

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Сумський державний університет**  
Факультет електроніки та інформаційних технологій  
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

«До захисту допущено»  
Завідувач кафедри КСУ  
\_\_\_\_\_ Петро ЛЕОНТЬЄВ  
\_\_\_\_\_ 2023 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
на здобуття освітнього ступеня магістр

зі спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
освітньо-професійної програми  
«Комп'ютеризовані системи управління та робототехніка»  
на тему: «Система автоматичного керування та моніторингу клімату  
приватного будинку»

Здобувача групи СУм.дн-21п

Плющ Артем Геннадійович

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.  
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на  
відповідне джерело.

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Артем ПЛЮЩ

Керівник доцент, к. ф.-м. н., Сергій СОКОЛОВ  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, ім'я ПРІЗВИЩЕ)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри КСУ

\_\_\_\_\_ Петро ЛЕОНТЬЄВ

\_\_\_\_\_ 2023 р.

**ЗАВДАННЯ**

на кваліфікаційну роботу магістра здобувачу вищої освіти

Плющ Артем Геннадійович

(Прізвище, ім'я, по-батькові повністю)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Система автоматичного керування та моніторингу клімату приватного будинку.

затверджена наказом ректора СумДУ № \_\_\_\_\_ від " \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2023 р.

2. Термін здачі студентом закінченої роботи: 15 грудня 2023 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: звіт з переддипломної практики, наукові публікації, технічна документація, перелік літературних джерел.

4. Зміст кваліфікаційної роботи (питання, що підлягають розробленню): огляд існуючих систем керування та моніторингу клімату в приватному будинку,

переваги та недоліки автоматичного регулювання клімату будинку, розроблення системи автоматичного керування та моніторингу клімату приватного будинку.

5. Перелік графічних матеріалів: 25 рисунків, 6 схем.

6. Календарний план виконання роботи

Номер етапу	Зміст етапу виконання роботи	Термін виконання
1	Аналіз завдання. Огляд тематичної літератури.	07.10.2023 – 08.10.2023
2	Огляд існуючих систем керування та моніторингу клімату будинку.	09.10.2023 – 15.10.2023
3	Створення контурів регулювання та їх математичних моделей.	16.10.2023 – 22.10.2023
4	Розрахунок регуляторів для системи регулювання клімату в будинку.	23.10.2023 – 26.10.2023
5	Розроблення схем автоматизації.	27.10.2023 – 28.10.2023
6	Оформлення дипломного проекту та супровідної документації	28.10.2023 – 15.11.2023

7. Дата видачі завдання " 07 " листопада 2023 р.

Керівник проекту:

Доцент, к. ф.-м. н.

(науковий ступінь, вчене звання, посада)

\_\_\_\_\_

(підпис)

Сергій СОКОЛОВ

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Здобувач:

студент гр. СУм.дн-21п

(шифр групи)

\_\_\_\_\_

(підпис)

Артем ПЛЮЩ

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

## АНОТАЦІЯ

Плющ Артем Геннадійович. Система автоматичного керування та моніторингу клімату приватного будинку. Дипломна робота. Сумський державний університет. Суми, 2023 р.

Робота містить: 48 сторінки, 25 рисунків, 6 схем.

Об'єктом дослідження виступає приватний будинок з системою автоматичного керування та моніторингу кліматом, предметом дослідження являється – створення системи автоматичного керування та моніторингу клімату приватного будинку.

Було розглянуто існуючі системи моніторингу та керування кліматом в приміщеннях. Визначено контури керування та створено математичні моделі. Розроблено систему керування температурою та вологою. На основі математичних моделей визначено параметри PID регуляторів.

Ключові слова: автоматизація, система автоматичного керування, клімат, приватний будинок, моніторинг даних, мікроклімат будинку.

## ABSTRACT

Pliushch Artem Gennadiyovych. A system of automatic control and monitoring of the climate of a private house. Graduate work. Sumy State University. Sumy, 2023

The work contains: 44 pages, 30 figures, 6 schemes.

The object of the study is a private house with a system of automatic control and monitoring of the climate, the subject of the study is the creation of a system of automatic control and monitoring of the climate of a private house.

It was necessary to consider the existing systems for monitoring and controlling the climate in the premises. Control contours were determined and mathematical models were created. A temperature and humidity control system has been developed. Based on mathematical models, the parameters of PID controllers are determined.

Key words: automation, automatic control system, climate, private house, data monitoring, house microclimate.

## Зміст

ВСТУП.....	6
1. Сучасні методи регулювання клімату в будинку.....	8
1.1 Що являє собою клімат контроль. ....	8
1.2 Регулювання температури. ....	9
1.3 Регулювання вологості. ....	11
1.4 Регулювання рівня CO <sub>2</sub> . ....	14
1.5 Переваги й недоліки системи автоматизованого контролю клімату в будинку.....	15
1.6 Основи збереження енергії та енергоефективні технології. ....	17
2. Огляд існуючих систем управління та моніторингу клімату. ....	19
2.1 Механічні комплекси.....	19
2.2 Електронні комплекси. ....	20
2.3 Технології та пристрої для моніторингу клімату. ....	21
2.4 Рекуператор повітря.....	22
3. Розробка системи керування та моніторингу клімату в приватному будинку.....	24
3.1 Розробка автоматичної системи керування.....	24
3.2 Створення математичної моделі регулювання температури в приміщенні. ....	27
3.3 Створення математичної моделі регулювання вологи в приміщенні. ....	32
4. Вибір засобів автоматизації для системи автоматичного керування та моніторингу клімату будинку. ....	37
4.1 Контролер ZiraBox -G1.....	38
4.2 Рекуператор повітря.....	40
4.3 Клавішна настінна панель. ....	42
4.4 Розумний термостат.....	43
4.5 Електропривід повітряної заслінки.....	44
4.6 Реле з лічильником електроенергії. ....	45
4.7 Кран з електроприводом.....	46
Висновок.....	47
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	48

## ВСТУП

З високим темпом розвитку новітніх технологій та розвитку сучасного освіти, системи автоматичного контролю та моніторингу кліматом в приватних будинках стають важливою складовою для забезпечення комфорту для проживання. Щоб повністю задовільнити свої потреби до зручності та комфорту, потрібно розробити систему автоматичного керування.

**Актуальність системи автоматичного керування** визначається рядом важливих параметрів, які впливають на якість та ефективність використання житлового простору. Автоматизація такої, на перший погляд, простої дії як регулювання клімату, дозволяє мешканцям будинку ефективніше використовувати енергію для обігріву, отримувати звіти про регулювання, та значно збільшити комфорт проживання.

**Проблема дослідження** полягає у відсутності комплексного підходу до створення таких систем з адаптацією під потреби конкретного користувача.

**Мета магістерської роботи** – це розробка та вдосконаленню системи автоматичного керування та моніторингу клімату приватного будинку. З огляду на актуальність проблеми, робота ставить своєю метою створення ефективної системи, що оптимізує витрати енергії та забезпечить комфортні умов проживання.

**Об'єкт дослідження** – процеси керування системами опалення, кондиціонування та вентиляції житлового будинку.

**Предмет дослідження** – методи та засоби автоматичного контролю, моніторингу і регулювання температурно-вологісного режиму приміщень із застосуванням мікроконтролерних технологій.

**Результатом роботи** стало розроблення системи автоматичного регулювання та моніторингу клімату в приватному будинку, розроблено математичну модель, яка дасть розуміння яку реакцію очікувати від системи. Також проведено підбір основних виконавчих механізмів та датчиків, які допоможуть автоматизувати систему автоматичного керування кліматом.

**Наукова новизна** полягає у розробці алгоритмів адаптивного керування з урахуванням індивідуальних вимог та звичок мешканців.

**Практична значущість** визначається можливістю реалізації запропонованих рішень у реальних проектах автоматизації приватних будинків

## **1. Сучасні методи регулювання клімату в будинку**

Зі швидким темпом розвитку сучасних технологій, у суспільстві все частіше виникає потреба в створенні системи яка буде автоматично регулювати життєво важливі параметри в будинку. Це важлива складова для забезпечення комфорту та енергоефективності самої системи. Приватні будинки та їх кліматичні умови стають об'єктом житлової функції, де впроваджують сучасні рішення, щоб забезпечити комфортний спосіб життя. Такі автоматизовані системи дозволяють зменшити витрати енергії та значно зекономити час на дослідженні та регуляції параметрів. Інтелектуальні системи моніторингу та контролю дозволять адаптувати умови будинку до індивідуальних потреб людини, забезпечуючи оптимальний рівень комфорту. Наприклад, середня комфортна температура для людини це 22 градуси, вологість повітря 50-60%, а рівень CO2 600 ppm. Для підтримання таких параметрів цілий рік, незалежно від того яка температура на подвір'ї, потрібно правильно налаштувати всі системи клімат контролю.[1]

### **1.1 Що являє собою клімат контроль.**

Клімат контроль, також відомий як HVAC(Heating, Ventilation and air conditioning), це комплекс систем та технологій які спрямовані на те, щоб створити, регулювати та моніторити оптимальний мікроклімат в приміщенні. Такі системи мають на меті забезпечити комфорт, оптимізувати споживання енергії та безпеку самої системи.



