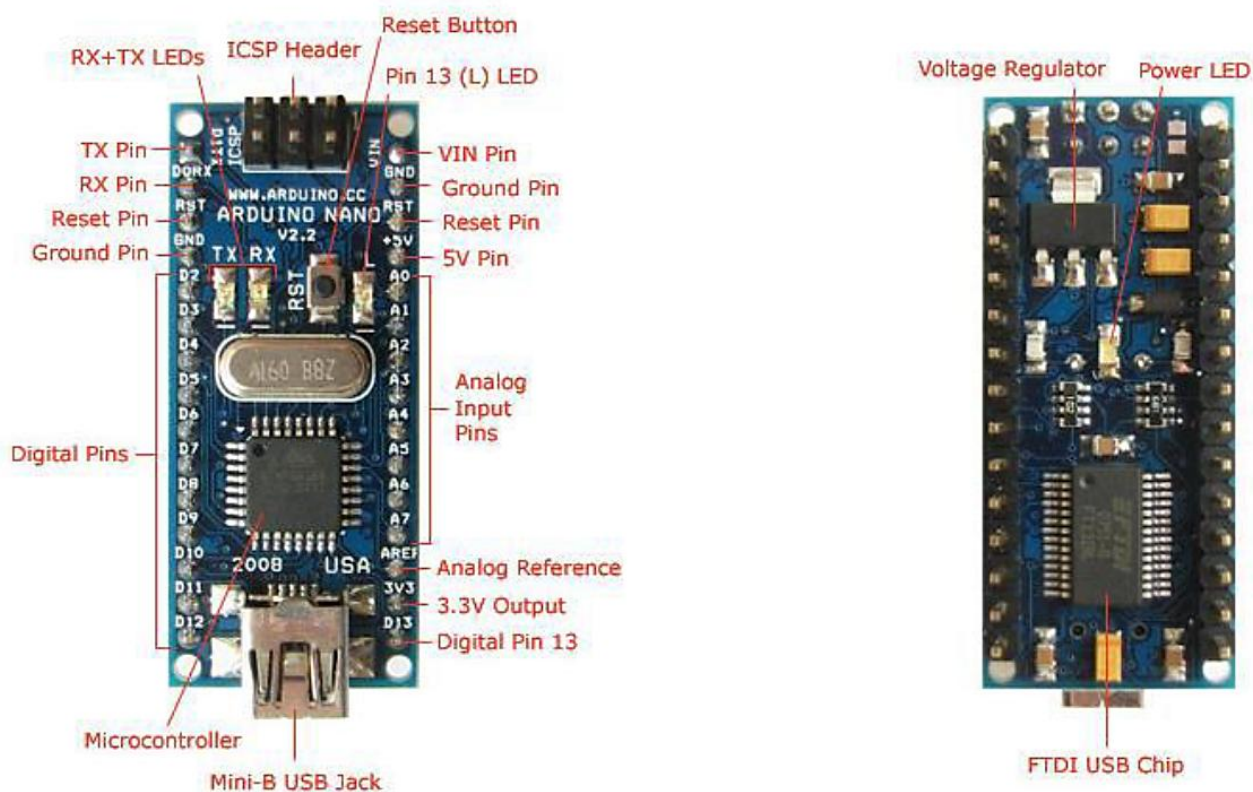


Рисунок 3.1 - Входи/виходи контролера Arduino Nano

3.2 Вибір середовища для програмування Arduino

Arduino IDE (Інтегроване Середовище Розробки) — це офіційне програмне забезпечення для створення програм для платформи Arduino. Arduino IDE надає зручну оболонку для написання коду, завантаження коду на плату розробки

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Arduino та взаємодії з цією платою для керування різними зовнішніми пристроями. Воно базується на мові програмування C/C++ та застосовує спеціальну бібліотеку для полегшення взаємодії з апаратними складниками плати розробки Arduino [17].

