

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем

БІЛЬЧУК Світлана Сергіївна

**Автоматизована система управління мікроклімату
приватного будинку / Automated microclimate control
system for a private house**

спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології

освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-
інтегровані технології

Кваліфікаційна робота

Виконала студентка групи АКІТ - 41
С.С. Більчук

Науковий керівник
к.т.н., доцент І.Р.Пітух

Кваліфікаційну роботу допущено
до захисту:

« ____ » _____ 2025 р.

Завідувач кафедри

_____ А.І.Сегін

ТЕРНОПІЛЬ – 2025

Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем
Освітній ступінь "бакалавр"

Спеціальність: 151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри СКС

А.І.Сегін

“ ____ ” _____ 20__ р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
БІЛЬЧУК Світлана Сергіївна

(прізвище, ім'я по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Автоматизована система управління мікроклімату приватного будинку / Automated microclimate control system for a private house.

керівник роботи

к.т.н., доцент І.Р. Пітух

затверджені наказом по університету від «28» листопада 2024 р. № 938

2. Строк подання студентом закінченої кваліфікаційної роботи: 15.05.2025р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:

1. Сучасні системи автоматизації приватного будинку.

2. Будова та функції підсистем мікроклімату.

3. Принцип роботи підсистем опалення, вентиляції та кондиціонування.

4. Технічні засоби автоматизації.

4. Основні питання, які потрібно розробити:

1. Аналіз сучасних технологій та систем автоматизації.

2. Розробка автоматизованої системи управління мікрокліматом приватного будинку.

3. Реалізація автоматизованої системи управління мікрокліматом.

5. Перелік графічного матеріалу у роботі:

1. Функціональна схема АСУ.

2. Архітектура АСУ мікрокліматом.

3. Схема алгоритму керування температурним режимом.

4. Схема алгоритму роботи підсистеми вентиляції.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Пітух І.Р.		
2	Пітух І.Р.		
3	Пітух І.Р.		

7. Дата видачі завдання 01 грудня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назви етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз сучасних технологій та систем автоматизації	12.2024р. – 01.2025р.	
2	Розробка автоматизованої системи управління мікрокліматом приватного будинку	02.2025р. – 03.2025р.	
3	Реалізація автоматизованої системи управління мікрокліматом	04.2025р. – 05.2025р.	

Студент

Більчук С.С.

(підпис)

Керівник роботи

к.т.н., доцент Пітух І.Р.

(підпис)

АНОТАЦІЯ

Більчук С.С. Автоматизована система управління мікроклімату приватного будинку. – Рукопис.

Дослідження на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», освітньо-професійна (наукова) програма. – Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, 2025.

У роботі проведено аналіз існуючих технологій автоматизації в системах «розумного будинку», що дозволило визначити важливість оптимізації енергоспоживання та стабільності мікроклімату. Досліджено будову та функції систем автоматизації приватного будинку, зокрема підсистем опалення, вентиляції та кондиціонування. Розроблено функціональну схему, архітектуру системи та алгоритми її роботи, що забезпечують автоматичне регулювання температури та енергоспоживання в залежності від зміни навколишнього середовища та потреб користувачів.

ANNOTATION

Bilchuk, S.S. Automated microclimate control system for a private house. - Manuscript.

Doctoral studies for the education level «Bachelor'» with the title 151 Automation and Computer-Integrated Technologies. – West Ukrainian National University, Ternopil, 2025.

The work an analysis of existing automation technologies in "smart home" systems, which allowed for determining the importance of optimizing energy consumption and maintaining climate stability. The structure and functions of automation systems in private homes were investigated, including heating, ventilation, and air conditioning subsystems. A functional scheme, system architecture, and operating algorithms were developed, ensuring automatic regulation of temperature and energy consumption based on changes in the environment and user needs.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	5
ВСТУП	6
1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ БУДИНКУ.....	8
1.1 Аналіз систем автоматизації приватного будинку.....	8
1.2 Будова та функції систем розумного будинку.....	9
1.3 Цілі впровадження автоматизованої системи управління мікрокліматом.....	17
2. РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ МІКРОКЛІМАТОМ ПРИВАТНОГО БУДИНКУ.....	19
2.1 Функції та компоненти систем управління мікрокліматом.....	19
2.2 Розробка функціональної схеми.....	21
2.2.1 Підсистема опалення.....	23
2.2.2 Підсистема вентиляції та кондиціонування.....	29
2.3 Розробка архітектури проєктованої системи.....	31
2.4 Обґрунтування вибору технічних засобів автоматизації	33
3. РЕАЛІЗАЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ МІКРОКЛІМАТОМ.....	48
3.1 Математичне моделювання системи управління мікрокліматом.....	48
3.2 Моделювання системи автоматичного регулювання температури....	51
3.3 Оптимізація роботи проєктованої системи.....	54
ВИСНОВКИ.....	57
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	59

					ДП.АКІТ.9702506.00.00.000ПЗ							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Автоматизована система управління мікроклімату приватного будинку / Automated microclimate_control system for a private house			Літ.	Арк.	Акрушіє		
Розроб.		Більчук С.С.								4	61	
Перевір.		Пітух І.Р.						ЗУНУ.ФКІТ.АКІТ-41				
Консульт.		Пітух І.Р.										
Н. Контр.		Заставний О.М.										
Затверд.		Сегін А.І.										

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ТЗА – технічні засоби автоматизації;

АСУ – автоматизована система управління;

ПЗ – програмне забезпечення;

ПЛК - програмований логічний контролер;

ВМ - виконавчий механізм;

ОК - об'єкт керування.

					ДП.АКІТ.9702506.00.00.000ПЗ	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ВСТУП

Актуальність теми. Автоматизація житлових та промислових об'єктів стає одним із ключових напрямків розвитку технологій, спрямованих на підвищення енергоефективності, комфорту та безпеки. Зокрема, концепція «розумного будинку» передбачає інтеграцію різних інженерних систем у єдину автоматизовану систему управління (АСУ), що дозволяє мінімізувати втручання людини в процеси регулювання мікроклімату, енергоспоживання та безпеки. Така система здійснює контроль за параметрами клімату у приміщенні, та реагувати на їх зміну відповідно до запрограмованих алгоритмів.

Основною перевагою АСУ мікроклімату є її здатність ефективно взаємодіяти з користувачем. Користувач може одним натисканням кнопки задати бажані параметри, а система автоматично налаштує роботу всіх інженерних мереж та електроприладів відповідно до встановлених значень та поточного стану системи. Це відрізняє систему «розумний будинок» від традиційних способів організації житлового простору.

Централізоване управління усуває потребу у використанні великої кількості пультів, вимикачів та окремих блоків керування для освітлення, вентиляції, опалення, відеоспостереження та сигналізації. Достатньо кількох дій у системі управління, щоб будинок автоматично налаштував усі параметри відповідно до побажань власника, часу доби, погодних умов та рівня зовнішньої освітленості, забезпечуючи комфортний мікроклімат.

Впровадження системи АСУ дозволяє оптимізувати використання ресурсів, знизити витрати на експлуатацію та забезпечити повний контроль за всіма системами будівлі в максимально зручному форматі для користувача.

Зважаючи на зростаючу потребу в енергоефективних рішеннях, підвищеному рівні комфорту та інтеграції комп'ютерно-інтегрованих технологій у побут, дана тема є актуальною та має практичне значення.

Мета кваліфікаційної роботи дослідження та розробка АСУ мікрокліматом приватного будинку, що дозволяє контролювати параметри, а також автоматично регулювати роботу систем забезпечення клімату відповідно до

					ДП.АКІТ.9702506.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		6

змін температурних умов.

Поставлена мета обумовлює необхідність вирішення ряду завдань:

- провести аналіз сучасних технологій автоматизації, що застосовуються в системах «розумного будинку»;
- дослідити технологічні особливостей процесів опалення, вентиляції та кондиціонування повітря в умовах приватного житла;
- розробити функціональну схему проекрованої системи керування;
- розробити архітектуру проекрованої системи;
- обґрунтувати вибір технічних засобів для реалізації АСУ;
- оптимізувати параметри регулювання температури для досягнення стабільного режиму роботи АСУ.

Предметом дослідження є АСУ мікрокліматом приватного будинку.

Об'єктом дослідження система автоматичного контролю та регулювання показників мікроклімату.

Методи дослідження – аналіз і синтез, методи математичного моделювання, методи оптимізації, експериментальне моделювання.

Практичне значення одержаних результатів полягає у тому, що впровадження запропонованої АСУ мікрокліматом на приватних об'єктах дозволить знизити енергоспоживання, підвищити енергоефективність приватного будинку та забезпечити стабільні та комфортні умови проживання.

Публікації.

Більчук Світлана, Кобеля Михайло, Дмитрусь Володимир Автоматизована система керування фізичних параметрів середовища для різних типів об'єктів / Збірник матеріалів всеукраїнської науково-практичної конференції «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» (АКІТ - 2025), Тернопіль, 2025. - с. 18-21

					ДП.АКІТ.9702506.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		7

1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ БУДИНКУ

1.1 Аналіз систем автоматизації приватного будинку

Автоматизація приватного будинку забезпечує централізоване управління різними системами, що знаходяться в межах житлового приміщення. Вона дозволяє не лише керувати окремими елементами, такими як опалення чи освітлення, а й здійснювати повний контроль над усіма інженерними системами. Застосування автоматизованих рішень дозволяє інтегрувати різні функції та системи будинку для досягнення максимальної ефективності, енергозбереження та комфорту для мешканців.

Розумний дім – це житло, оснащене підключеними пристроями, які можна програмувати та дистанційно керувати за допомогою смартфона, комп'ютера або інших пристроїв (рисуюнок1.1). Ці технології дозволяють автоматизувати різні частини житлового простору [1–3].



Рисунок 1.1 – Технологія «Розумний дім»

Рішення для домашньої автоматизації забезпечують керування освітленням, кліматом, розважальними системами та побутовими приладами. Вони також включають системи безпеки, такі як контроль доступу та сигналізація. Коли ці системи підключені до Інтернету, вони створюють безперервне з'єднання між

					ДП.АКІТ.9702506.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		8

пристроями, дозволяючи здійснювати централізований контроль за всіма аспектами вашого дому, офісу або іншого приміщення. Зазвичай рішення для домашньої автоматизації включають підключення керованих пристроїв до центральних шлюзів автоматизації. Інтерфейс користувача для управління системою може бути представленим через настінні термінали, планшети, настільні комп'ютери або мобільні додатки.