## 1.2 Регулювання температури.

В якості головного приладу який обігріває все приміщення найчастіше використовують газовий або електричний котел. Новітні котли мають датчик, який вимірює температуру на вулиці, для того щоб сам котел розумів, наскільки потрібно підняти потужність, щоб зберегти задану температуру в приміщенні.[2]



Рисунок 1. Зовнішній вигляд газового котла

Будь – який котел працює в парі із системою розподілу тепла. В якості системи розподілу тепла можуть бути:

- Радіатори
- Тепла підлога
- Конвектори

Радіатори встановлюються на стіни, та випромінюють тепло в приміщенні. Такі радіатори мають підхід теплої води зверху та відхід холодної води знизу.

Тепла підлога останнім часом набуває велику популярність, оскільки ця система монтується в підлогу, вона не займає корисний простір кімнати і нагріває приміщення рівномірно знизу до верху. Сама система являє собою трубчасту систему вбудовану в підлогу.

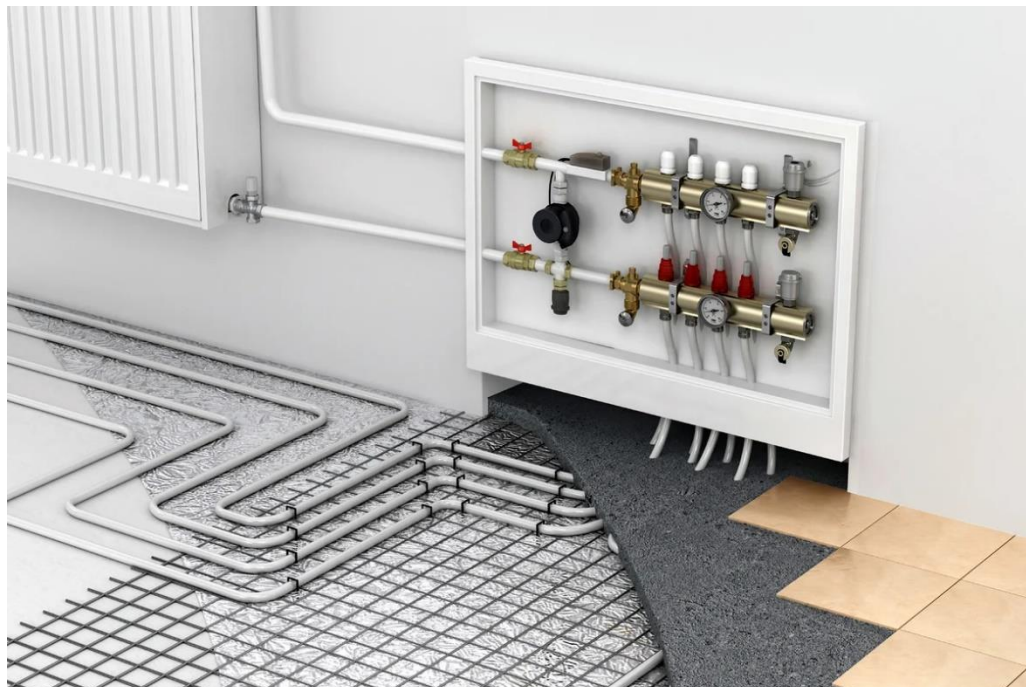


Рисунок 2. Тепла підлога

Даний спосіб опалення доволі легко інтегрувати в систему «розумний будинок», оскільки тепла підлога регулюється спеціальним термостатом, за допомогою якого можна точно регулювати температуру в приміщенні. Система має легкий монтаж, який дозволяє використання майже з будь яким видом покриття будь то плитка або ламінат тощо.

Найбільш енергозатратним способом опалювання є конвекторний спосіб. Його принцип побудований по прикладу звичайного газового котла, але замість води газом нагрівається повітря напряму.



Рисунок 3. Газовий конвектор

Газовий пальник нагріває радіатор, через який в свою чергу проходить холодне повітря і нагрівається. Такий спосіб опалення потребує багато енергії і має малу теплоємність.

### **1.3 Регулювання вологості.**

Регулювання вологості – це один із найважливіших аспектів для створення комфортного та здорового клімату будинку. Висока або низька вологість може впливати на здоров'я та самопочуття людини.

Щоб у будинку підтримувався правильний рівень вологості, забудовник під час проектування плану будинку повинен прорахувати всі нюанси, щоб планування було виконано таким чином, щоб система вентиляції могла справитися із задачею регулювання вологи, інакше в приміщеннях буде утворюватися грибок та розмножуватися бактерії, які спричиняють тяжкі хвороби.

Рівень вологи повинен бути у норм, оскільки висока вологість: створює умови для розмноження грибків та плісняви, поширює бактерії та алергени. У випадку низької вологості, може викликатися подразнення слизової оболонки, починаються проблеми зі шкірою.

Найбільш простим способом регуляції вологості є природна регуляція, завдяки технологічним отворах у віконних рамах або просто провітрюючи приміщення.[15]

Більш досконалий спосіб підтримувати рівень вологи в нормі це механічна вентиляція. В якості механічної вентиляції доцільно використати витяжний вентилятор з автоматичним включенням. Деякі моделі оснащені датчиком вологості, який дозволяє автоматично вмикати вентилятор при досягненні певного рівня вологи. Витяжний вентилятор також оснащений затримкою включення, щоб при досяганні потрібної температури вентилятор продовжував працювати. Схема роботи витяжного вентилятора виглядає наступним чином:

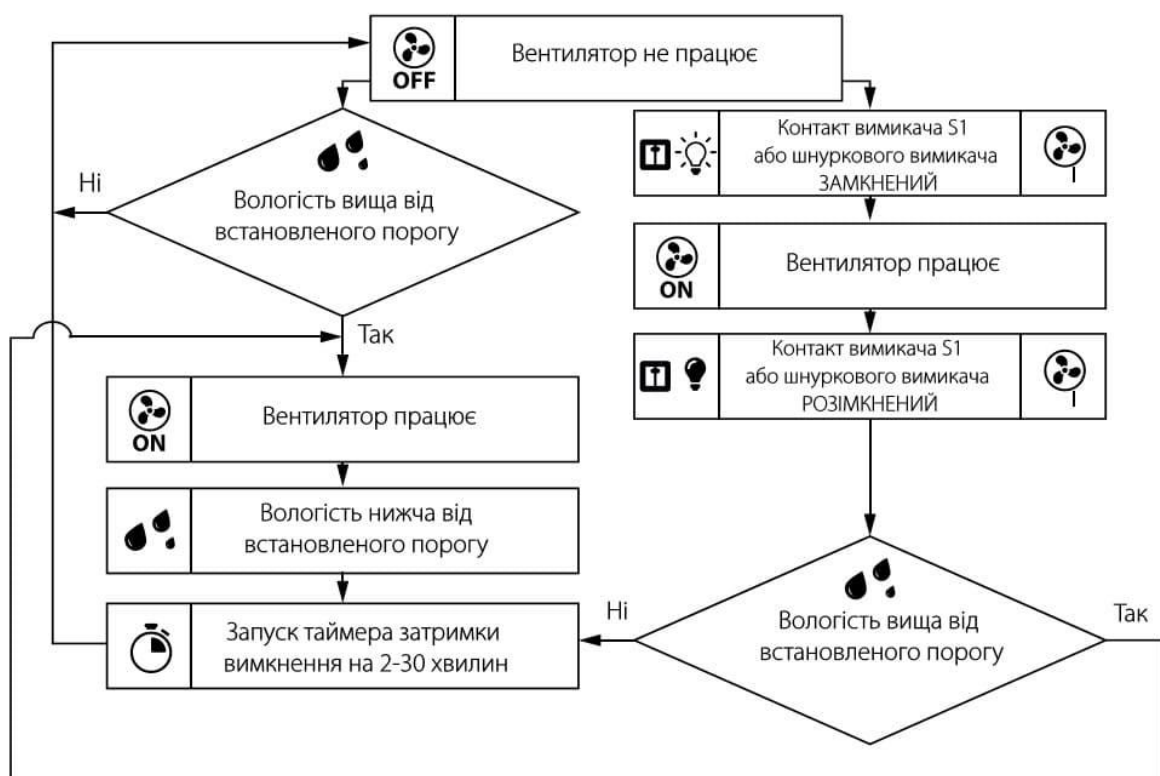


Рисунок 4. Схема регулювання вологи

У разі підвищеної вологості, популярним методом зменшення вологи є осушувач повітря. Він призначений для видалення зайвої вологи з повітря в приміщенні в якому знаходиться. Такий апарат захищає від плісняви, очищає повітря та дозволяє позбутися негативних еектів, повязаних із підвищеною вологістю.