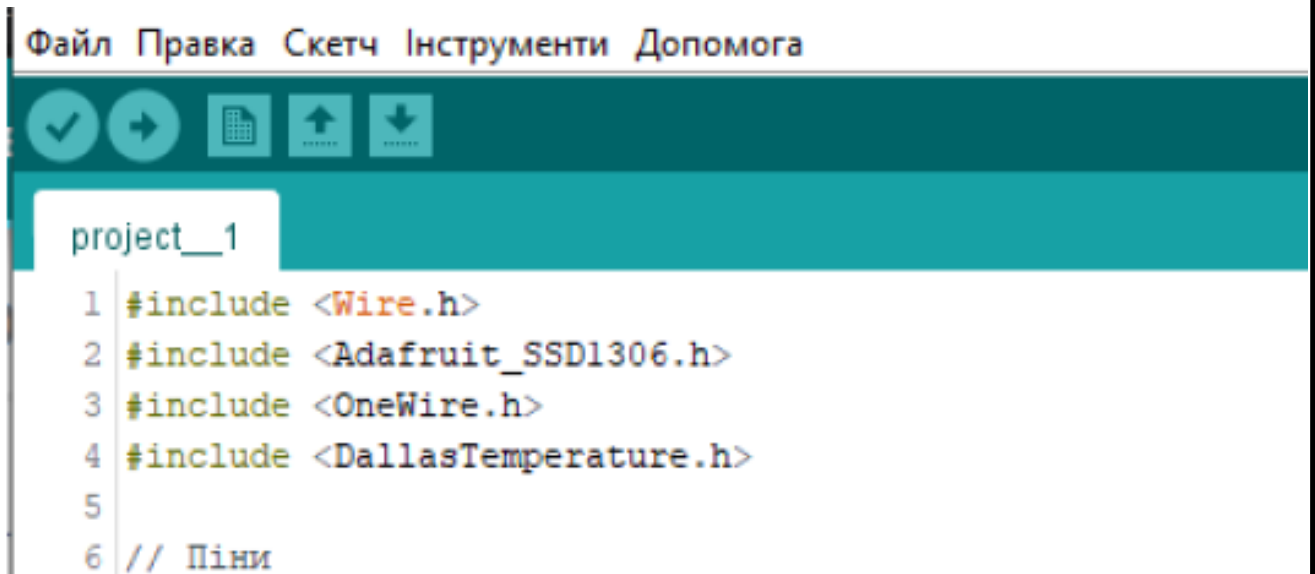


Рисунок 3.2 – Інтерфейс програми програмування Arduino IDE

Траба врахувати два періоди і, відповідно, два виконавчі механізми коли:

$$T_{int}(t) \rightarrow T_k$$

Тому маємо:

$$C \frac{dT}{dt} = Q_h - Q_c - k(T - T_{out}),$$

де:

- $Q_h = \eta_h P_h$ тепла енергопродуктивність ;
- $Q_c = \eta_c P_c$ ефективна холодопродуктивність ;
- k — інтегральні тепловтрати / надходження.

Вводимо в програмний код перемикач режиму:

$$mode = \begin{cases} HEAT, T_{out} < T_k - \Delta \\ COOL, T_{out} > T_k - \Delta \\ SDLE, \text{інакше} \end{cases}$$

де $\Delta = 1 - 2^\circ\text{C}$.

Це знімає 80% проблем стабільності. Тому відбувається адаптація кожну хвилину з фільтром:

$$Q_{k+1} = (1 - \alpha)Q_k + \alpha\dot{Q}_k$$

де:

$$\alpha = 0.01-0.05:$$

\dot{Q}_k — миттєва оцінка.

Якщо:

$$T - T_k < 0.3^\circ\text{C} \rightarrow \text{адаптація вимикається.}$$

Для літа(+35 °C):

- $T_{out} = 35$
- $Q_h = 0$
- керуємо тільки Q_c

Розподіл температури протягом доби буде коливатись у межах, що показані на рисунку 3.3.