1.2 Будова та функції систем розумного будинку

АСУ приватного будинку включає ряд систем та підсистем, що здійснюють контроль та керування різними функціями будинку. Ключовою особливістю АСУ є інтеграція всіх підсистем в єдину мережу, що дозволяє автоматично контролювати і коригувати оптимальні умови у приміщеннях.

Система опалення (рисунок 1.2) дозволяє ефективно регулювати температуру в будинку, забезпечуючи комфорт і енергоефективність [5, 6].

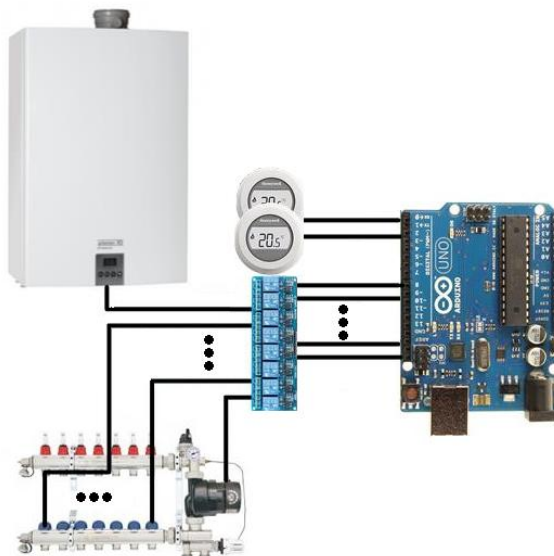


Рисунок 1.2 – Система опалення

Вона включає наступні підсистеми:

- терморегулювання – автоматичне регулювання температури в різних зонах будинку за допомогою термостатів, що забезпечує підтримку оптимального температурного режиму в кожній кімнаті.
- підігріву підлоги – індивідуальне керування температурою підлоги в

					ДП.АКІТ.9702506.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		9

різних кімнатах, що забезпечує додатковий комфорт і рівномірний розподіл тепла.

- нагрівання води – контроль температури в бойлерах для гарячого водопостачання, що дозволяє здійснювати підтримання постійної і стабільної температури води, а також оптимізувати енергоспоживання.

Система вентиляції (рисунок 1.3) забезпечує підтримання оптимального повітряного середовища в будинку [6, 7]. Дана система може включати:

- підсистему припливної вентиляції – подача свіжого повітря в приміщення, що забезпечує необхідний рівень кисню та покращує якість повітря.

- витяжну вентиляцію – видалення відпрацьованого повітря з приміщень, що дозволяє знизити рівень вологості та концентрацію шкідливих речовин.

- підсистему рекуперації – обмін теплом між припливним і витяжним повітрям для зменшення енергоспоживання, що дозволяє зберігати тепло в будинку й знижувати витрати на опалення.

- фільтрацію повітря – очищення повітря від пилу та інших забруднень, що забезпечує підтримку високої якості повітря в приміщеннях і покращує здоров'я мешканців.

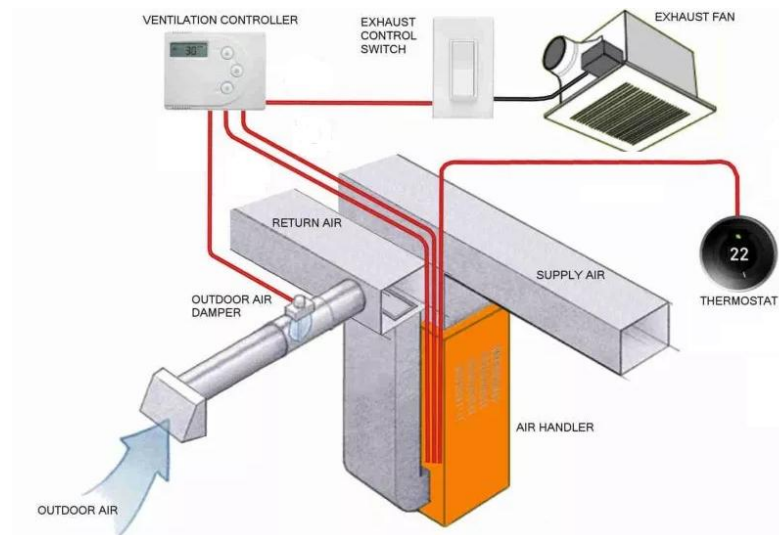


Рисунок 1.3 – Система вентиляції та кондиціонування

Система кондиціонування дозволяє підтримувати не лише комфортну температуру, а й сприятливе повітряне середовище для здоров'я мешканців [7, 8].

Вона складається з наступних компонентів:

					ДП.АКІТ.9702506.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		10

– кондиціонування – контроль за температурою та вологістю, збереження оптимальних умов влітку, що забезпечує комфортну атмосферу в приміщеннях незалежно від умов погоди зовні.

– іонізації повітря – покращення якості повітря за рахунок зниження кількості шкідливих часток, таких як пил, бактерії та алергени, що сприяє здоров'ю мешканців.

– зволоження – підтримка необхідного рівня вологості в приміщеннях, особливо в зимовий період, що дозволяє запобігти сухості повітря та зберегти комфортні умови для дихання та шкіри.

Перелічені системи дозволяють здійснювати управління мікрокліматом. Вони безпосередньо впливають на підтримку оптимальних умов середовища в будинку, наприклад температури, вологості, чистоти повітря, а також забезпечують комфортне і здорове середовище для мешканців.

Система управління енергоспоживанням (рисунок 1.4) дозволяють ефективно контролювати використання енергії та забезпечують енергоефективність [9–11].

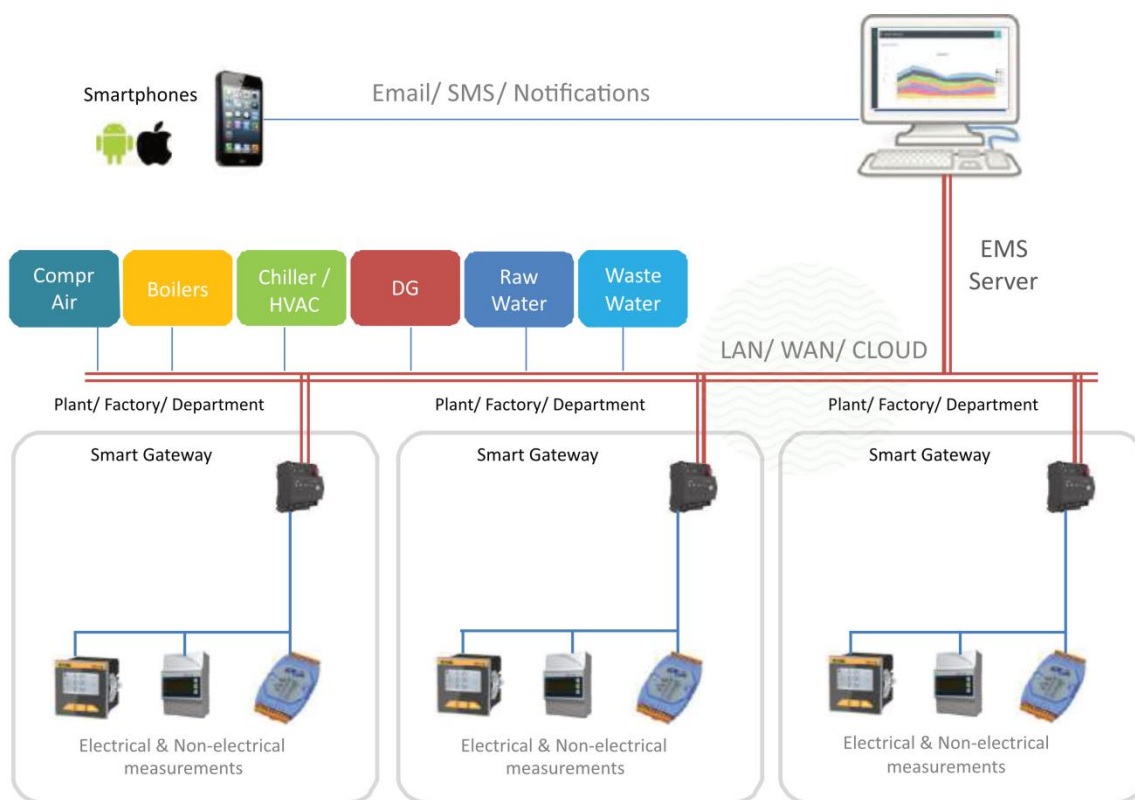


Рисунок 1.4 – Приклад системи управління енергоспоживанням

Дана система може включати:

- підсистема моніторингу енергоспоживання – контроль за витратами енергії в різних зонах будинку, що дозволяє виявляти надмірне споживання та оптимізувати використання ресурсів.
- підсистема енергозбереження – оптимізація роботи технічних систем для зниження витрат енергії, включаючи регулювання температури, освітлення та інших енергозалежних систем для досягнення економії.
- підсистема автоматичного вимкнення – вимикання пристроїв і систем, які не використовуються, для економії електричної енергії, що дозволяє мінімізувати непотрібні витрати та підвищити загальну ефективність енергоспоживання.
- системи резервного забезпечення електроенергією – включення автономних джерел живлення (наприклад, акумуляторні батареї або генератори) для забезпечення безперебійного енергопостачання в разі відключення основного живлення.
- незалежні джерела енергії – інтеграція альтернативних джерел енергії, наприклад сонячних панелей, вітрових генераторів, що дозволяє знизити залежність від зовнішніх постачальників енергії та підвищити енергетичну незалежність будинку.
- система захисту від перенапруги та аварій – захист електричних систем будинку від стрибків напруги, коротких замикань та інших аварійних ситуацій. Включає в себе застосування пристроїв для стабілізації напруги, захисту від перенапруги (наприклад, стабілізатори та розрядники), а також автоматичних вимикачів, які оперативно відключають живлення при аварійних ситуаціях, щоб уникнути пошкоджень обладнання та забезпечити безпеку.