Рисунок 5. Осушувач повітря

Осушувач повітря використовує різні технології для видалення вологи з повітря:

1. Компресійна сушка: компресор створює вакуум, що дозволяє воді конденсуватися і стікати в резервуар.
2. Адсорбційна сушка: осушувач використовує адсорбент, для поглинання вологи з повітря.

3. Термодинамічне осушення: даний вид осушувачів заснований на принципі охолодження повітря. Тепловий обмін відбувається через спеціальний холодильник, де вода конденсується з повітря.

Основні переваги осушувачів повітря це забезпечення комфорту в приміщенні, та попередження проблем, пов'язаних із надмірною вологою. Захищає техніку від негативного впливу вологи та має мінімальне енергоспоживання.

Такі осушувачі доцільно використовувати в спальнях, ванних кімнатах, підвалах та інших кімнатах в яких може бути підвищена вологість. Також їх використовують для осушення архівів та музеїв, адже надмірно вологе повітря погано відобразиться на стані експонатів або документів.

#### **1.4 Регулювання рівня CO<sub>2</sub>.**

CO<sub>2</sub>(двоокис вуглецю) – це хімічна сполука, що складається з двох атомів кисню і одного атома вуглецю. Це газоподібна речовина, що відіграє важливу роль в біосфері та атмосферних процесах. Двоокис вуглецю є природним продуктом дихання живих організмів, і при великій концентрації в повітрі негативно впливає на самопочуття та здоров'я людини. Під час знаходження людини або групи людей в приміщенні без вентиляції, рівень CO<sub>2</sub> поступово збільшується і може становити небезпеку для людей, якщо вони перебувають там тривалий час. При організації повітряних мас потрібно врахувати що CO<sub>2</sub> важчий за інші компоненти повітря, тому він постійно накопичується в нижній частині приміщення. [4]

Концентрацію CO<sub>2</sub> в повітрі визначають за допомогою шкали ppm(parts per million). Оптимальна концентрація CO<sub>2</sub> в повітрі – 400 – 600 ppm. Для підтримання параметрів вуглекислого газу в заданих параметрах використовують очищувач повітря. Хоча очисники повітря мають різні способи застосування, у всіх них приблизно однаковий принцип роботи: за допомогою вентилятора повітря всмоктується і направляється в камеру де знаходяться спеціальні фільтри. Проходячи через фільтри з нього виділяється пил, волосся

тварин, дим, мікроби та запахи. Очисники повітря бувають різними за способом фільтрування:

1. Фільтрування за допомогою губки.
2. Фільтрування з використанням води.
3. Фільтри з вугілля.
4. З іонізатором.



Рисунок 6. Очисник повітря

### **1.5 Переваги й недоліки системи автоматизованого контролю клімату в будинку**

Система автоматизованого контролю має безліч переваг, які сприяють комфорту та ефективному використанню ресурсів. Система контролю дозволяє користувачам налаштовувати та контролювати параметри клімату відповідно до своїх вимог та побажань. Системою можна керувати дистанційно, що дозволяє моніторити всі важливі параметри в режимі реального часу і керувати кліматом в будинку навіть поза його межами.

Система автоматично регулює опалення та кондиціонування повітря, використовуючи сучасні регулятори, які допомагають використовувати енергоресурси максимально ефективно, що зменшує грошові витрати.

Деякі системи мають змогу інтегрування в себе сенсори для виявлення витоків газу або води, що дозволить завчасно повідомити власника про виявлення позаштатної ситуації.

Система зберігає та збирає дані про роботу системи, що дозволить більш точно контролювати та аналізувати використання системи. Новітні системи мають привабливий дизайн, що дозволяє інтегрувати її в дизайн будинку.

Незважаючи на чисельні переваги, автоматизовані системи контролю мають свої недоліки. Найбільший «мінус» таких систем – це вартість. Покупка та інтеграція такої системи буде вимагати значних витрат. Також окремо потрібно платити за програмне забезпечення та налаштування системи.

Деякі системи можуть конфліктувати між собою, оскільки давачі або частини систем від різних виробників можуть бути не сумісні.

Залежність від електроенергії являється також суттєвою проблемою, особливо в наш час. Для безперешкодного постачання енергії потрібно встановлювати альтернативні джерела енергії, а це також додаткові витрати.

Автоматизована система контролю клімату може збирати велику частину персональних даних користувачів, а це в свою чергу несе ризики для витоку цих даних.

Для правильного встановлення та налаштування потрібно мати достатньо знань у цій сфері або ж платити спеціалісту який зможе зробити це якісно.

При впровадженні автоматизованої системи для контролю клімату в приватний будинок потрібно врахувати всі ці аспекти с знайти оптимальні рішення для найбільш оптимального варіанту системи під конкретно ваші потреби.



## 1.6 Основи збереження енергії та енергоефективні технології.

Для зменшення витрат на опалення та збереження тепла та комфорту в будинку обов'язково потрібно використовувати новітні енергоефективні технології.

Основне джерело витоку тепла це підлога, стіни і особливо стеля, оскільки тепле повітря йде вгору, тому без утепленого даху воно просто виходить назовні. Утеплення даху значно зменшує тепловитрати. Основні матеріали які використовують для утеплення даху це мінеральна вата, пінополістирол, пінопласт, або спеціальна піна. Особливість цих матеріалів в тому, що вони легку, не мають шкідливих викидів, погано горять та мають один із найбільших коефіцієнтів збереження тепла.[7]

Утеплення стін також не менш важливий етап в збереженні тепла. Утримувати тепло в будинку дозволяє мінеральна вата або спеціальний пінопласт різної товщини, яким оббивають будинок ззовні.



Рисунок 7. Приклад утеплення будинку

Для більшої ізоляції та збереження тепла, встановлюють спеціальні вікна та двері, які мають декілька шарів скла в склопакеті, що дозволяє значно зменшити витрати тепла, і правильно регулювати вологу, щоб уникнути осідання вологи на склі.[14]

Основою всіх покращень енергоефективності є герметизація та ізоляція. Закриття та утеплення всіх можливих джерел холоду, герметизація тріщин у вікнах, дверях або ж стінах дозволяє уникнути витрати тепла та проникнення вологи та грибка в середину приміщення.

Використання відновлюваних джерел енергії, таких як встановлення сонячних панелей, може значно зменшити витрати на електроенергію, особливо в теплу пору року. [9]

Якщо узагальнити, то утеплення та збереження енергії – це комплексний підхід, який включає ізоляцію та використання енергоефективних технологій. Все це в купі, при грамотній реалізації може дати дуже гарні результати, і дозволить не лише зменшити енерговитрати, але й покращити екологію та комфорт будинку.

## 2. Огляд існуючих систем управління та моніторингу клімату.

В сучасному світі, галузь автоматизації та контролю клімату в приватному будинку розвивається в стрімкому темпі. Існує безліч систем та способів їх поєднання, які спрямовані на покращення та оптимізацію умов в житлових приміщеннях, забезпечуючи комфорт та ефективне використання енергії. У цьому розділі розглянемо основні напрямки та існуючі системи управління та моніторингу клімату в будинках.

За принципом роботи кліматичні системи можна поділити на 2 групи: механічні та електронні комплекси.

### 2.1 Механічні комплекси

Механічні комплекси являють собою пристрої, які здатні регулювати окремі параметри, перемикає пристрої або передавати теплову енергію. До механічних елементів можна віднести різні термостати або регулятори. [3]



Рисунок 8. Механічний термостат

На рисунку можна побачити механічний термостат, який використовується для монтажу в приміщенні, і здатен керувати джерелами тепла, для підтримання вказаної температури.

До механічних комплексів також можна віднести все можливі котли опалення, клапани, радіатори та конвектори.

## 2.2 Електронні комплекси.

Електронні комплекси це дуже різноманітна група приладів, які здатні виробляти управляючий сигнал, приймати його, вони містять в собі різноманітні давачі та автоматику. Такі системи можуть бути програмовані та мати особливі регулятори для точного підтримання окремих параметрів. До таких систем можна віднести універсальні регулятори які здатні керувати всіма системами регулювання клімату в будинку одночасно.[8]



Рисунок 9. Універсальний регулятор

На картинці можна побачити приклад головної автоматики. Цей універсальний регулятор здатен керувати всіма системами в будинку, такими як опалення, сонячними колекторами, насосами тощо. Ця система повністю автоматизована та може керуватися з телефону, що дозволяє регулювати температуру у вашому будинку, знаходячись далеко за його межами.