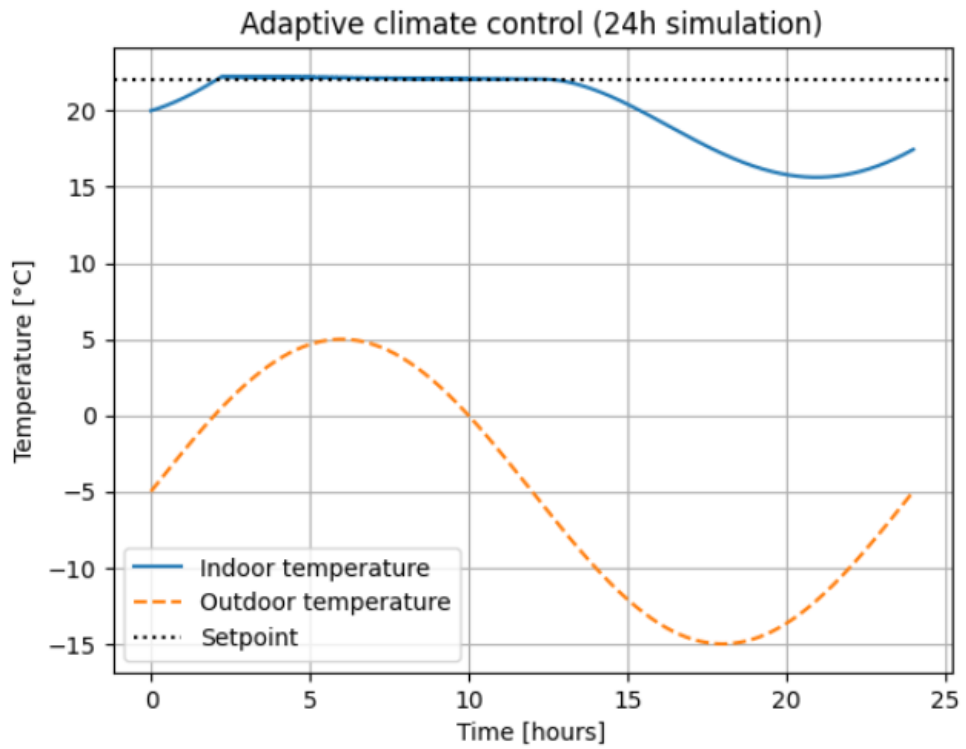


Рисунок 3.3 – Графік добової зміни зовнішньої та температури внутрі приміщення

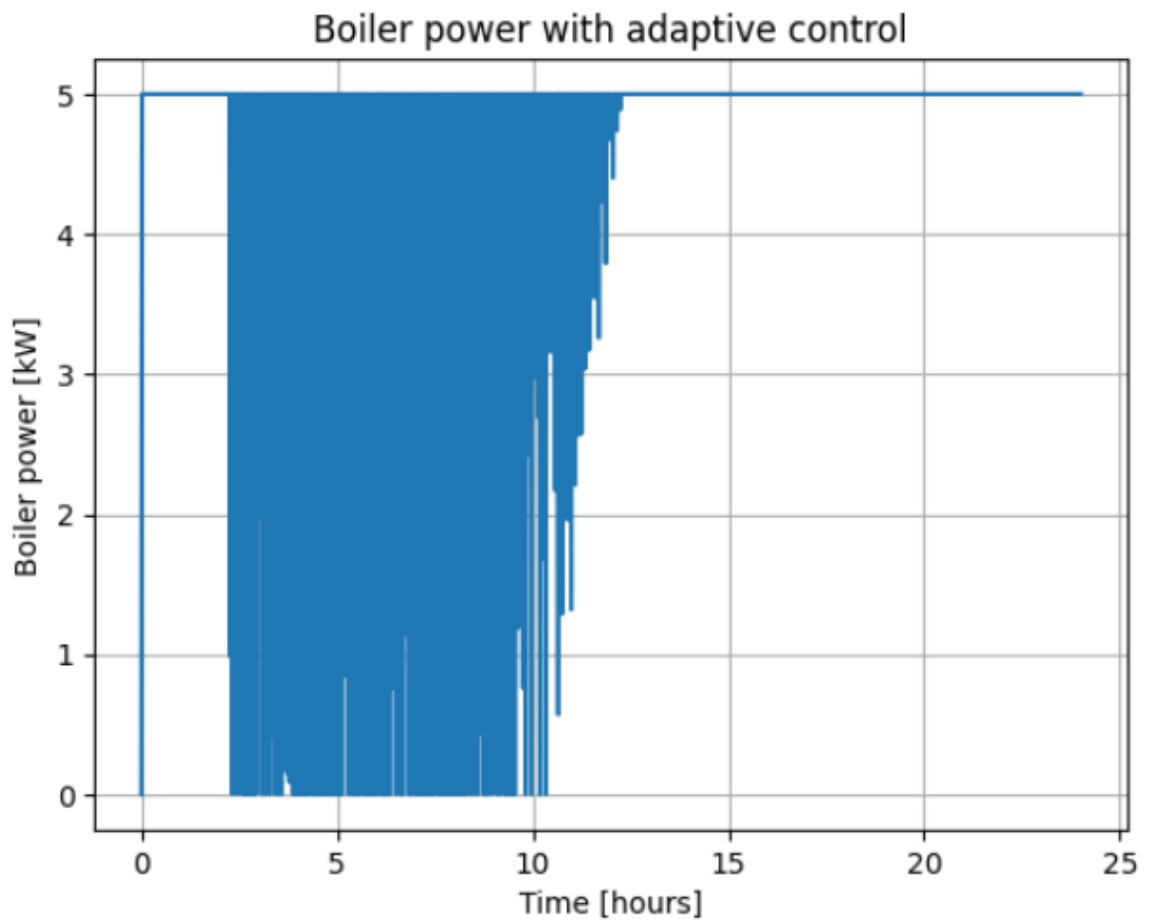


Рисунок 3.4 - Розрахунок витрат енергії на нагрівання протягом доби

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

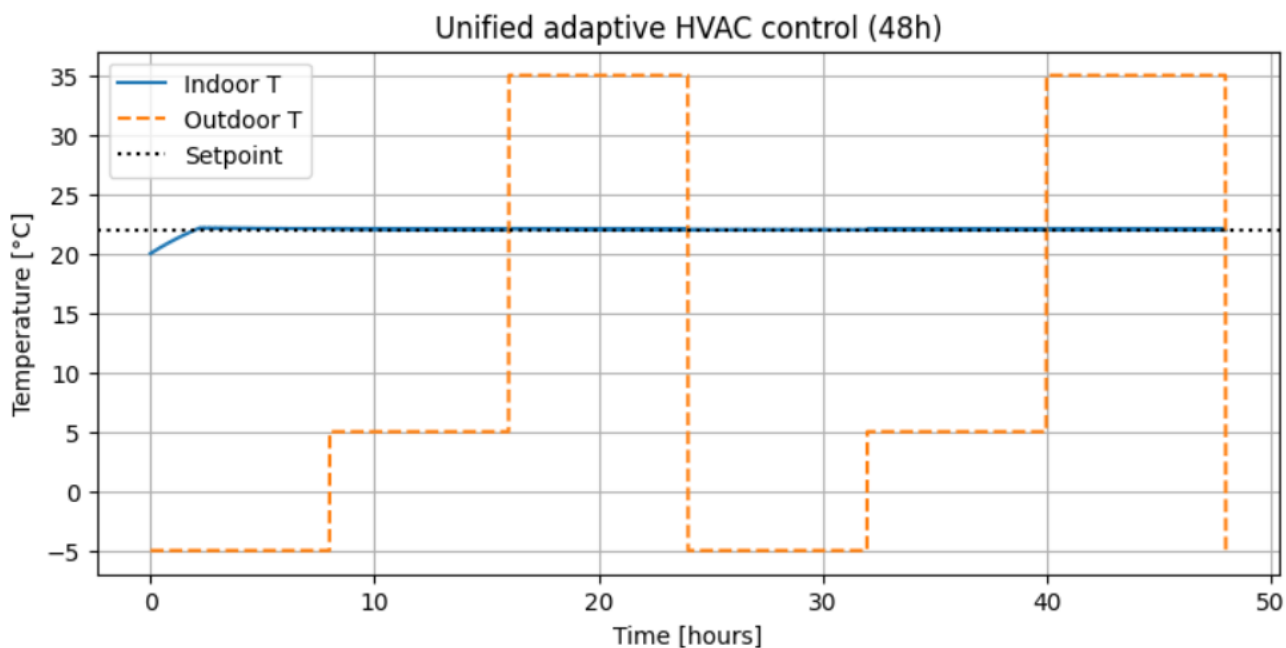