Додаткові системи освітлення (рисунок 1.5) в АСУ приватного будинку включають внутрішнє та зовнішнє освітлення та сприяють підвищенню комфорту, збереженню ресурсів і забезпеченню безпеки в будинку [12, 13].

Це можуть бути підсистеми:

- автоматичного регулювання яскравості – забезпечує вмикання та вимикання світла в залежності від рівня природного освітлення, присутності

					ДП.АКІТ.9702506.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		12

людей у приміщенні або заданого сценарію, що дозволяє заощаджувати енергію;

- аварійного освітлення – включення аварійного освітлення в разі відключення основного живлення для забезпечення безпеки та орієнтації в будинку;

- освітлення для безпеки автоматичне включення освітлення на вулиці або у дворі в темний час доби або при виявленні руху для забезпечення безпеки на території.

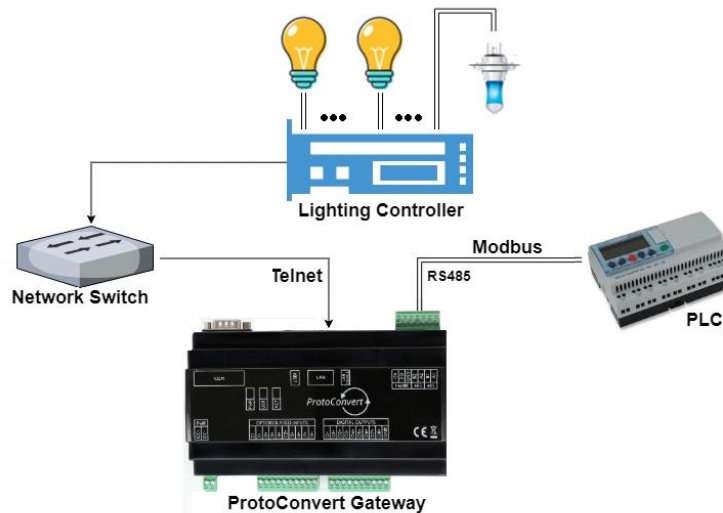


Рисунок 1.5 – Система освітлення

Системи постачання та відведення води (рисунок 1.6) відповідає за забезпечення сучасного будинку водою для питних і побутових потреб [14, 15]. Можна виділити кілька основних систем та підсистем, що відповідають за доставку води до будинку та виведення відпрацьованої води з нього:

- підсистема подачі води забезпечує подачу води з централізованого джерела до будинку. Джерелом може бути централізоване водопостачання – підключення до міської або районної водомережі для забезпечення водою, що дозволяє зручне і стабільне постачання без необхідності в додаткових системах водозабезпечення, або автономне (індивідуальне) водопостачання з використанням власних джерел води, таких як колодязі, свердловини або резервуари, для забезпечення будинку водою, що дає більший контроль над водопостачанням і є альтернативою централізованим системам.

- підсистема фільтрації води – очищення води перед її подачею до

					ДП.АКІТ.9702506.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		13

споживачів для забезпечення якості води.

- підсистема моніторингу витрат води – контроль за витратами води та виявлення витоків у системі.
- підсистема збору стічних вод – збір та транспортування відпрацьованих вод (дренаж, каналізація) до центральних очисних споруд або очищення стічних вод за допомогою септика, де відбувається первинне очищення перед виведенням води в землю.

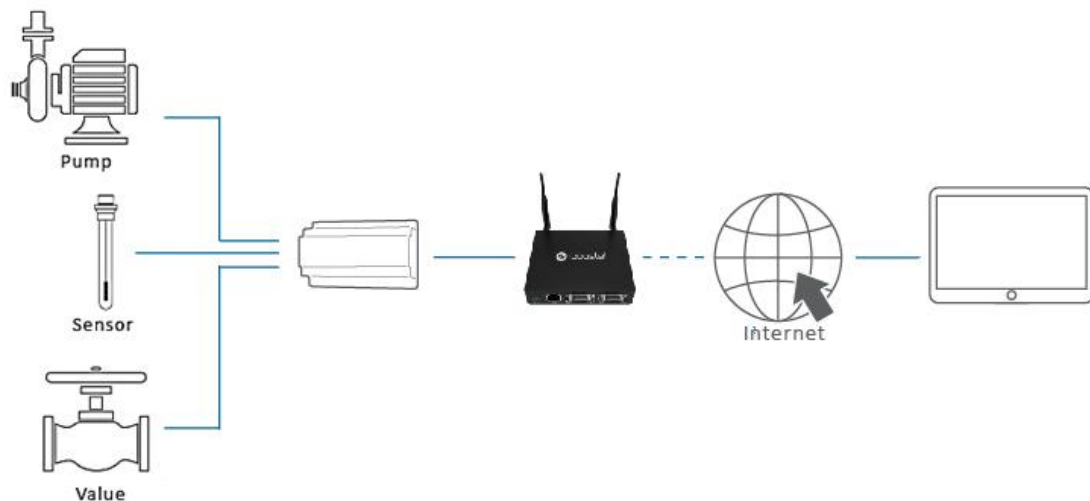


Рисунок 1.6 – Система керування постачанням води

АСУ включає системи, що забезпечують захист будинку від зовнішніх та внутрішніх загроз, а також мінімізують ризики аварійних ситуацій [16–18].

Система охорони та безпеки контролює доступ до будинку, відстежує рух на території та забезпечує швидке реагування на потенційні загрози (рисунок 1.7). Вона може складатися з таких підсистем:

- відеоспостереження – контроль за територією та приміщеннями будинку в режимі реального часу з можливістю запису.
- сигналізації – виявлення несанкціонованих проникнень або підозрілих рухів за допомогою датчиків руху, звуку або розбиття скла.
- контролю доступу – електронні замки, біометричні датчики (відбитки пальців, розпізнавання обличчя), магнітні картки та кодові панелі.
- оповіщення – надсилання повідомлень про тривожні події на смартфон власника або виклик охоронних служб.
- імітації присутності – автоматичне вмикання світла, музики або руху

					ДП.АКІТ.9702506.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		14

штор для створення ефекту перебування мешканців у будинку.

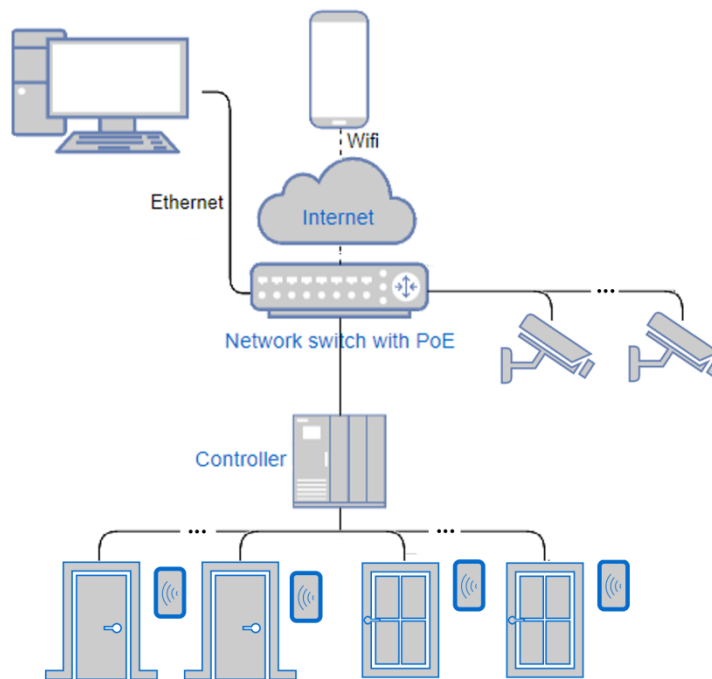


Рисунок 1.7 – Системи безпеки

Система пожежної сигналізації (рисунок 1.8) відповідає за раннє виявлення пожежі та зниження ризику розповсюдження вогню [19, 20].

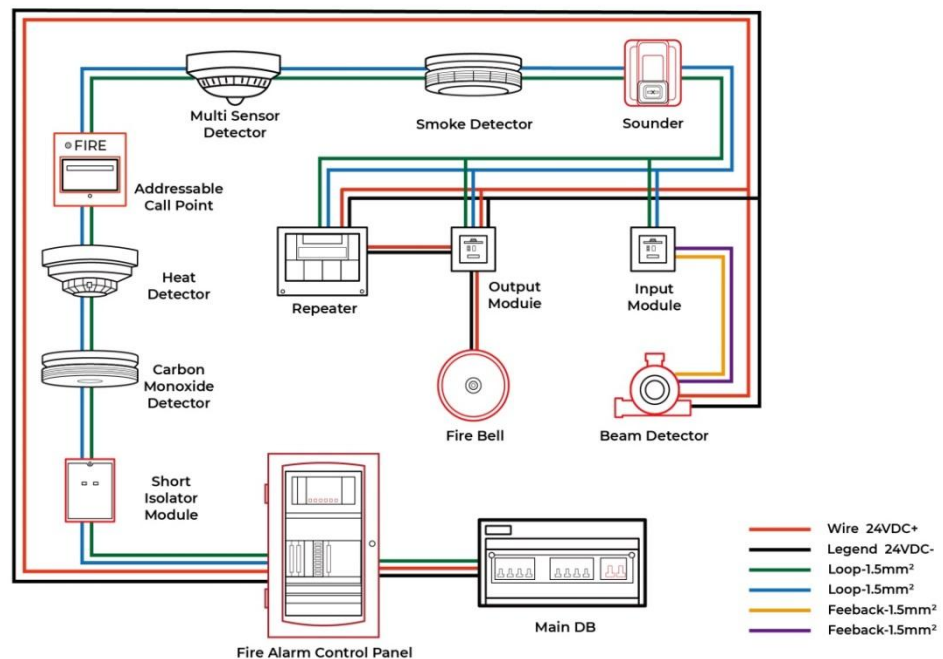


Рисунок 1.8 – Приклад системи пожежної сигналізації

В свою чергу дана система може включати такі підсистеми:

- виявлення диму – детектори диму та чадного газу для раннього

					ДП.АКІТ.9702506.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		15

попередження про загоряння.