### 2.3 Технології та пристрої для моніторингу клімату.

Пристрої для моніторингу, дозволяють отримувати точні дані про температуру, вологу рівень CO<sub>2</sub> в повітрі та інші параметри в режимі реального часу, що значно зменшує час відгуку всієї системи. [6]

До новітніх та сучасних систем моніторингу можна віднести Wi-Fi датчі. Вони забезпечують бездротове підключення та можливість віддаленого контролю потрібно параметру. Такі датчі можуть бути складовими метеостанцій, які збирають та передають інформацію про стан повітря, швидкість вітру, вологу, тиск та інші важливі метеорологічні дані.



Рисунок 10. Бездротова метеостанція

Такі бездротові станції допоможуть спрогнозувати та дати команду на головний контролер, який в свою чергу допоможе позбутися перепаду температури в середині приміщення, в разі зміни температури зовні. Також такі датчиси можуть одночасно моніторити температуру і зовні і в середині приміщення, що позбавляє потреби в придбанні зайвих модулів.

## 2.4 Рекуператор повітря.

Рекуперація – це процес обміну теплом між витраченим повітрям, яке виводять із приміщення, і свіжим повітрям, яке подають в це ж саме приміщення. Основною ідеєю є використання тепла, яке вже присутнє в викинутому повітрі, для обігріву свіжого повітря. Такі системи вентиляції дозволяють значно покращити енергоефективність та отримати здоровий мікроклімат в приміщенні.

В основі цієї системи лежить рекуператор – це теплообмінник який має два паралельно розташованих вентиляційних потоки, які не змішуються між собою. Повітря яке відводиться і яке подають йде різними каналами, і уже в рекуператорі відбувається обмін теплом, якщо ж наприклад, влітку повітря заходить тепле, то прохолодне повітря на виході може забрати тепло, щоб в приміщення подавалося значно холодніше повітря.

Такі системи обладнані інтелектуальною системою керування, що регулюють обсяг витягнутого повітря, температуру, вологість, та мають спеціальні фільтри для очищення повітря.

ФСА рекуператора виглядає наступним чином:

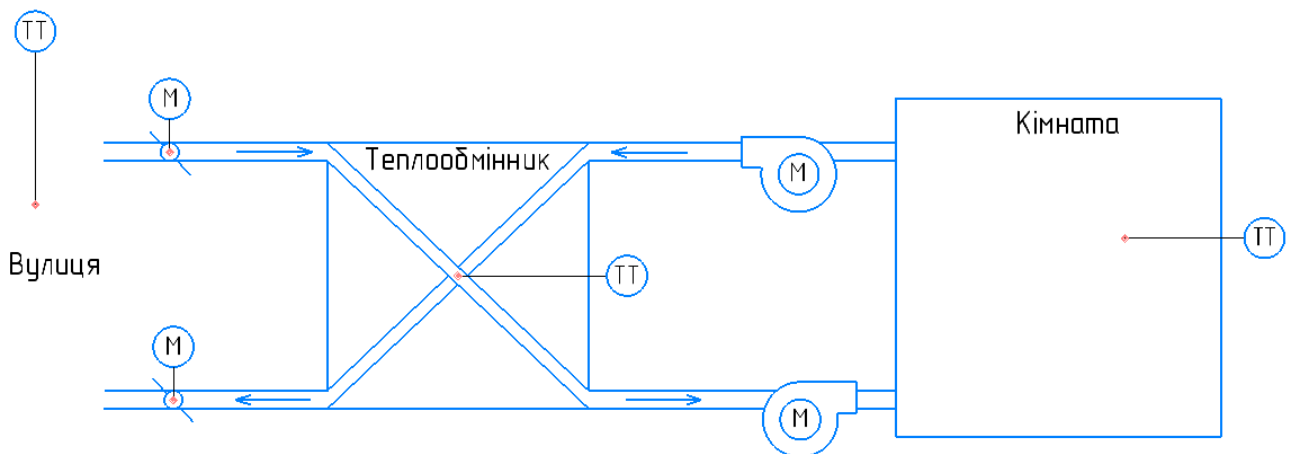


Рисунок 11. ФСА рекуператора повітря

Системи з використанням рекуператора дозволяють значно зменшити витрати на електроенергію, використовувати вже нагріте повітря для нагрівання свіжого повітря, або охолодження, та завдяки сучасним фільтрам дозволяє очистити вхідне повітря. Ці системи особливо ефективні, коли будинок добре тепло та волого ізольований, і потрібен постійний притік свіжого повітря.[11]



Рисунок 12. Рекуператор повітря

### **3. Розробка системи керування та моніторингу клімату в приватному будинку**

#### **3.1 Розробка автоматичної системи керування**

Найважливішим завданням САК кліматом являється підтримання заданих параметрів в допустимих нормах. Розробка надійної та стабільної автоматизованої системи являється важливим процесом, який дозволить інтегрувати сучасні технології для підвищення комфорту та рівня життя. Для того щоб розробити правильну систему, перш за все потрібно визначити потреби та вимоги до системи, розрахувати об'єм приміщень.

Для розроблення САК потрібно розробити ПЗ, веб інтерфейс додатків для телефону, через які будуть керуватися та моніторитися параметри які регулюють. Також особливо важливо підібрати сумісні виконавчі механізми й давачі. Точність та надійність давачів відіграє велику роль, адже від цього на пряму буде залежати швидкість та точність регулювання.

Основні параметри які буде регулювати САК:

- Тепло – основний параметр, який забезпечує комфорт в будинку. Цей параметр буде регулюватися завдяки зміні потужності газового або електричного котла, та зміною положення клапанів на радіаторах опалення, або регулювання термостатів теплої підлоги.
- Волога повітря – від того наскільки цей параметр буде підтримуватись в нормі, залежить стан здоров'я мешканців, оскільки від надмірної вологи починає розвиватися грибок та шкідливі бактерії. Регулюватися цей параметр буде завдяки осушувачам або зволожувачам повітря.

Ці параметри тісно пов'язані між собою, оскільки від зміни вологи залежить також і зміна температури. Вологе повітря маж більшу теплоємність, тому його складніше прогріти, але в свою чергу воно може й віддати більшу кількість тепла. Сухе повітря здатне легше забирати тепло, тому воно більш ефективно охолоджує. Висока вологість на кухні здатна пришвидшити розмноження грибків на продуктах, а це вже може суттєво загрожувати здоров'ю людини. [5]



Збалансована вологість та температура значно допоможуть зберігати енергію а будинку та ефективніше використовувати енерго ресурси. Для точного контролю всіх параметрів, потрібно створити автоматизовану схему управління. Блок схема керування виглядає наступним чином:

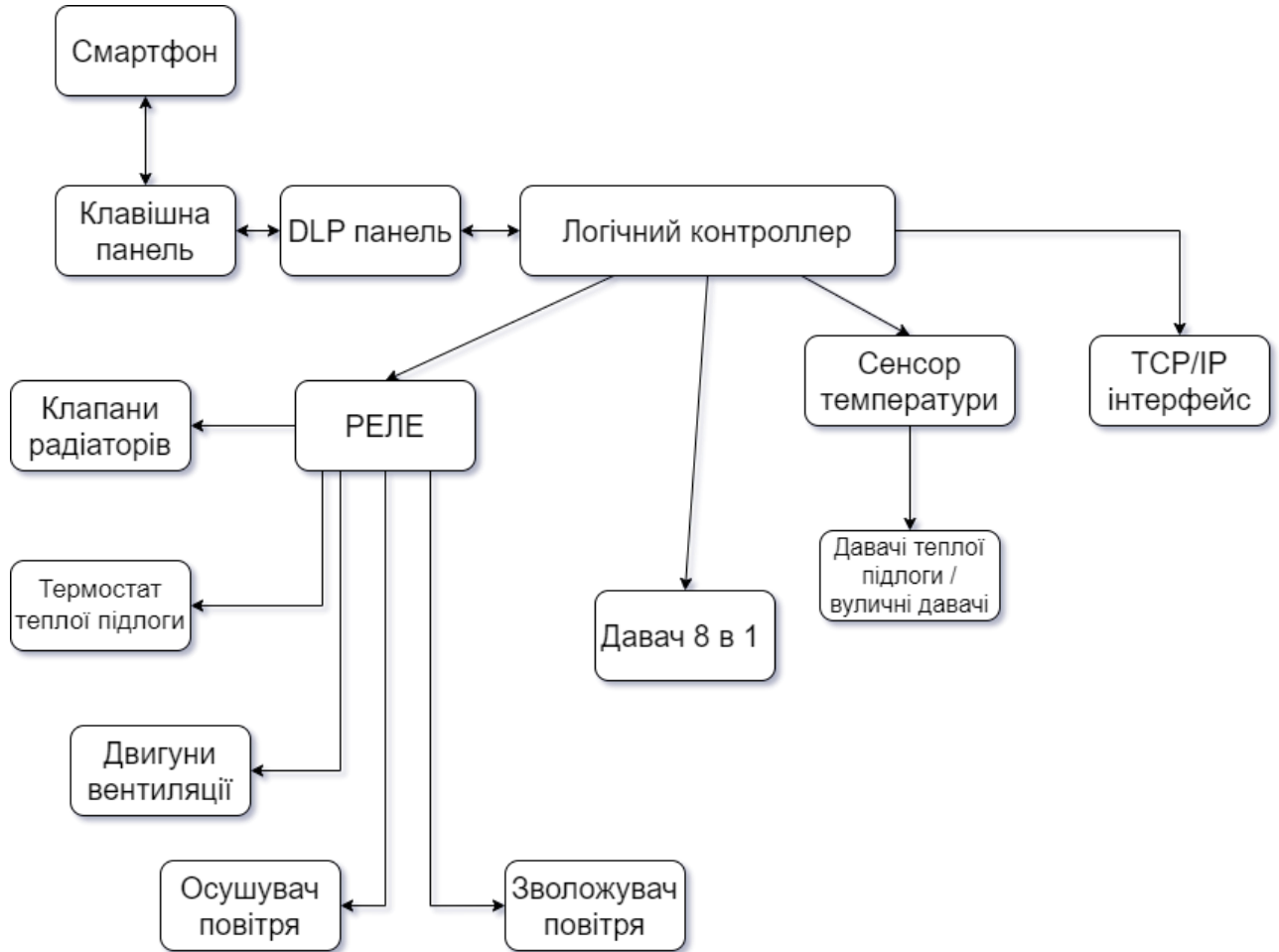


Рисунок 13. Блок схема керування кліматом будинку

Під час роботи системи керування температурою або вологою виникають збурення, спричинені зовнішніми факторами. Головне завдання системи керування це мінімізація, або взагалі усунення таких збурень, шляхом правильно налаштованих регуляторів.

Керування об'єкта відбувається за допомогою спеціальних регуляторів, по закону зміни вихідних параметрів. Система може бути описана диференціальним рівнянням, що являє собою відношення між засобами автоматизації та виконавчими механізмами.

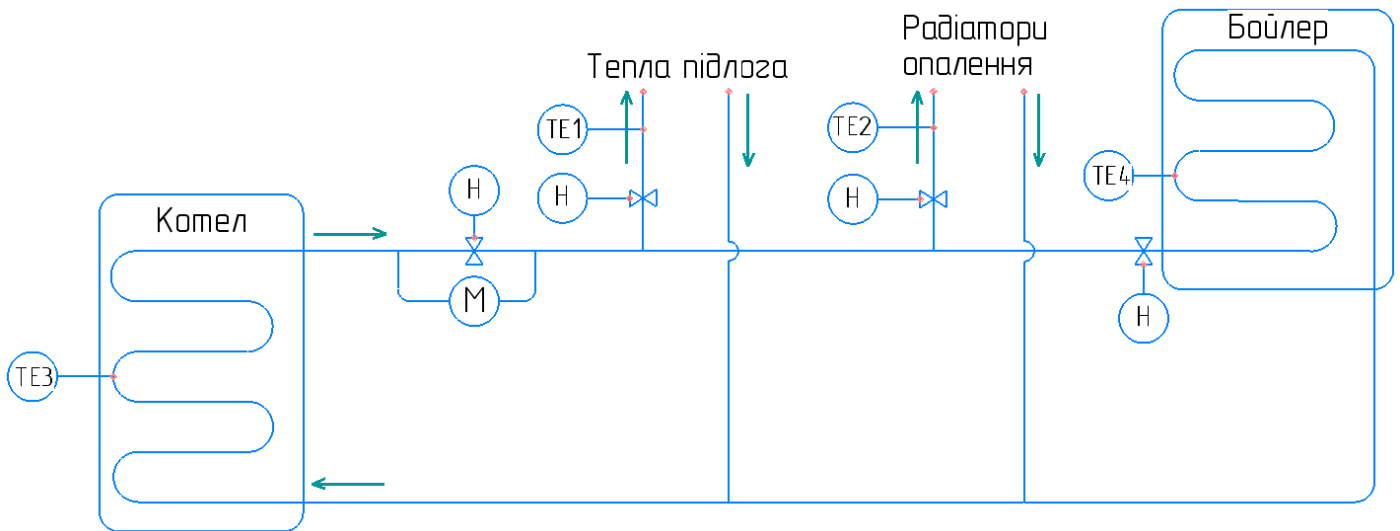


Рисунок 14. ФСА керування температурою

### 3.2 Створення математичної моделі регулювання температури в приміщенні.

Щоб підтримувати постійну температуру в приміщенні, особливо в холодну пору року, потрібно постійно компенсувати тепловтрати. Основні втрати тепла відбуваються через стелю, стіни та інші конструкції. Коли температура зовнішнього середовища менша за температуру в приміщенні, теплові потоки спрямовані назовні. Для підтримання бажаної температури, ці тепловтрати потрібно компенсувати за допомогою системи опалення. Формули, які використовуються для розрахунку тепловтрат, ґрунтуються на різниці температур в середині будівлі та ззовні, також на розмірах конструкцій та їх теплопровідності для того щоб визначити кількість тепла яке втрачається.

В контролері задається бажана температура, яку виставляє користувач за допомогою спеціальних пристроїв, таке значення називають заданою температурою. Створимо математичну модель регулятора температури в приміщенні

Позначимо:

$T(t)$  - температура в приміщенні в момент часу  $t$

$T_z$  - задана (бажана) температура в приміщенні

$P(t)$  - потужність нагрівача в момент часу  $t$

$C$  - теплоємність приміщення

$R$  - тепловий опір приміщення

$T_{зовн}$  - температура зовнішнього середовища

Тоді математична модель теплового балансу буде:

$$C \cdot dT/dt = P(t) - (T(t) - T_{зовн})/R$$

Якщо підставити замість  $P(t)$  керування у вигляді ПІД-регулятора, то отримаємо:

$$P(t) = P_0 + K_p \cdot e(t) + K_i \int e(t) \cdot dt + K_d \cdot de(t)/dt$$

де  $e(t) = T_z - T(t)$  - помилка регулювання

$P_0$  - постійна складова потужності

$K_p, K_i, K_d$  - коефіцієнти регулятора

Отже, маємо математичну модель системи регулювання температури з ПІД-регулятором. Підбираючи параметри регулятора  $K_p, K_i, K_d$  можна досягти необхідної якості регулювання.

Знайдемо постійну складову потужності нагрівача. Постійна складова потужності нагрівача  $P_0$  - це та частина потужності, яка не залежить від зміни температури і забезпечує базовий рівень обігріву.

Щоб знайти  $P_0$ , скористаємось сталим тепловим режимом, коли  $dT/dt = 0$ , тобто температура не змінюється.

Тоді рівняння теплового балансу набуде вигляду:

$$P_0 - (T_0 - T_{зовн})/R = 0$$

Звідси:

$$P_0 = (T_0 - T_{зовн})/R$$

де:

$T_0$  - температура в приміщенні в сталому режимі,

$T_{зовн}$  - температура зовнішнього середовища,

$R$  - опір теплопередачі приміщення.

Отже, щоб знайти  $P_0$ , потрібно виміряти або розрахувати  $T_0, T_{зовн}$  та  $R$  и підставити в формулу вище. Це і буде шукана постійна складова потужності нагрівача.

$T_0$  - температура в приміщенні в сталому режимі. Прийmemo її рівною  $20^\circ\text{C}$ . Це комфортна температура для перебування людини в приміщенні.

$T_{зовн}$  - температура зовнішнього середовища (на вулиці). Взимку в Україні вона в середньому становить  $-5^\circ\text{C}$ . Візьmemo саме це значення.

R - опір теплопередачі приміщення. Розрахуємо його виходячи з геометрії приміщення та теплоізоляційних властивостей стін.

Припустимо приміщення має розміри 5x5x3 м, а опір теплопередачі одиниці площі зовнішньої стіни становить 3 (м<sup>2</sup>•°C)/Вт.

Тоді загальний опір теплопередачі:

$$R = \Sigma S/\alpha = S \cdot R_1 = 4 \cdot 5 \cdot 3 + 5 \cdot 3 \cdot 3 = 120 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$$

Де  $\Sigma S = 30 \text{ м}^2$  - загальна площа зовнішніх стін,

$\alpha = 3 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$  - опір одиниці площі стіни.