Рисунок 3.5 – Циклограма дводобового контролю температури

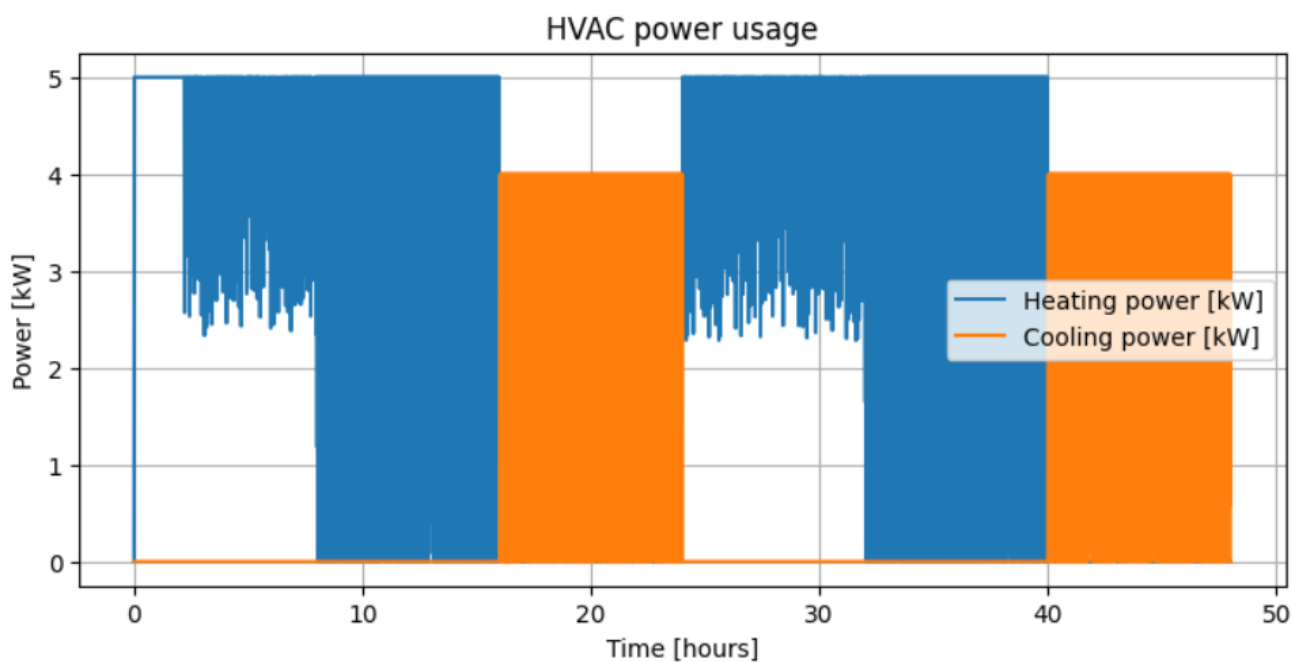


Рисунок 3.6– Моделювання енергетичних витрат на підтримання мікроклімату в приміщенні

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
-----	------	---------	--------	------

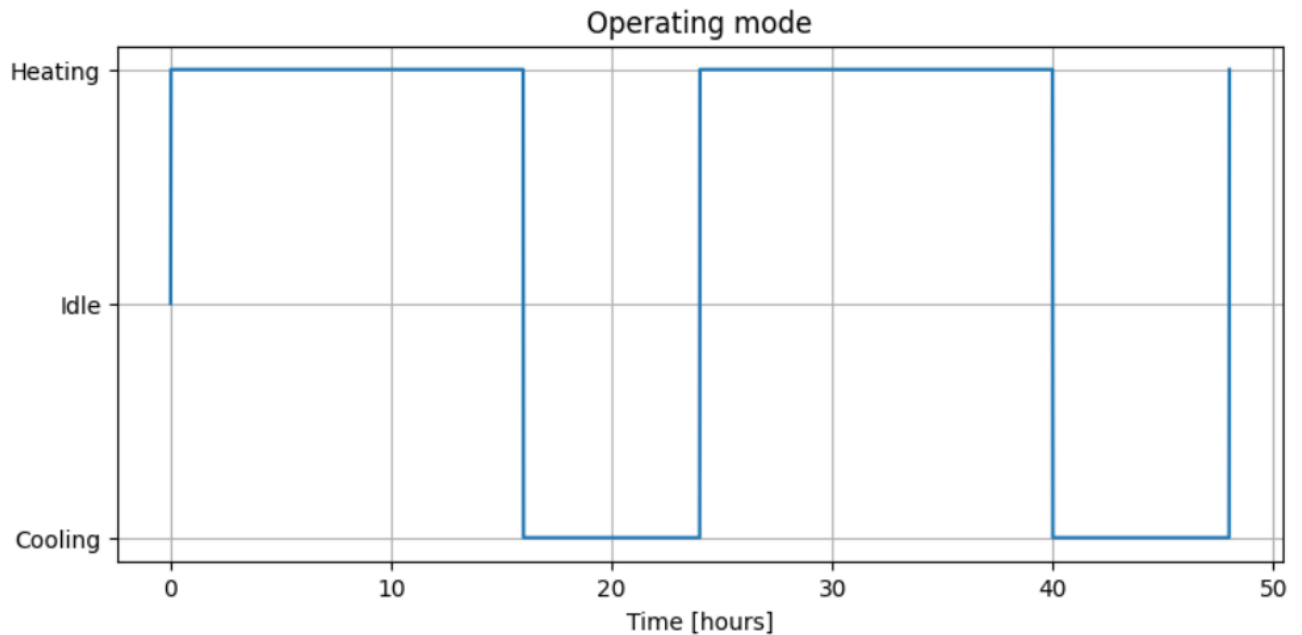


Рисунок 3.7 – Моделювання нагрів – провітрювання протягом доби

Згідно графіків, температура внутрішня стабільно тримається $\sim 22\text{ }^{\circ}\text{C}$ Незалежно від: $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (зима) си $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$ (літо).