- підвищення температури – датчики, які фіксують різке підвищення температури в приміщенні.
- автоматичного пожежогасіння – спринклерні або газові системи пожежогасіння, що активуються автоматично.
- димовидалення – вентиляційні системи для швидкого відведення диму та запобігання задимленню шляхів евакуації.
- оповіщення про пожежу – сирени, голосові повідомлення або надсилання сигналу на мобільний пристрій.

Система захисту від аварій та надзвичайних ситуацій (рисунок 1.9) [21] призначена для попередження та мінімізації наслідків аварійних подій наприклад:

- захисту від витоків газу – датчики метану, пропану та чадного газу з автоматичним перекриттям подачі газу.
- захисту від затоплення – датчики контролю рівня води та автоматичне перекриття водопостачання у разі аварії.
- захисту від перенапруги – запобігання пошкодженню електроприладів при стрибках напруги.
- резервного живлення – аварійне живлення від генераторів або акумуляторних батарей при відключенні електроенергії.
- моніторингу погодних умов – автоматичне закриття вікон і жалюзі при сильному вітрі або зливі.

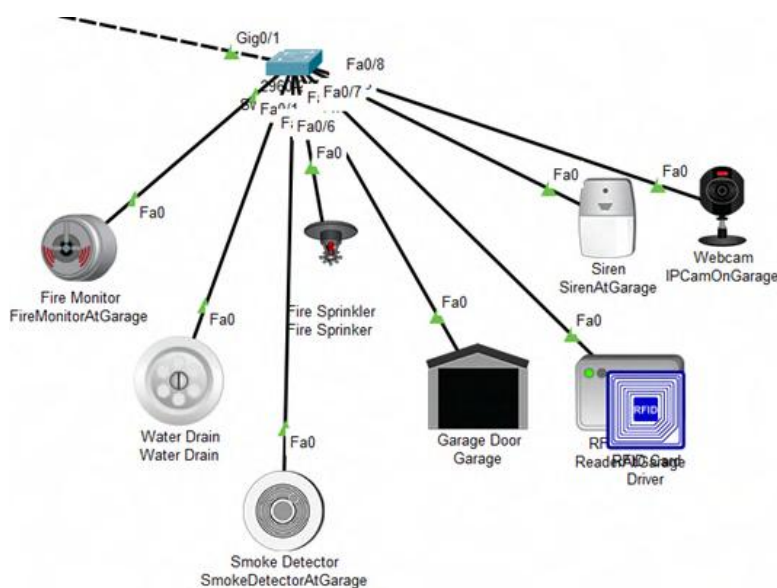


Рисунок 1.9 – Приклад системи захисту від аварій

					ДП.АКІТ.9702506.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		16

Системи управління мікрокліматом в житлових будинках тісно інтегруються з іншими інтелектуальними системами будинку. Це дозволяє створювати єдину екосистему, де всі інженерні та електронні системи працюють злагоджено, забезпечуючи максимальний комфорт для мешканців. Взаємодія з іншими технологіями також дозволить забезпечити підвищення безпеки, наприклад, через автоматичне регулювання вентиляції та опалення у разі виявлення проблем у роботі систем або змін у зовнішніх умовах.

1.3 Цілі впровадження автоматизованої системи управління мікрокліматом

АСУ мікрокліматом є комплексом технічних засобів автоматизації (ТЗА) та програмного забезпечення (ПЗ), що здійснює контроль, моніторинг і регулювання параметрів роботи інженерних мереж та пристроїв, таких як опалення, вентиляція, кондиціонування, освітлення тощо, за допомогою автоматичних алгоритмів. АСУ забезпечує злагоджену роботу цих систем на основі реальних умов та вимог користувача, а також дозволяє здійснювати віддалене керування та моніторинг через інтерфейси користувача.

Мікроклімат визначає умови, в яких перебувають люди, і є важливим фактором для підтримки фізіологічного та психологічного комфорту. Це набір параметрів навколишнього середовища всередині приміщення, включаючи температуру, вологість, концентрацію вуглекислого газу, рівень освітленості та інші фактори, що впливають на комфорт та здоров'я мешканців.

Розвиток систем автоматизації, технологій Інтернету речей, хмарних обчислень та штучного інтелекту сприяє вдосконаленню систем управління мікрокліматом у житлових будинках. Метою впровадження АСУ є:

- енергоефективність – значне зниження витрат електроенергії за рахунок оптимізації роботи опалювальних, вентиляційних і кондиціонерних систем відповідно до поточних потреб мешканців;
- комфорт та автономність – підтримка оптимальних мікрокліматичних параметрів без необхідності постійного ручного налаштування;
- дистанційне керування та моніторинг – можливість віддаленого

					ДП.АКІТ.9702506.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		17

контролю за параметрами мікроклімату та налаштування систем через мобільні додатки чи веб–інтерфейси, що забезпечує зручність використання та ефективне управління без необхідності фізичної присутності в будинку;

– моніторинг та діагностика систем – автоматичне виявлення несправностей та аномалій в роботі інженерних систем, що дозволяє попередити проблеми чи аварії, а також оптимізувати технічне обслуговування будівлі;

– інформаційна безпека та контроль – надійний захист даних, особливо в умовах широкого використання безпроводних технологій зв'язку та віддаленого моніторингу;

– глобальні тенденції — у зв'язку з переходом на розумне споживання ресурсів (smart grid) та розвитком систем «розумного міста» (smart city) автоматизація приватного житла стає невід'ємною складовою цієї екосистеми.

Завдяки досягненню цих цілей, АСУ мікрокліматом допомагає забезпечити не лише комфортне проживання, але й економічну ефективність, енергозбереження та інтеграцію з більш широкими концепціями розумних технологій.

					ДП.АКІТ.9702506.00.00.000ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

2. РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ МІКРОКЛІМАТОМ ПРИВАТНОГО БУДИНКУ

2.1 Функції та компоненти систем управління мікрокліматом

АСУ приватного будинку виконує цілий ряд функцій, спрямованих на оптимізацію умов проживання та зниження енергоспоживання. Основні функції цієї системи включають:

- контроль та моніторинг параметрів мікроклімату;
- автоматичне регулювання параметрів мікроклімату;
- дистанційне керування та моніторинг;
- налаштування режимів роботи систем;
- інтелектуальне регулювання в залежності від зовнішніх умов;
- аналіз енергоспоживання.

АСУ за допомогою ТЗА постійно вимірює та відслідковує такі параметри, як температура, вологість, рівень освітленості та концентрація CO₂ в приміщеннях. Це дозволяє автоматично реагувати на зміни цих показників та підтримувати бажаний мікроклімат без втручання користувача. На основі отриманих даних система автоматично регулює роботу систем опалення, вентиляції, кондиціонування, освітлення, а також інших пристроїв, що впливають на умови в приміщенні. Це дозволяє підтримувати комфортні умови при мінімальних енергетичних витратах. Система може інтегруватися з метеорологічними даними або погодними сервісами для коригування параметрів мікроклімату відповідно до умов зовнішнього погодного середовища, наприклад, зміни температури чи вологості на вулиці.

Користувачі можуть здійснювати налаштування та відслідковувати параметри мікроклімату через мобільні додатки або веб-інтерфейси. Це дає змогу здійснювати контроль за станом мікроклімату в реальному часі, навіть коли користувач знаходиться поза домом. АСУ може мати декілька режимів роботи, наприклад «денний» чи «нічний», відповідно до сезону, що дозволяє автоматично змінювати параметри мікроклімату в залежності від часу доби або активності

					ДП.АКІТ.9702506.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		19

мешканців. Система може забезпечувати формування звітів про енергоспоживання в будинку, що дозволяє користувачам оптимізувати використання енергії, виявляючи періоди надмірного споживання та пропонуючи стратегії для зниження витрат.

АСУ мікрокліматом є комплексом технологічних рішень, що об'єднує різні інженерні системи для контролю та регулювання кліматичних параметрів основними компонентами якої є наступні ТЗА та ПЗ

- контролери здійснюють безпосереднє управління підсистемами мікроклімату, приймаючи дані від датчиків та формуючи керуючі сигнали для виконавчих пристроїв;
- датчики, що забезпечують збір інформації про поточні параметри навколишнього середовища;
- виконавчі пристрої – реалізують команди управління, отримані від контролерів, коригуючи роботу підсистем;
- ПЗ та алгоритми управління дозволяють обробляти інформацію, отриману від датчиків, і визначати оптимальні параметри для забезпечення комфорту в приміщенні. Алгоритми можуть бути адаптивними та змінювати свої стратегії залежно від умов середовища та переваг користувача;
- інтерфейс для користувача забезпечує зручний доступ до налаштувань системи, дозволяючи користувачу віддалено контролювати параметри через мобільні додатки або веб-інтерфейси.

АСУ мікрокліматом приватного будинку забезпечує оптимальні кліматичні умови шляхом інтегрованого контролю підсистем опалення, вентиляції та кондиціонування. Її основна функція полягає у моніторингу параметрів мікроклімату та динамічному регулюванні роботи обладнання відповідно до поточних потреб.

Для забезпечення ефективного керування мікрокліматом будинку автоматизована система має здійснювати контроль і регулювання основних параметрів. Вони поділяються на температурні, вологісні, якісні та енергетичні характеристики середовища. Параметри контролю включають:

- параметри температури, зокрема повітря в різних приміщеннях,

					ДП.АКІТ.9702506.00.00.000ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

теплоносія в системах опалення чи системі підігріву підлоги, зовнішнього повітря для адаптивного керування;

- параметри вологості включають відносну вологість повітря в приміщеннях та зовнішнього повітря;
- якість повітря – дозволяє контролювати рівень вуглекислого газу, наявність шкідливих домішок чи запиленості;

Параметри регулювання АСУ включають температурне, вологісне та якості повітря, що дозволяють реалізувати:

- автоматичне коригування температури в приміщеннях;
- керування температурою теплоносія залежно від зовнішніх умов;
- інтелектуальне зниження температури у неробочі години;
- активацію системи зволоження або осушення при виході за допустимі межі;
- динамічне керування рівнем вологості відповідно до сезону;
- активації вентиляції при перевищенні рівня CO₂;
- включення іонізації або фільтрації при високій концентрації пилу або шкідливих речовин.

Автоматичне вимкнення або зниження потужності систем у відсутності мешканців забезпечують оптимізацію споживання електроенергії на основі аналізу даних.