Отже, приймаємо:

$$T_0 = 20^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{зовн}} = -5^\circ\text{C}$$

$$R = 120 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$$

І підставляємо ці значення у формулу для розрахунку P<sub>0</sub>.

$$P_0 = (T_0 - T_{\text{зовн}})/R$$

$$P_0 = (20 - (-5))/120$$

$$P_0 = 25/120$$

$$P_0 = 0.21 \text{ кВт}$$

Отже, постійна складова потужності нагрівача для підтримання температури 20°C в даному приміщенні розміром 5x5x3 м з опором теплопередачі 120 (м<sup>2</sup>•°C)/Вт при зовнішній температурі -5°C становить 0.21 кВт.

Це означає, що в сталому режимі, для підтримання постійної в приміщенні температури на рівні 20°C, нагрівач повинен постійно споживати потужність 0.21 кВт, незалежно від дії системи автоматичного регулювання.

Знайдемо передаточну характеристику об'єкту. Передаточна функція показує залежність вихідної величини (температури  $T$ ) від вхідної (потужності нагріву  $P$ ).

З диференціального рівняння системи:

$$C \cdot dT/dt = P(t) - (T(t) - T_{зовн})/R$$

Після перетворення Лапласа отримаємо:

$$CT \cdot s = P(s) - (T(s) - T_{зовн})/R$$

Звідки передаточна функція:

$$W(s) = T(s)/P(s) = 1/(C \cdot s + 1/R)$$

Де:

$T(s)$  - зображення температури за Лапласом,

$P(s)$  - зображення потужності,

$C$  - теплоємність,

$R$  - коефіцієнт тепловіддачі.

Щоб знайти невідомі параметри в передаточній функції системи регулювання температури, скористаємось наступними міркуваннями:

$$W(s) = T(s)/P(s) = k / (T_1 \cdot s + 1)$$

де:

$k$  - коефіцієнт підсилення

$T_1$  - постійна часу системи

Запишемо цю передаточну функцію в початковому вигляді:

$$W(s) = 1/(C \cdot s + 1/R)$$

Порівнюючи ці два вирази, отримуємо:

$$k = 1$$

$$T1 = C/R$$

Отже, щоб знайти невідомі параметри, потрібно задати числові значення для теплоємності  $C$  та коефіцієнта тепловіддачі  $R$ .

Наприклад, якщо  $C = 200$  Дж/град,  $R = 5$  град/(Вт·с), тоді:

$$k = 1$$

$$T1 = C/R = 200/5 = 40 \text{ с}$$

Тобто передаточна функція матиме вигляд:

$$W(s) = 1/(40 \cdot s + 1)$$

З цими значеннями можна проводити моделювання в Matlab/Simulink.

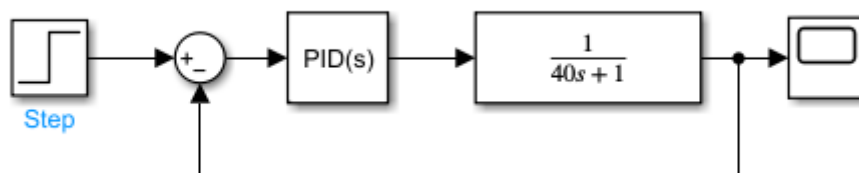


Рисунок 15 Схема контуру регулювання температури

Після налаштування регулятора на найменший перехідний процес маємо наступний графік перехідного процесу:

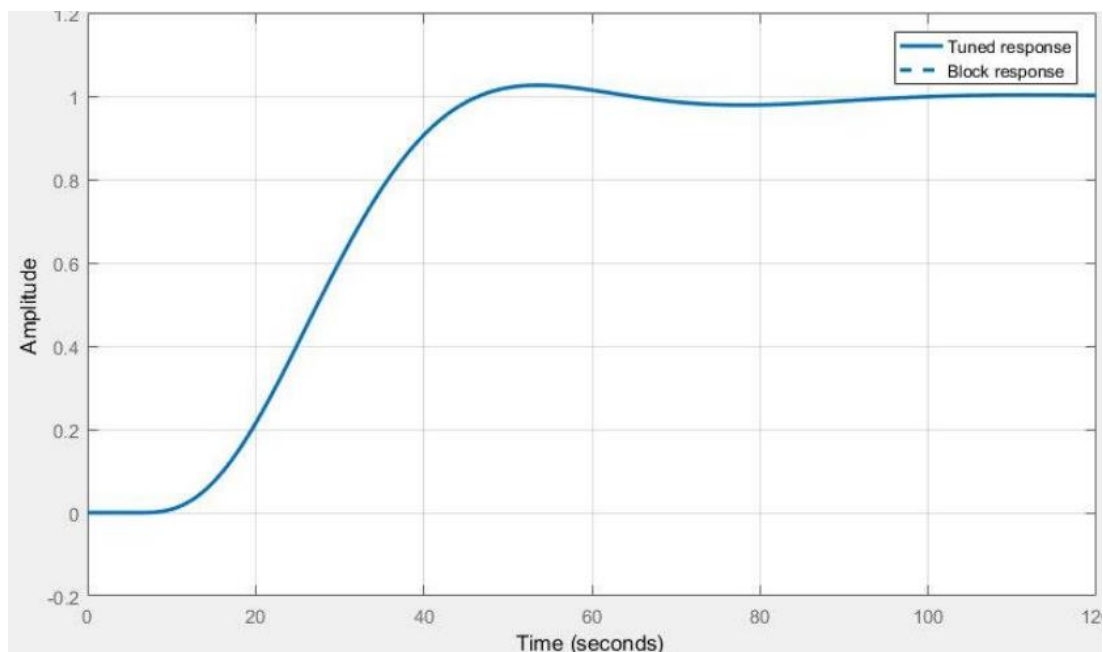


Рисунок 16. Перехідний процес налаштованого регулятора

### 3.3 Створення математичної моделі регулювання вологи в приміщенні.

Стандартний, комфортний рівень вологи в приміщенні знаходиться в діапазоні 50-60 %. Такий рівень вологи дозволяє зменшити ризик захворювань, мінімізує шанси на розповсюдження грибка та шкідливих мікроорганізмів.

В приміщенні знаходиться декілька давачів, які вимірюють рівень вологи в різних частинах кімнати, для більш точного регулювання. На контролері виставляється бажана вологість, і після отримання всіх даних з давачів, контролер вираховує потужність, яку потрібно подати на виконуючі механізми, для зменшення або збільшення вимірюваного параметру та підтримання його в допустимих нормах.

У випадку, коли волога більше за задане значення, контролер посилає сигнал на осушувач, або заслінку, яка здатна випускати зайву вологу назовні. Якщо волога недостатня, що особливо відчувається у сезон опалення, контролер подає сигнал на зволожувач, який працює доки рівень вологи не дійде заданого значення. В ті моменти коли працює зволожувач, заслінка або осушувач повинні бути вимкнені, і навпаки, коли відкрита заслінка або працює осушувач, зволожувач повітря має бути вимкнений.

Створимо математичну модель регулятора вологи в приміщенні.  
Позначимо:

$\varphi(t)$  - вологість повітря в приміщенні в момент часу  $t$

$\varphi_3$  - задана (бажана) вологість

$W(t)$  - потужність зволожувача повітря в момент часу  $t$

$V$  - об'єм приміщення

$\alpha$  - коефіцієнт масовіддачі (швидкість випаровування)

$\varphi_n$  - вологість зовнішнього повітря

Тоді математична модель вологообміну запишеться:

$$V \cdot d\varphi/dt = W(t) - \alpha(\varphi(t) - \varphi_n)$$



Якщо підставити замість  $W(t)$  керування ПІД-регулятора, то отримаємо:

$$W(t) = W_0 + K_p \cdot e(t) + K_i \cdot \int e(t) dt + K_d \cdot de(t)/dt$$

де  $e(t) = \varphi_3 - \varphi(t)$  - помилка регулювання

$W_0$  - постійна потужність зволожувача

$K_p, K_i, K_d$  - коефіцієнти регулятора

Щоб знайти постійну складову потужності зволожувача повітря  $W_0$ , скористаємося умовою сталого режиму, коли  $d\varphi/dt = 0$ , тобто вологість не змінюється.

Тоді рівняння вологообміну набуде вигляду:

$$W_0 - \alpha(\varphi_0 - \varphi_n) = 0$$

Звідси постійна складова потужності зволожувача:

$$W_0 = \alpha(\varphi_0 - \varphi_n)$$

де:  $\varphi_0$  - вологість повітря в приміщенні в сталому режимі,

$\varphi_n$  - вологість зовнішнього повітря,

$\alpha$  - коефіцієнт масовіддачі.

Щоб знайти числове значення  $W_0$ , потрібно задати параметри  $\varphi_0, \varphi_n, \alpha$  та підставити їх в формулу. Наприклад, нехай  $\varphi_0 = 50\%$ ,  $\varphi_n = 30\%$ ,  $\alpha = 0.05$  кг/с.