Котел і кондиціонер ніколи не працюють одночасно. На графіках видно пікові навантаження, перехідні процеси, стабілізацію.

Режими роботи: чітка логіка без “дьоргання”, без паразитних перемикань

3.3 Розробка програмного коду

Зчитування температури з термістора (A0);

Встановлення порогової температури через дві кнопки (UP і DOWN);

Відображення на LCD 1602 поточної та заданої температури;

Миготіння сегменту екрана (символу) під час увімкнення двигуна (імітація передачі сигналу);

Передача логічного стану (ввімкнено / вимкнено) через LED.

- Кнопками “UP”/“DOWN” ви змінюєте поріг температури (з кроком $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$).

- Поточна і встановлена температура відображаються на LCD.
- Якщо $currenttemp < threshold \rightarrow$ LED увімкнено і на LCD блимає “*” (імітація роботи двигуна).
- Якщо температура вище порогу \rightarrow LED і "мигання" вимикаються.

Висновки до третього розділу

Розроблена система на основі плат Arduino та терморезистора дозволяє керувати мікрокліматом.

Інтеграція кондиціонера в загальну HVAC-модель дозволила розширити її функціональні можливості та перейти від сезонної системи опалення до всесезонної кліматичної установки. У межах дослідження було реалізовано логіку перемикання між режимами нагріву та охолодження, що виключає одночасну роботу котла і кондиціонера.

Моделювання літнього режиму експлуатації при зовнішній температурі до $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$ показало, що кондиціонер здатен ефективно підтримувати комфортну температуру в приміщенні за умови коректного налаштування регулятора та врахування теплових надходжень від навколишнього середовища.

Таким чином, запропонована модель HVAC-системи є універсальною та придатною для аналізу як опалювальних, так і охолоджувальних процесів.

Реалізація моделі у середовищі Python показала високу гнучкість і наочність даного підходу. Використання чисельних методів інтегрування дозволило досліджувати динаміку системи в реальному та прискореному часі, а графічна візуалізація результатів суттєво полегшила інтерпретацію отриманих даних.

Розроблений програмний код може бути використаний як:
 навчальний симулятор;
 інструмент попереднього проєктування HVAC-систем;
 основа для створення цифрового двійника будівлі.

ВИСНОВКИ

У процесі виконання кваліфікаційної роботи було виконано комплексне теоретичне, математичне та програмне дослідження процесів теплового обміну та керування мікрокліматом приміщення. Основною метою дослідження було створення універсальної адаптивної моделі HVAC-системи, здатної забезпечувати стабільне підтримання заданої температури в приміщенні як у зимовий, так і в літній періоди експлуатації за наявності змінних теплових навантажень і добових коливань температури навколишнього середовища.

У результаті проведеного дослідження доведено, що класичний підхід до моделювання кліматичних систем, який базується виключно на статичних теплових балансах, є недостатнім для адекватного опису реальної динаміки температурних процесів у приміщеннях. Натомість застосування нестационарних диференціальних рівнянь першого порядку дозволяє врахувати інерційні властивості будівельних конструкцій, теплоємність повітря та затримку реакції системи керування.

Побудована математична модель HVAC-системи має енергетичну основу та формулюється у вигляді рівняння теплового балансу приміщення, що включає джерела тепла, джерела холоду, а також теплові втрати або теплопритоки через огорожувальні конструкції. Такий підхід забезпечує універсальність моделі та дозволяє застосовувати її для різних типів приміщень, кліматичних умов і конфігурацій обладнання.

Особливу увагу в роботі було приділено розробці адаптивної системи керування температурою приміщення. На відміну від класичних ПІ-регуляторів з фіксованими коефіцієнтами, запропонований підхід передбачає автоматичну корекцію параметрів теплової моделі на основі поточної похибки.

У результаті кліматична система продемонструвала здатність самостійно підлаштовуватися до змінних зовнішніх умов без втрати стійкості та без

									Арк.	
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ					64

виникнення коливальних процесів. Це підтверджує доцільність застосування адаптивних алгоритмів у системах кліматизації.

У цілому, результати роботи підтверджують, що поєднання фізично обґрунтованої математичної моделі, адаптивного керування та чисельного моделювання дозволяє створити ефективний інструмент аналізу та оптимізації систем кліматизації приміщень. Запропонований HVAC-симулятор демонструє здатність забезпечувати стабільний тепловий комфорт у широкому діапазоні зовнішніх умов і може бути розглянутий як основа для подальших досліджень та практичних впроваджень.