2.2 Розробка функціональної схеми

Проектована АСУ мікрокліматом приватного будинку складатиметься з основних підсистем: опалення, кондиціонування та вентиляції. Управління цими підсистемами здійснюється за допомогою єдиного центру, що отримує дані від датчиків, обробляє їх та формує сигнали управління для виконавчих механізмів.

У штатному режимі система автоматично відстежує температурні та вологісні показники, активуючи відповідні прилади лише за необхідності, що сприяє економії енергоресурсів. Налаштування параметрів мікроклімату може здійснюватися як автоматично (за розкладом, таймером), так і вручну за

					ДП.АКІТ.9702506.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		21

допомогою:

- клавiшних вимикачiв у примiщеннях;
- сенсорної панелi (стацiонарної або портативної);
- персонального комп'ютера або мобiльного додатку.

Це забезпечує гнучкiсть та зручнiсть у керуваннi мiкроклiматом будинку, дозволяючи адаптувати його до iндивiдуальних потреб мешканцiв.

Основнi завдання проектованої системи включають:

- забезпечення комфортних умов для мешканцiв за рахунок пiдтримання оптимальних параметрiв температури, вологостi та якостi повітря; iнтуїтивно зрозуміле керування, що дозволяє легко змiнювати параметри системи через настiннi панелi, мобiльний додаток або ПК;
- iндивiдуальне налаштування для кожного примiщення, що дає змогу створювати персоналізовані кліматичні зони;
- автоматичнi режими роботи, зокрема: «День» i «Нiч» для адаптацiї роботи системи пiд змiну активностi мешканцiв та «Вiд'їзд» - перехiд у енергоефективний режим iз пiдтриманням мiнiмально необхідної температури.

Пiсля визначення основних завдань системи було розроблено функцiональну схему проектованої АСУ, що наведена на рисунку 2.1.

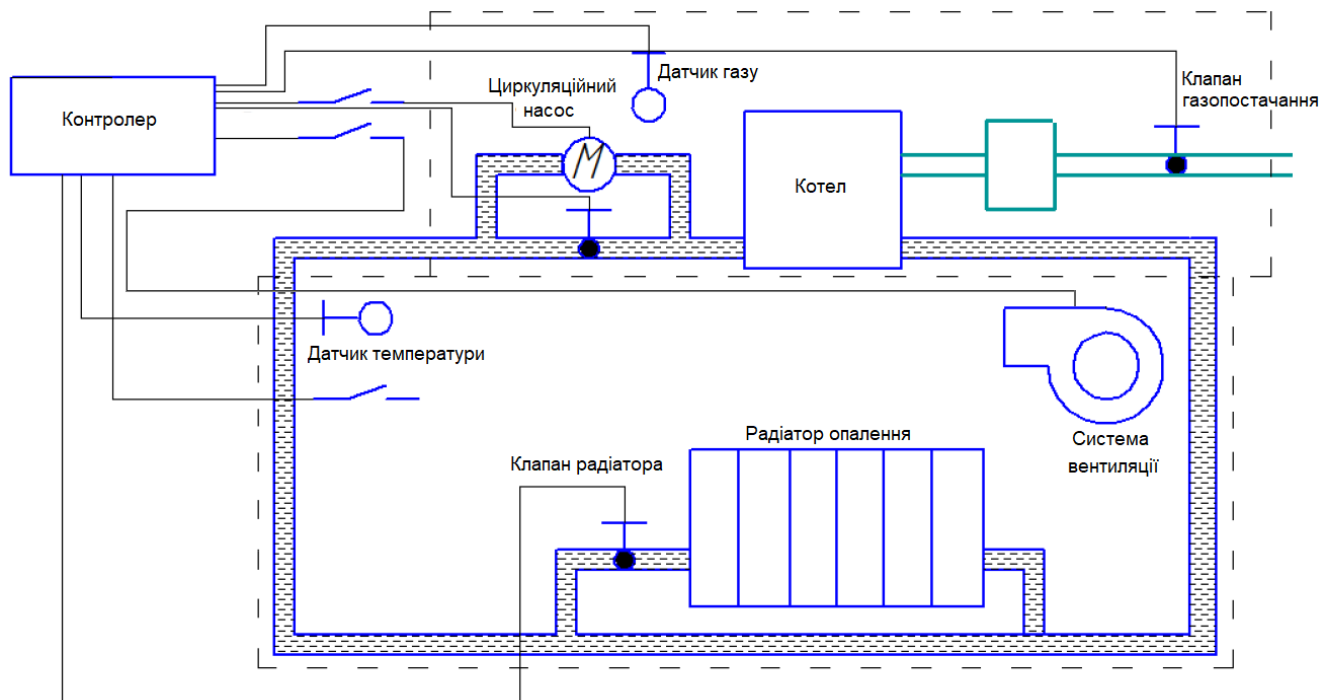


Рисунок 2.1 – Функцiональна схема АСУ

2.2.1 Підсистема опалення

Основою підсистеми опалення проєктованої АСУ є газовий котел, який здійснює нагрівання теплоносія (води) для забезпечення необхідної температури приміщень. Для циркуляції теплоносія передбачено два режими:

- природна циркуляція – відбувається завдяки гравітаційним силам та різниці температур.
- примусова циркуляція – здійснюється за допомогою циркуляційного насоса, що забезпечує рівномірне розподілення тепла.

Використання комбінованого способу циркуляції теплоносія дозволяє швидко прогрівати приміщення, активуючи примусову циркуляцію та знижувати витрати газу, уповільнюючи рух теплоносія, коли температура в усіх кімнатах досягла необхідного рівня. Перемикання між режимами відбувається шляхом активації циркуляційного насоса та вибору відповідного положення клапана.

Для локального керування температурою в кожній кімнаті передбачені:

- термодатчики – відстежують температуру повітря та передають дані в систему управління.
- електромагнітні клапани – встановлюються на радіатори та дозволяють вмикати або вимикати окремі радіатори в опалювальному контурі.

Вибір електромагнітних клапанів в якості виконавчих механізмів (ВМ) зумовлений їх простотою та економічністю у порівнянні з електрозасувками із ПІД-регулюванням. Принцип роботи таких клапанів полягає у перемиканні між відкритим і закритим станом при подачі керуючого сигналу, що спрощує алгоритм управління опалювальною підсистемою.

Для запобігання вибуху природного газу через можливі витоки в приміщенні, де встановлено газовий котел, передбачено встановлення датчика витоку газу, який постійно контролює склад повітря на наявність небезпечних концентрацій природного газу. ВМ на газопроводі автоматично перекриває подачу газу в разі аварійної ситуації. Система аварійного сповіщення передає сигнал тривоги у систему управління та сповіщає мешканців про небезпеку через звукову або світлову індикацію. Також дана система може бути інтегрована з вентиляцією, яка активується у разі виявлення витоку для розсіювання газу та

					ДП.АКІТ.9702506.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		23

зниження його концентрації.

При розробці системи враховано, що допустима похибка між фактичною та заданою температурою в приміщенні становить $0,5^{\circ}\text{C}$. Якщо значення опускається на $1,5^{\circ}\text{C}$ нижче від заданого значення, активується режим інтенсивного нагріву. Він передбачає перемикавання насоса в режим максимальної частоти роботи, що забезпечує прискорення циркуляції теплоносія та і нагрівання радіаторів (рисунок 2.2). Якщо температура в кімнаті не досягає потрібного рівня протягом визначеного часу, система активує сигнал тривоги на пульті управління, що може свідчити про несправність системи.

Коли температура у всіх приміщеннях відповідає заданій, система автоматично переходить на режим природної циркуляції. При цьому насос вимикається, а клапан системи опалення відкривається, дозволяючи циркуляцію теплоносія без додаткових витрат електроенергії. Якщо температура в будь-якому приміщенні опускається нижче допустимого рівня, система повертається до режиму примусової циркуляції для швидкого відновлення теплового балансу.

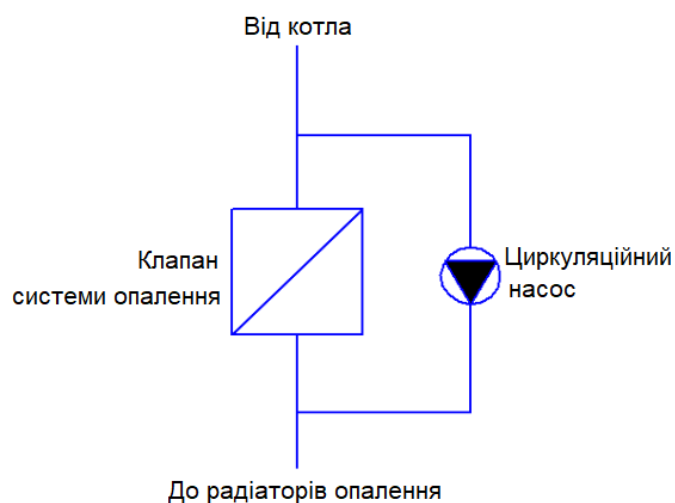


Рисунок 2.2 – Реалізація зміни режиму роботи системи опалення

Управління температурою теплоносія виконується лише за допомогою панелі керування котлом. За допомогою датчика зовнішньої температури та ПЗ система може видавати рекомендації щодо коригування температури теплоносія, тобто, підвищення або пониження цього параметра для оптимізації енерговитрат. На пульті керування відображається рекомендований режим, що встановлює діапазон температур. Температурні параметри передбачають застосування

					ДП.АКІТ.9702506.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		24

наступних значень:

- зовнішня температура $0...+15^{\circ}\text{C}$ нагрівння теплоносія $45-55^{\circ}\text{C}$.
- Зниження температури зовні $0...-10^{\circ}\text{C}$ - теплоносії $55-70^{\circ}\text{C}$.
- температура $-10...-20^{\circ}\text{C}$) – температура теплоносія $70-90^{\circ}\text{C}$.