Тоді:

$$W_0 = 0.05 \cdot (50\% - 30\%) = 0.01 \text{ кВт}$$

Отже, шукана постійна потужність зволожувача  $W_0 = 0.01$  кВт. З цим значенням можна проводити подальше моделювання системи.

Запишемо передаточну функцію розімкненої системи регулювання вологості повітря в приміщенні:

Із диференціального рівняння моделі:

$$V \cdot d\varphi/dt = W(t) - \alpha(\varphi(t) - \varphi_n)$$

Після перетворення Лапласа:

$$V \cdot \varphi(s) \cdot s = W(s) - \alpha(\varphi(s) - \varphi_H)$$

Звідки передаточна функція:

$$W(s) = \varphi(s)/W(s) = 1/(V \cdot s + \alpha)$$

Де:

$\varphi(s)$  - зображення вологості за Лапласом,

$W(s)$  - зображення потужності зволожувача,

$V$  - об'єм приміщення,

$\alpha$  - коефіцієнт масовіддачі.

Отже, передаточна функція являє собою дріб зі знаменником у вигляді аперіодичної ланки 1-го порядку. Ця функція описує динамічні властивості процесу регулювання вологості.

Знайдемо числові значення для параметрів передаточної функції системи регулювання вологості:

$\varphi(s)$  - зображення вологості за Лапласом. Це оригінал, тобто сама регульована величина - вологість повітря в приміщенні.

$W(s)$  - зображення керуючого впливу - потужності зволожувача. Прийmemo  $W(s)=1$ , оскільки це вхідний вплив.

$V$  - об'єм приміщення. Прийmemo  $V=100$  м<sup>3</sup>.

$\alpha$  - коефіцієнт масовіддачі (швидкість випаровування). Для водяної пари прийmemo значення 0.05 кг/с.

Підставляючи ці значення в передаточну функцію, отримуємо:

$$W(s) = \varphi(s)/1 = 1/(100 \cdot s + 0.05)$$

Де  $\varphi(s)$  - оригінал вологості, яку необхідно регулювати в системі.

Тобто маємо конкретизовану передаточну функцію об'єкта регулювання для подальшого аналізу та синтезу системи.

Підставимо числові значення у вже записану раніше передаточну функцію системи регулювання вологості повітря:

$$W(s) = \varphi(s) / W(s) = k / (T1 \cdot s + 1)$$

Де:  $k$  - коефіцієнт підсилення  $T1$  - постійна часу

Підставляємо значення:

$$k = 1 \text{ (приймаємо рівним 1)}$$

$$T1 = V/\alpha$$

Знайдені раніше значення:

$$V = 100 \text{ м}^3$$

$$\alpha = 0.05 \text{ кг/с}$$

Тоді:

$$T1 = V/\alpha = 100/0.05 = 2000 \text{ с}$$

Остаточно отримуємо передаточну функцію із числовими значеннями параметрів:

$$W(s) = \varphi(s) / W(s) = 1 / (2000 \cdot s + 1)$$

Де  $\varphi(s)$  - зображення вологості повітря в приміщенні, яку необхідно регулювати.

Тепер цю модель можна використовувати для аналізу та синтезу системи автоматичного регулювання вологості.

Схема контуру регулювання вологи в приміщенні виглядає наступним чином:

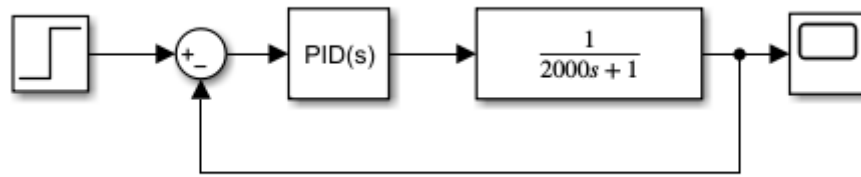


Рисунок 17. Контур регулювання вологи

Далі налаштовуємо регулятор на мінімальний перехідний процес:

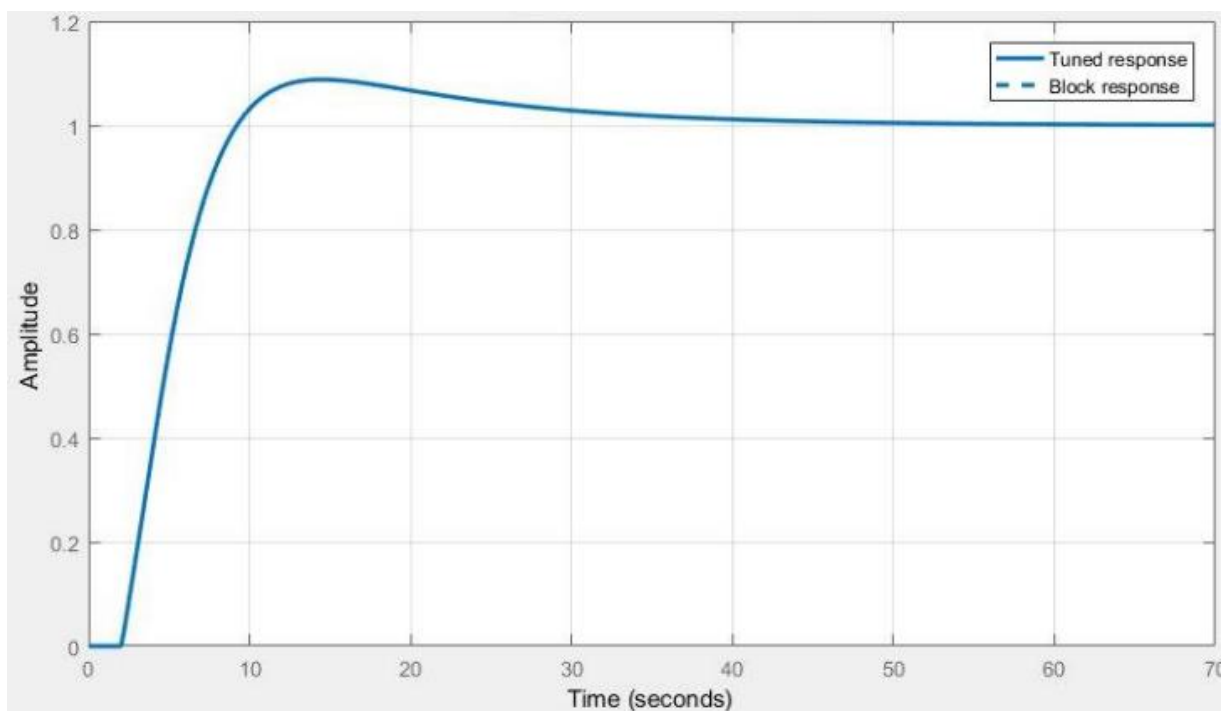


Рисунок 18. Перехідний процес налаштованого регулятора

#### **4. Вибір засобів автоматизації для системи автоматичного керування та моніторингу клімату будинку.**

Вибір засобів автоматизації та виконавчих механізмів являється дуже важливою та складною задачею, оскільки всі механізми повинні бути сумісні між собою, і при цьому відповідати вимогам системи опалення та вентиляції.

Основні критерії на яких ґрунтується вибір виконавчих механізмів:

1. Ефективність. Двигуни та датчики повинні мати максимальну продуктивність та надавати необхідні параметри без перешкод.
2. Енергоефективність. Один із найважливіших параметрів, оскільки від того скільки енергії споживають двигуни, елементи нагрівання, тощо, від цього буде залежати в яку суму буде обходитися вся система власнику.
3. Сумісність. Всі елементи повинні бути сумісні між собою, і легко інтегруватися з системою керування.
4. Надійність. Важливо обрати такі механізми та датчики, які будуть працювати максимально довго без потреби в обслуговуванні, адже від цього залежить позитивний досвід використання автоматизованої системи.
5. Вартість. Цей критерій найважливіший для замовника, оскільки, якщо ціна занадто велика, встановлення системи буде не доцільно.

Вибір виконавчих механізмів базується на цих критеріях, при правильному дотриманні яких ви отримаєте оптимальну працездатність та ефективність системи керування кліматом в приватному будинку.

#### 4.1 Контролер Zipabox -G1

В сучасному будинку контролер є центром керування всіма процесами, які відбуваються майже без участі людини. В якості контролера будемо використовувати контролер розумного будинку Zipabox – G1 Zipato 14265.

Працює контролер з системою Z-Wave, за допомогою комп'ютера або ж смартфона через спеціальний додаток, який можна безкоштовно скачати в інтернеті. Завдяки інтуїтивно зрозумілому інтерфейсу, налаштувати і використовувати систему контролю кліматом доволі легко, навіть людині, яка мало що розуміє в цій сфері.[12]



Рисунок 19. Контролер розумного будинку

Контролер Zipabox -G1 дозволяє розширити використання, за допомогою додаткових модулів, які під'єднуються через вбудований спеціальний порт. Різноманіття модулів дозволяє створити систему керування будь якої складності, що дозволяє виконати будь – які побажання замовника. Контролер вміє

управляти майже всіма електронними приладами, такими як термостати, жалюзі, засувки, та системи контролю освітлення.