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		65

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Rooftop Air Conditioner [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.shenglin-tech.com/products/rooftop-air-conditioner.html>.
2. Опалення, вентиляція та кондиціонування: ДБН В.2.5-67:2013. – Київ: Мінрегіон України, 2013. – 232 с.
3. Хмельницький Д. О. Системи кондиціонування повітря офісних приміщень з нечітким управлінням / Д. О. Хмельницький, В. Б. Дроменко. // Технології та дизайн. – 2017. – №1. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/td_2017_1_9.
4. Systemair. (2022, July 6). *All you need to know about: Energy Recovery* (blog). Systemair. <https://www.systemair.com/en/blog/efficiency-performance/all-you-need-to-know-about-energy-recovery>. (systemair.com)
5. Іванов П. С. Аналіз та проектування систем керування вентиляцією будівель // Енергетика та автоматика. – 2017. – С. 45–60.
6. Міллер Р. Е. Оптимізація режимів роботи систем кондиціонування повітря в адміністративних будівлях // Енергозбереження та екологія. – 2019. – С. 75–90.
7. Браун Г. Сучасні технології вентиляції: принципи та практика. – Технічна література, 2016. – С. 20–35.
8. Петров К. М. Аналіз ефективності систем управління повітряно-кліматичними системами в адміністративних приміщеннях // Інженерія та автоматика. – 2018. – С. 55–70.
9. Перекрест Андрій Леонідович – Наука та інновації. *Наука та інновації* – Науковий портал ДонНТУ.

									Арк.
									66
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ				

URL: <https://science.donntu.edu.ua/1105203/перекрест-андрій-леонідович/> (дата звернення: 01.11.2025).

10 Сміт А. Л. Моделювання та оптимізація систем вентиляції для забезпечення енергоефективності // Теплоенергетика. – 2017. – С. 25–40.

11. Злотенко Б.М., Багута І.В., Козоріз М.Г. Комп'ютерна система керування мікрокліматом у приміщенні. *Електронний архів КНУТД*. URL: https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/19372/1/MSIE_2021_P232-234.pdf (дата звернення: 01.10.2025).

11. Javed, A. (2016). Building Arduino projects for the Internet of Things: Experiments with real-world applications. Apress Media, LLC. https://www.researchgate.net/publication/316237054_Building_Arduino_Projects_for_the_Internet_of_Things

12. Elsenpeter, R., & Velte, T. (2003). Build your own smart home. McGraw-Hill Osborne Media.

13. Навчальний посібник «Лабораторний практикум з дисципліни «Комп'ютерна електроніка»» : для студентів галузі знань «12 Інформаційні технології» спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія» / Автор Клушин Ю.С. – Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2021. – 155 с.

14. Boloor, A. J. (2015). Arduino by example. Packt Publishing Ltd.

15. Blum, J. (2013). Exploring Arduino: Tools and techniques for engineering wizardry. Wiley.

16. Sommer, U. (2010). Arduino: Mikrocontroller-Programmierung mit Arduino/Freduino (in German). Franzis.

										Арк.
										67
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ					

17 Hulzebosch, J. (2009). USB in der Elektronik: Die USB-Schnittstelle für praktische Anwendungen am PC einsetzen (in German). Franzis.

18. Arduino IDE [Електронний ресурс]: Arduino IDE // 08.04.2023 - Режим доступу: <https://arduino-ide.com/>.

19. Пилипенко Ю.М. Мікропроцесорні та програмні засоби автоматизації. Мікропроцесорна платформа Arduino / Ю. М. Пилипенко. // Технології та дизайн

20. Левченко Ю. М. Розробка системи контролю та моніторингу вологості і температури приміщення / Ю. М. Левченко, Л. П. Голубєв, Ю. М. Пилипенко, В. Б. Дроменко // Технології та дизайн. - 2017. - № 4. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/td_2017_4_16.

21. Kaminski, K., Znaczko, P., Kardas-Cinal, E., Chamier-Gliszczynski, N., Koscielny, K., & Cur, K. (2025). Comparison of the heat transfer efficiency of selected counterflow air-to-air heat exchangers under unbalanced flow conditions. *Energies*, 18(1), 117. <https://doi.org/10.3390/en18010117>. (MDPI)

22. <https://firma-tera.com.ua/ua/p31330325-zhest-belaya-019.html>

23. O'Connor, D. (2016). *A review of heat recovery technology for passive house and building applications* (technical review). University of Sheffield / White Rose ePrints. <https://eprints.whiterose.ac.uk/id/eprint/104584/>. (eprints.whiterose.ac.uk)

24. Грін Д. С. Цифрове моделювання динамічних систем у сучасних інженерних дослідженнях. – Наука та техніка, 2018. – С. 30–45.