В роботі передбачено два режими роботи (рисунок 2.3), зокрема стандартний режим з оптимізованим використанням енергії - «день» та зниження температури для економії ресурсів «ніч». За умовчанням температура для режиму «ніч» на 2°C нижча, ніж для режиму «день». Обидва режими управляються однаковими алгоритмами, але з 22:00 до 8:00 система автоматично перемикається на нижчу температуру, що створює комфортні умови для сну і дозволяє власнику налаштувати параметри лише один раз, забезпечуючи зручність використання. Режим «від'їзд» активується у разі тривалої відсутності власників будинку, наприклад більше 3 діб. У такому випадку підтримується температура в 15°C у приміщеннях, щоб уникнути замерзання теплоносія в трубопроводах. Цей режим дозволяє заощаджувати енергію, не підтримуючи комфортну температуру, і в той же час захищає систему опалення від пошкоджень.

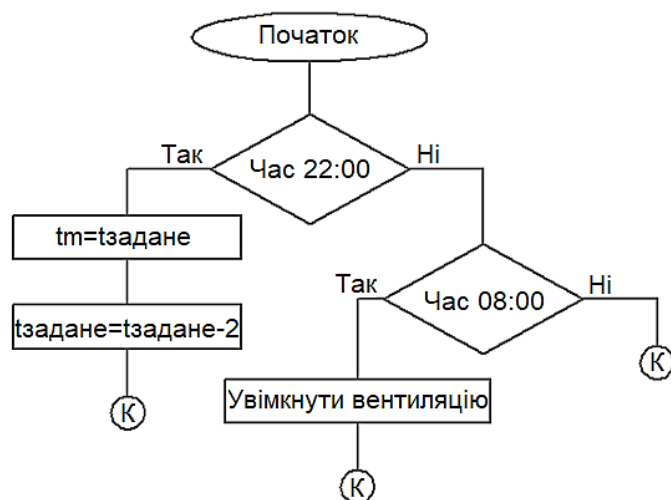


Рисунок 2.3 – Схема алгоритму зміни режимів роботи підсистеми опалення

Алгоритм роботи системи опалення в режимах «день» та «ніч» починається з визначення поточного режиму за системним часом. У 22:00 система автоматично переходить в режим «ніч». Поточна задана температура зберігається в змінній $t_{\text{пот}}$. У 08:00 температура повертається до значення, яке зберігається в змінній $t_{\text{пот}}$, тобто вона знову підвищується до початкового рівня.

Схема алгоритму, що дозволяє керувати температурним режимом у приміщенні наведена на рисунку 2.4.

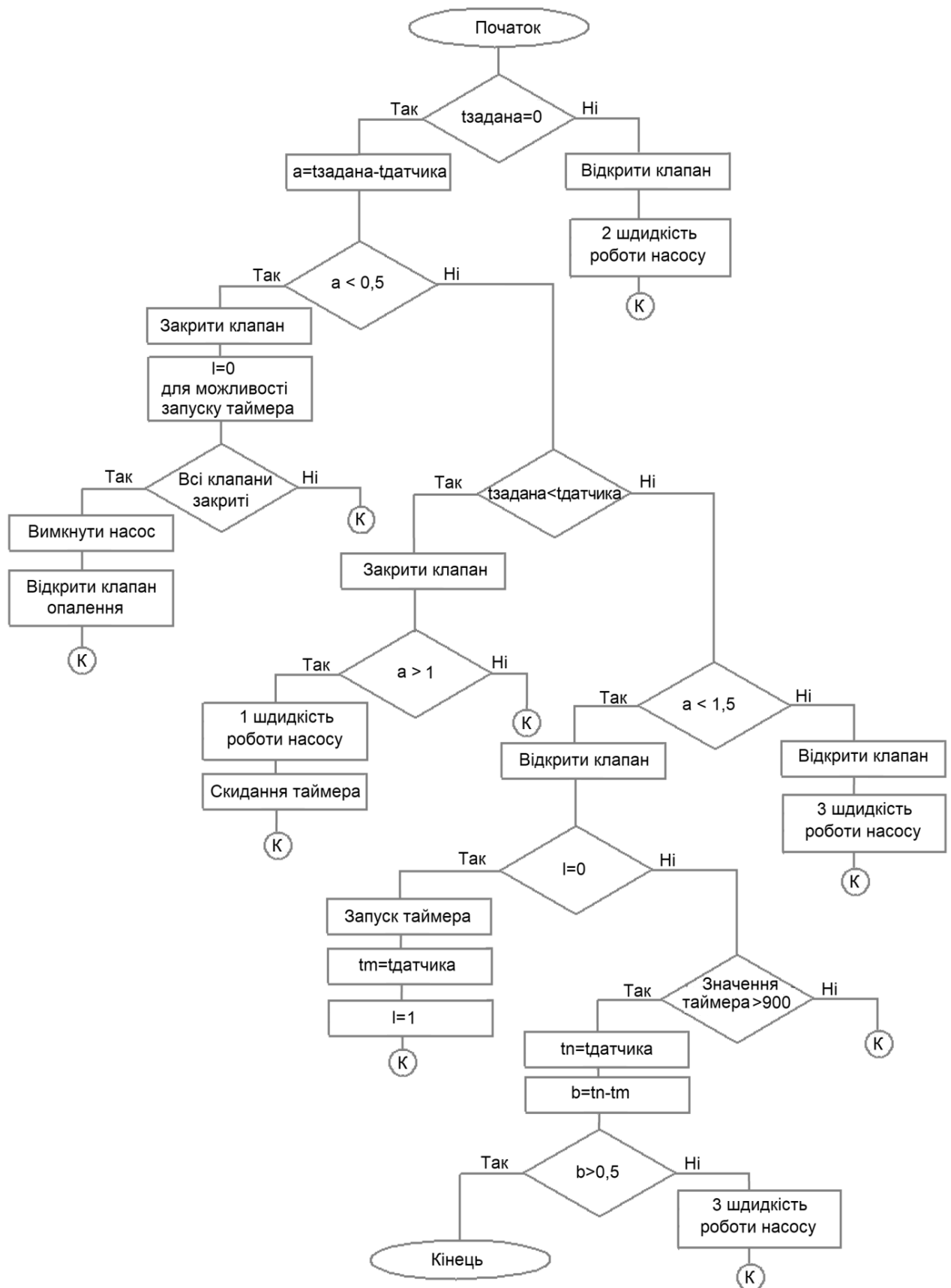


Рисунок 2.4 – Схема алгоритму керування температурним режимом

На початковому етапі відбувається перевірка заданої температури. Якщо температура не задана, то клапан радіатора залишається відкритим, а насос працює в звичайному режимі циркуляції. Далі обчислюється різниця між заданою температурою та фактичною. Якщо різниця менше $0,5^{\circ}\text{C}$, виконуються такі дії: клапан радіатора закривається, змінній l присвоюється значення 0, щоб обнулити попередні зміни у програмі. Після перевірки всіх клапанів, якщо вони всі закриті, насос вимикається, і система переходить у режим природної циркуляції.

На наступному етапі відбувається перевірка фактичної температури. Якщо фактична температура більша за задану, клапан радіатора закривається. Якщо різниця температур більша 1°C , насос перемикається в режим повільної циркуляції. Далі відбувається перевірка режиму роботи. Якщо задана температура більша за фактичну, система визначає необхідний режим обігріву. Якщо різниця температур перевищує $1,5^{\circ}\text{C}$, вмикається інтенсивний режим обігріву, при якому насос працює на максимальній потужності. В іншому випадку клапан відкривається, і перевіряється, чи запущений таймер. Якщо ні, змінна l змінюється з 0 на 1, зберігається поточне значення датчика і запускається таймер.

Перевірка роботи системи відбувається наступним чином. Якщо таймер працює менше 900 секунд (15 хвилин), програма продовжує виконання. Якщо час перевищив 900 секунд, система перевіряє зміну температури. Якщо зміни відбулися, програма продовжує роботу у звичайному режимі. Якщо зміни не відбулося, система переходить у режим інтенсивного обігріву, а насос перемикається на максимальну потужність.

Наведений алгоритм забезпечує ефективне управління опаленням, підтримує оптимальну температуру в приміщеннях та мінімізує витрати енергії.

На рисунку 2.5 наведено схема алгоритму перевірки працездатності підсистеми опалення. Алгоритм починає працювати, якщо задана температура вища за фактичну. Це означає, що система повинна нагрівати приміщення, але необхідно перевірити, чи працює вона ефективно. Для цього вмикається таймер, який відраховує час, протягом якого відбувається нагрів. Фіксується поточне значення температури, отримане з датчика.

Якщо таймер перевищує 3600 секунд (1 година), система переходить до

					ДП.АКІТ.9702506.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		27

аналізу ефективності нагріву. Порівнюється температура, зафіксована на початку нагріву, із поточною. Якщо різниця менша $1,5^{\circ}\text{C}$, це означає, що система не нагріла приміщення достатньо швидко, що може свідчити про несправність або неефективну роботу.

У випадку недостатнього нагріву включається сигналізатор, який повідомляє про проблему. Виконуються операції, що дозволяють повторно запустити нагрівальний цикл або перейти до діагностики системи.