Ці всі функції дозволяють виконувати контролеру багато простих але рутинних діл, які займають багато часу, який можна використати з більшою користю. Контролер підходить для автоматизації як малої квартири так і будинку середнього розміру.

Основні функції контролера:

1. Він сумісний зі всіма приладами які підтримують протокол Z – Wave, включаючи замки, додаткові контролери , давачі тощо.
2. Потужний процесор та 32 Мб оперативної пам'яті забезпечить максимальну продуктивність та швидкість роботи як інтерфейсу так і приладів регулювання.
3. Контролер оснащений USB та WAN портами.
4. Інтуїтивною зрозуміле та не складне керування зі смартфона з будь якої частини світу, за умови наявності інтернету.
5. Контролер вміє керувати всіма процесами в бездротовому режимі, що дозволяє встановити його в будь-якому зручному місці в будинку, уникаючи купи зайвих кабелів.

## 4.2 Рекуператор повітря

Завдяки рекуперації можна зберегти до 90% тепла, яке виходить через вентиляцію. В зв'язку з цим, вибір рекуператора це важливий процес, оскільки чим якісніше та краще буде сам рекуператор, тим більше теплової енергії він зможе зберегти. Основний принцип роботи, полягає в тому, що він використовує тепло витягнутого повітря для попереднього нагріву повітря, яке йде з вулиці, яке потім поступає до приміщення. Завдяки цьому принципу заощаджується основна частина теплової енергії, оскільки вже нагріте повітря використовується для нагріву свіжого повітря, яке йде в приміщення.

В нашій системі буде використовуватися рекуператор Домовент Соло РА1-35-9 Р В.2. Він буде забезпечувати приміщення чистим повітрям, з мінімальними втратами тепла. Даний рекуператор має коефіцієнт рекуперації близько 85%.



Рисунок 17. Рекуператор повітря

Даний рекуператор має функцію керування з пульта, на відміну від схожих моделей, які не мають такої функції. Також рекуператор має вбудований датчик вологості та реверсивний двигун, з можливістю працювати в 2-х швидкісних режимах. Для більшого комфорту, рекуператор має нічний режим, що набагато зменшує шум в нічні години.



На вході повітря з вулиці встановлені якісні фільтри, які очищують повітря від пилу бруду, та небезпечних мікроелементів, це також дозволяє зменшити забруднення самого рекуператора і збільшити строк служби.

В якості теплообмінника встановлено керамічний регенератор, який має високий ККД, та в порівнянні зі звичайними радіаторами, набагато довший строк служби.

Також рекуператор має декоративні накладки з обох боків, що дозволяє уникнути потрапляння сторонніх речей та вологи в середину приміщення.

Рекуператор має просте, інтуїтивно зрозуміле управління, на пульті керування є клавіші вибору швидкості двигуна, ввімкнення датчика вологості та кнопка нічного режиму.

Працює рекуператор від 220 вольт 1 фазного струму. На максимальній швидкості витрати повітря складають 46 м<sup>3</sup>/год. Споживча потужність 2.30 Вт, а рівень шуму на максимальній потужності 26 дБ.

### 4.3 Клавішна настінна панель.

Для вводу даних в контролер та виводу температури та вологості будемо використовувати клавішну настінну панель з екраном DLP. Він має вісім кнопок та багатофункціональний LCD дисплей. Кнопки можуть бути окремо запрограмовані для окремих задач, також для більш зручного використання на кожну клавішу можна присвоїти свою іконку на дисплеї.



Рисунок 18. Клавішна панель

Напруга живлення панелі від 12 до 30 вольт постійного струму.

Основні функції панелі:

1. Підсвітка яка налаштовується.
2. Різні сторінки для теплої підлоги, музики, вентиляції і тд.
3. Онлайн оновлення.
4. Комбінація кнопок та подвійне натискання, що дозволяє збільшити варіативність.
5. Можливість під'єднати пульт ДУ.

#### 4.4 Розумний термостат

Для контролю температури та управління нагрівальними елементами будемо використовувати розумний термостат Ecobee 3 Lite Smart. Це розумний термостат, який допоможе значно заощадити на опаленні. Термостат вміє інтегруватися у вже існуючі системи розумного будинку і працювати з ними. [10]



Рисунок 19. Зовнішній вигляд розумного термостату

Розумний термостат має управління та налаштування через додаток у смартфоні а звіти які він збирає, допоможуть вам розуміти скільки йде грошей на опалення. Даний термостат здатен використовувати дані про погоду, для коригування управління температурою в приміщенні. [13]

#### 4.5 Електропривід повітряної заслінки

Для правильного керування бідь – якими заслінками які знаходяться в системах вентиляції або кондиціонування будемо використовувати електропривід повітряної заслінки Velimo CM230L.



Рисунок 20. Привід повітряної заслінки

Електропривід має просте встановлення, монтується на вал заслінки, і за допомогою механічних упорів встановлюється спеціальними механічними фіксаторами. Даний електропривід має захист від перевантаження, не вимагає використання кінцевих вимикачів, і після досягнення заданого положення зупиняється автоматично.

#### 4.6 Реле з лічильником електроенергії.

Для бездротової комутації виконавчих механізмів таких як нагрівачі, бойлери, вентилятори тощо. Будемо використовувати реле Z -Wave Qubino Flush. Таке реле має просте монтування. Воно працює із змінним або постійним струмом від 24 до 30 В.



Рисунок 21. Реле з лічильником електроенергії

Особливість реле в тому, що воно вмiє вимiрювати енергоспоживання приборiв, якi пiдключенi до нього. Має давач температури, для захисту вiд перегрiву. Для легкого монтажу оснащений спецiальним крiпленням.

#### 4.7 Кран з електроприводом

Для регулювання подачі опалення або перекриття труб в разі протікання води будемо використовувати кульовий кран з електроприводом HC BD3 KLD.



Рисунок 22. Кран з електроприводом

Такий кульовий кран має стабільну швидкість при старті роботи, щоб уникнути можливий гідроудар та поломку механізму. Особливість цього крану, що є можливість ручного управління, що зручно особливо при вимкненні електроенергії. Він створений з нержавіючої сталі, а час повного повороту складає 7 секунд.

## **Висновок**

У ході виконання магістерської роботи було розглянуто основні способи автоматичного керування та моніторингу клімату в приватному будинку. Було розглянуто існуючі методи та виконавчі механізми для автоматизації процесу регулювання кліматом. Створено математичну модель та використано PID регулятор для більш точного та економнішого регулювання бажаних параметрів. Також було обрано датчики та виконано підбір виконавчих механізмів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Greenhouse Control Systems & Technology -  
<https://www.climatecontrol.com/blog/greenhouse-control-systems/>
2. Клімат контроль для квартири та будинку -  
<https://alterair.ua/ventilyatsiya/microclimat-v-dome-i-kvartire/>
3. Управління кліматом - <https://www.sowa.kiev.ua/klimat/>
4. Вентиляція і кліматичні системи - <https://remontu.com.ua/upravlinnya-klimatom-v-budinku-ventilyaciya-i-klimatichni-sistemi>
5. Climate control for home: features, settings and management -  
<https://homme.tech/en/climate-control>
6. CLIMATE-CONTROL AND A SMART HOUSE -  
<https://www.larnitech.com/blog/climate-control-and-a-smart-house/>
7. Residential Climate Control and HVAC -  
<https://www.st.com/en/applications/home-building-and-city-automation/residential-climate-control-and-hvac.html>
8. Home temperature control -  
[https://energyeducation.ca/encyclopedia/Home\\_temperature\\_control](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Home_temperature_control)
9. Temperature Control Inside the House – cool houses in hot climates -  
<https://www.healthabitat.com/research-development/temperature-control-inside-the-house-cool-houses-in-hot-climates/>
10. Smart Home Climate Control System - <https://www.cornflake.co.uk/smart-home/smart-heating/>
11. Повітряні побутові рекуператори тепла -  
<https://vencon.ua/ua/catalog/bytovye-rekuperatory>
12. Клімат контроль для будинку: можливості, налаштування та управління -  
<https://homme.tech/climate-control>
13. Розумні термостати - <https://z-wave.com.ua/ua/g855640-umnye-termostaty>
14. Утеплення будинку - <https://teplodim.info/uk/useful-articles/uteplenie-chastnogo-doma-materialy-i-tehnologii>
15. Що таке «розумний будинок» і навіщо він потрібен? -  
<https://stylus.ua/uk/articles/528.html>