									Арк.
									68
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ				

```

#include <LiquidCrystal.h>
#include <EEPROM.h>
#include <math.h>

#define THERMISTOR_PIN A0
#define LED_PIN 8
#define BUTTON_UP 9
#define BUTTON_DOWN 10

LiquidCrystal lcd(2, 3, 4, 5, 6, 7);

// EEPROM address
#define EEPROM_ADDR_THRESHOLD 0

const float SERIES_RESISTOR = 10000.0;
const float NOMINAL_RESISTANCE = 10000.0;
const float NOMINAL_TEMPERATURE = 25.0;
const float B_COEFFICIENT = 3435.0;
const int ADC_MAX = 1023;

float threshold;
float currentTemp = 0.0;
bool heaterOn = false;
bool blinkState = false;
unsigned long lastBlink = 0;
unsigned long lastUpdate = 0;

// read thermistor temp
float readThermistor() {
  int adc = analogRead(THERMISTOR_PIN);
  float voltage = adc * 5.0 / ADC_MAX;
  float resistance = SERIES_RESISTOR * (5.0 / voltage - 1.0);

  float steinhart;
  steinhart = resistance / NOMINAL_RESISTANCE;
  steinhart = log(steinhart);
  steinhart /= B_COEFFICIENT;
  steinhart += 1.0 / (NOMINAL_TEMPERATURE + 273.15);
  steinhart = 1.0 / steinhart;
  steinhart -= 273.15;
  return steinhart;
}

void setup() {
  lcd.begin(16, 2);
  pinMode(LED_PIN, OUTPUT);
  pinMode(BUTTON_UP, INPUT_PULLUP);
  pinMode(BUTTON_DOWN, INPUT_PULLUP);

  // load threshold from EEPROM

```

									Арк.	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	MPMA 25.00.00.000 ПЗ					69

```

EEPROM.get(EEPROM_ADDR_THRESHOLD, threshold);
if (isnan(threshold) || threshold < 5 || threshold > 40) {
  threshold = 25.0; // default safe
}

lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Climate Control");
delay(1500);
}

void loop() {

  // --- buttons
  if (digitalRead(BUTTON_UP) == LOW) {
    threshold += 0.5;
    EEPROM.put(EEPROM_ADDR_THRESHOLD, threshold);
    delay(200);
  }

  if (digitalRead(BUTTON_DOWN) == LOW) {
    threshold -= 0.5;
    EEPROM.put(EEPROM_ADDR_THRESHOLD, threshold);
    delay(200);
  }

  // read temperature
  if (millis() - lastUpdate > 2000) {
    lastUpdate = millis();
    currentTemp = readThermistor();

    if (currentTemp < threshold) {
      heaterOn = true;
      digitalWrite(LED_PIN, HIGH);
    } else {
      heaterOn = false;
      digitalWrite(LED_PIN, LOW);
    }
  }

  // blink when motor ON
  if (heaterOn) {
    if (millis() - lastBlink > 400) {
      lastBlink = millis();
      blinkState = !blinkState;
    }
  } else {
    blinkState = false;
  }

  // LCD output
  lcd.clear();

```

Эм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

```

lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("T:");
lcd.print(currentTemp, 1);
lcd.print((char)223);
lcd.print("C S:");
lcd.print(threshold, 1);

lcd.setCursor(0, 1);
if (heaterOn) {
  lcd.print("MOTOR ON ");
} else {
  lcd.print("MOTOR OFF");
}

if (blinkState) {
  lcd.setCursor(15, 1);
  lcd.print("*");
}

delay(200);
}

```

									Арк.	
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ					71

```
#define PHOTO_PIN A0
#define RELAY_PIN 7

int lightThreshold = 600; // Може змінюватися залежно від рівня освітлення

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(RELAY_PIN, OUTPUT);
  digitalWrite(RELAY_PIN, LOW); // двигун спочатку вимкнено
}

void loop() {
  int lightValue = analogRead(PHOTO_PIN);
  Serial.print("Light: ");
  Serial.println(lightValue);

  if (lightValue > lightThreshold) {
    digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH); // Вмикаємо двигун
    Serial.println("Motor ON");
  } else {
    digitalWrite(RELAY_PIN, LOW); // Вимикаємо двигун
    Serial.println("Motor OFF");
  }

  delay(500);
}
```

									Арк.	
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ					72