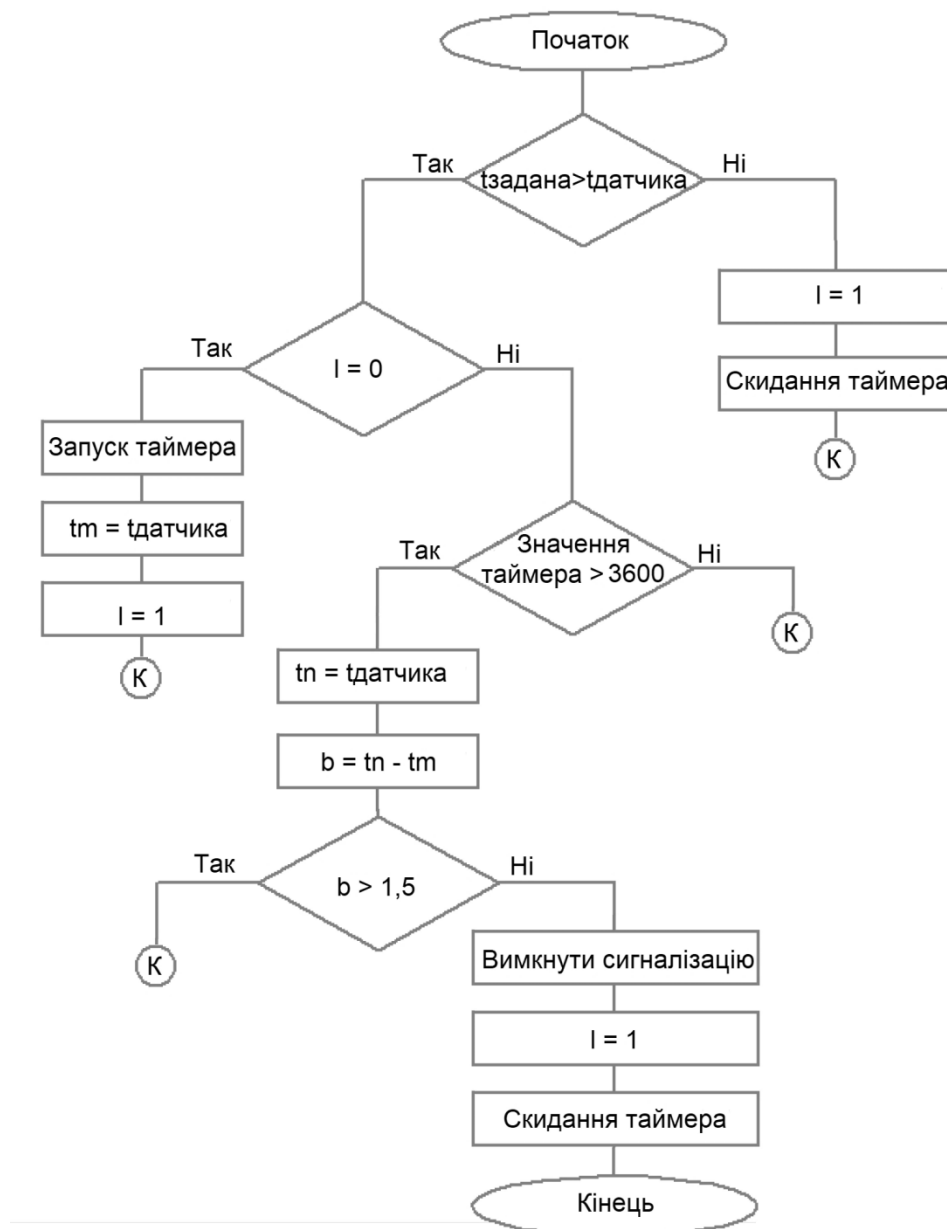


Рисунок 2.5 - Схема алгоритму перевірки працездатності підсистеми опалення

Наведений алгоритм дозволяє контролювати роботу опалювальної аідсистеми та своєчасно виявляти проблеми, пов'язані з недостатньою

ефективністю нагріву, що допомагає уникнути надмірних енерговитрат і забезпечити комфортні умови в приміщенні

2.2.2 Підсистема вентиляції та кондиціонування

Підсистема вентиляції забезпечує ефективне видалення забрудненого повітря, надлишкової вологи та запахів, а також підтримку оптимального рівня вологості та чистоти повітря. Компоненти підсистеми встановлюються у житлових та господарських приміщеннях, наприклад у гаражі для видалення вихлопних газів та випарів пального, підвалі для усунення підвищеної вологості та запобігання утворенню цвілі, у ванній кімнаті з метою виведення вологого повітря для запобігання конденсату та грибкових утворень.

Принцип роботи підсистеми включає керування за допомогою контролера, який активує вентиляцію після отримання сигналу або автоматичний пуск-вимкнення, наприклад при вмиканні чи вимиканні світла в приміщенні, контролер отримує сигнал і переходить у режим очікування або через певний заданий проміжок часу, наприклад, 1-3 хв, включається вентиляція для забезпечення ефективного провітрювання.

В АСУ передбачено наступні режими роботи вентиляційної підсистеми:

- автоматичний режим – активація при виявленні підвищеної вологості або після використання приміщення;
- примусовий режим – ручне керування через мобільний додаток або настінний вимикач;
- екстрений режим – активація вентиляції у разі виявлення небезпечної концентрації газу або інших забруднень.

На рисунку 2.6 наведена схема алгоритму роботи підсистеми вентиляції. Спочатку відбувається перевірка змінної l , яка використовується для визначення, чи був запущений таймер. Якщо $l = 0$, це означає, що таймер ще не запускався.

Далі відбувається перевірка сигналу про поточний стан освітлення. Якщо система отримала сигнал про вимкнення світла в приміщенні, то вентиляція вмикається і починається процес провітрювання. Запускається таймер та відраховується час роботи вентиляції. Змінна l змінюється на 1, що вказує про те,

					ДП.АКІТ.9702506.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		29

що таймер активований.

Якщо світло не вимкнено, але активований режим примусової вентиляції, то виконується наступні кроки: запуск вентиляції, запуск таймера, змінна l змінюється на 1.

Для визначення стану таймера відбувається перевірка. Якщо $l = 1$ - таймер запущений, система постійно перевіряє його значення. Якщо таймер досяг значення 900 секунд (15 хвилин), то відбувається вимкнення підсистеми вентиляції. Таймер скидається, готуючи систему до нового циклу роботи.

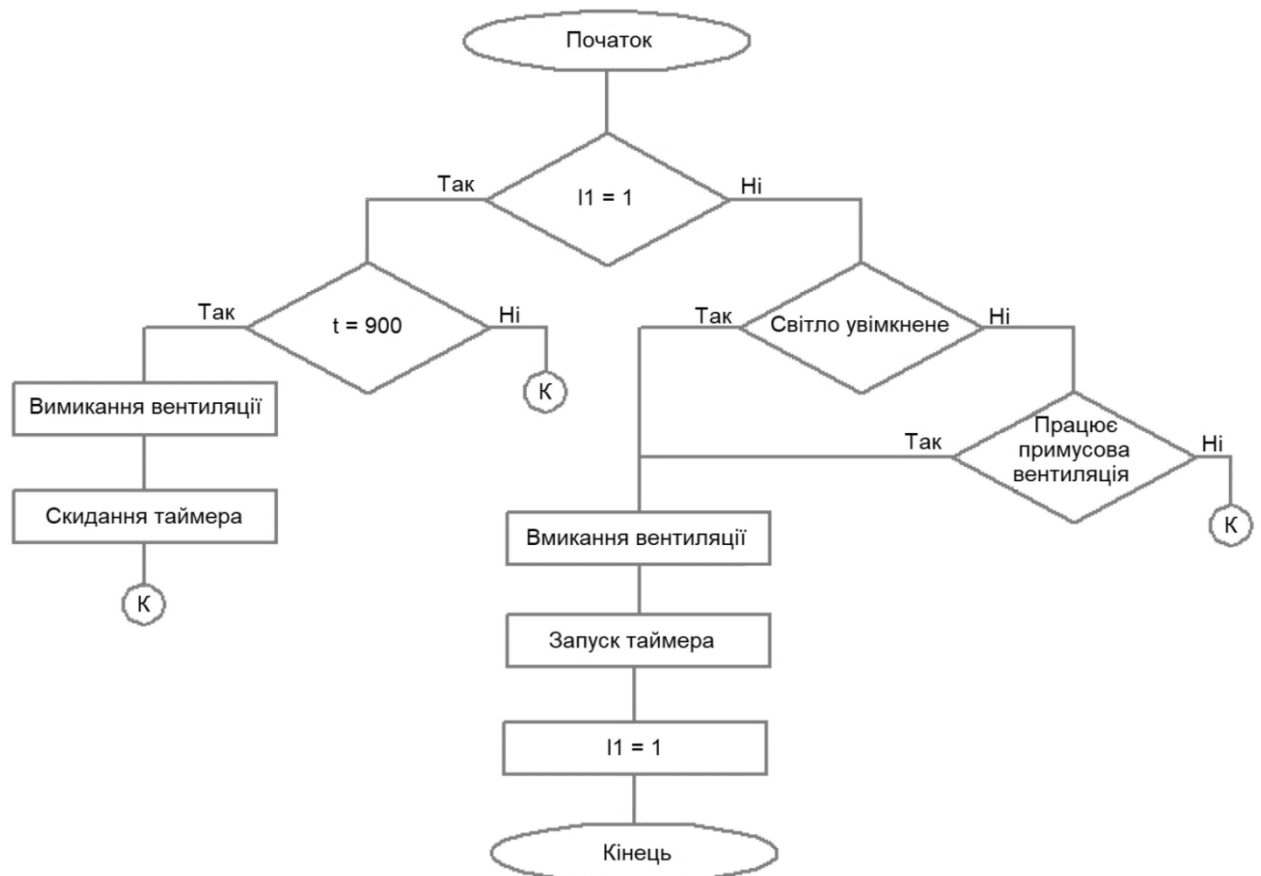


Рисунок 2.6 – Схема алгоритму роботи підсистеми вентиляції

Для забезпечення функції кондиціонування прийнято рішення розширити алгоритм роботи підсистеми опалення. Для цього при високій температурі в приміщенні (визначається датчиком температури) кондиціонер вмикається разом із вентиляцією, якщо температура перевищує заданий поріг.

При перевищенні допустимого рівня вологості (датчик вологості), разом із вентиляцією може вмикатися осушувач або кондиціонер у режимі осушення повітря.

При низькій температурі у приміщенні (наприклад, взимку), кондиціонер не активується, а система обмежує тривалість роботи вентиляції, щоб уникнути надмірного охолодження.

2.3 Розробка архітектури проектованої системи

Для обґрунтування вибору та розробки архітектури проектованої АСУ мікрокліматом у приватному будинку необхідно розглянути основні варіанти структур побудови системи управління. Існують три основні їх види:

- децентралізована;
- централізована;
- централізовано-децентралізована.

Система з децентралізованою структурою є ефективною при автоматизації технологічно незалежних за матеріальними, енергетичними, інформаційними та іншими ресурсами об'єктів управління. Така система складається з декількох незалежних підсистем, кожна з яких має власну інформаційну та алгоритмічну бази.

Централізована система управління здійснює реалізацію всіх процесів управління за допомогою єдиного керуючого органу. Він виконує збір та оброблення інформації про керовані об'єкти, аналіз отриманих даних згідно з критеріями системи та формування керуючих сигналів на основі аналізу. Виникнення цього класу систем пов'язане зі зростанням кількості контрольованих, регульованих та керованих параметрів, а також із територіальною концентрацією об'єктів управління.

Серед переваг централізованої структури можна виділити:

- спрощена реалізація інформаційної взаємодії між компонентами.
- можливість оптимального управління всією системою в цілому.
- легка корекція оперативно змінюваних параметрів.
- досягнення максимальної експлуатаційної ефективності при мінімальному надлишку технічних засобів.

До недоліки відносяться високі вимоги до надійності та продуктивності

					ДП.АКІТ.9702506.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		31

керуючих технічних засобів, а також значна сумарна протяжність каналів зв'язку при територіальній концентрації об'єктів.

Основною особливістю централізовано-децентралізованої структури є збереження принципу централізованого управління, при якому деякі функціональні пристрої залишаються спільними для всіх каналів системи. Вони підключаються до індивідуальних пристроїв кожного каналу через комутатори, формуючи замкнені контури управління.

Переваги такої структури включають:

- зниження вимог до продуктивності та надійності кожного центру обробки даних без погіршення якості управління;
- оптимізацію використання каналів комунікації за рахунок зменшення їх загальної протяжності;
- гнучке масштабування та можливість автономної роботи окремих підсистем у разі виходу з ладу центрального вузла.

Серед недоліків ускладнення інформаційних процесів через необхідність постійного обміну даними між центрами обробки та управління. Коригування та синхронізація збережених даних, що може впливати на швидкість роботи системи. Наявність надмірності технічних засобів для обробки інформації, що може збільшувати вартість впровадження.

У результаті проведених досліджень прийнято рішення реалізувати централізовано-децентралізовану архітектуру (рисунк 2.7) проектованої АСУ мікрокліматом приватного будинку. АСУ включає:

- центральний контролер збирає дані про температуру, вологість, якість повітря;
- локальні підсистеми (опалення, кондиціонування, вентиляція) працюють автономно, але отримують координаційні сигнали від центрального контролера.

У разі потреби окремі пристрої можуть взаємодіяти безпосередньо між собою для забезпечення ефективного розподілу ресурсів.

					ДП.АКІТ.9702506.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		32

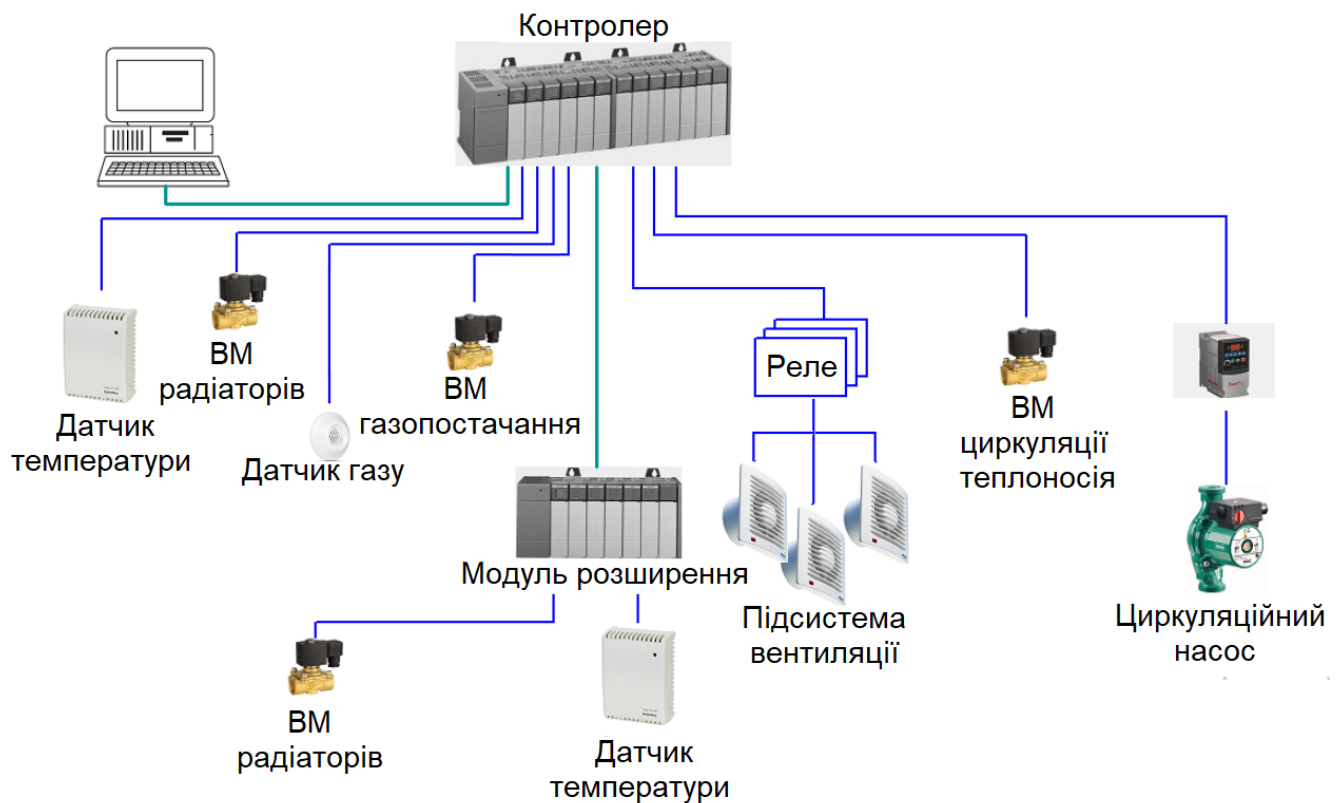


Рисунок 2.7 – Архітектура проектованої АСУ

Така архітектура дозволяє створити гнучку, надійну та енергоефективну систему управління мікрокліматом, яка може працювати як у повністю автономному режимі, так і під централізованим контролем.

2.4 Обґрунтування вибору технічних засобів автоматизації

Контролери сімейства SLC 500 (рисунок 2.8) це компактні програмовані логічні контролери (ПЛК), розроблені для реалізації широкого спектру задач автоматизованого управління [22, 23]. Вони побудовані на двох апаратних модифікаціях, фіксованій конфігурації із можливістю розширення за допомогою двосекційного модуля розширення та конструкції, яка підтримує до 960 точок вводу/виводу. Основними характеристиками ПЛК SLC 500 є сумісність модулів вводу/виводу та засобів програмування для обох модифікацій, що дозволяє гнучко адаптувати рішення до вимог конкретного проєкту. Підтримка мережних підключень для реалізації розподіленого управління та можливість роботи з віддаленими модулями вводу/виводу дозволяють інтегрувати ПЛК у АСУ,

забезпечуючи масштабованість архітектури.



Рисунок 2.8 – ПЛК серії SLC 500

Модулі процесора серії 1746 забезпечують надійне управління об'єктами керування (ОК). ПЛК доступні в фіксованих конфігураціях на 20, 30 або 40 точок вводу/виводу та підтримують швидкий обмін повідомленнями через мережу та взаємодію з іншими мережами. Перевагами модульної архітектури є можливість додавання модулів вводу/виводу, розширення пам'яті або додавання інтерфейсів зв'язку без зміни базового контролера, визначення потрібної кількості каналів вводу/виводу, обсягу пам'яті та типу мережевого інтерфейсу та надійна внутрішня комунікація між модулями.

Завдяки можливості розширення можна адаптувати конфігурацію під змінні вимоги ОК шляхом додавання нових модулів вводу/виводу, комунікаційних інтерфейсів або модулів пам'яті. Крім того, мережева взаємодія між ПЛК та віддаленими пристроями дозволяє будувати розподілені АСУ з централізованим або децентралізованим принципом управління.

Віддалений доступ до ПЛК можливий шляхом підключення до нього через такі мережі, як Ethernet, ControlNet, DeviceNet, DH+ та DH-485. Це дозволяє оператору або інженеру здійснювати моніторинг, налаштування чи програмування контролера без фізичної присутності на ОК. Віддалений доступ до модулів вводу-виводу, які знаходяться в іншому місці, може бути реалізований через мережі ControlNet, DeviceNet або Remote I/O. Завдяки цьому забезпечується обмін даними між центральним ПЛК та периферійними пристроями,

					ДП.АКІТ.9702506.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		34

розташованими на віддалених ділянках ОК.

ПЛК серії SLC 500 дозволить забезпечити високу продуктивність і гнучкість для реалізації повнофункціональних рішень задач керування. Потужний набір команд процесора, розвинені інструментальні засоби програмування, а також широкі функціональні можливості роблять його оптимальним вибором для проєктованої АСУ.

Після розробки архітектури проєктованої АСУ мікрокліматом було обрано процесор SLC 5/03 (рисунок 2.9), який дозволить забезпечити необхідну продуктивність для реалізації задач автоматичного керування [23]. Він підтримує мережеву взаємодію через DH-485 або Ethernet, та сумісний із широким спектром модулів вводу/виводу, що дозволяє гнучко масштабувати систему відповідно до вимог проєкту.



Рисунок 2.9 - Модуль процесора

Процесор SLC 5/03 підтримує до 960 точок вводу/виводу, може програмуватись у режимі ONLINE, що забезпечує зручність обслуговування та оновлення програмного забезпечення без зупинки процесу. На корпусі процесора передбачено перемикач режимів для вибору одного з трьох варіантів функціонування: RUN (робота), PROGRAM (програмування) та REMOTE (віддалене керування). У склад процесора входить канал RS-232, який забезпечує асинхронний послідовний інтерфейс для обміну даними із термінальними пристроями, що розширює комунікаційні можливості системи. Технічні характеристики наведено в таблиці 2.1 [23].

					ДП.АКІТ.9702506.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		35

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики процесора SLC 5/03

Характеристика	Значення
Память програми	12К слів
Додаткове зберігання даних	до 4К слів
Макс. кількість дискретних входів/виходів	4096
Макс. кількість локальних шасі/слотів	3/30
Команди програмування	99
Типовий час сканування	1 мс/К
Обробка бітів (ХІС)	0.44 мс

Для реалізації системи вводу даних в проєктованій АСУ мікрокліматом обрано модулі 1746-ІВ8 та 1746-ІВ16 (рисунок 2.10) [23]. Модуль вводу 1746-ІВ8 є універсальним дискретним модулем, що має 8 входів, і використовується в тих випадках, коли не потрібно великої кількості входів. Модуль 1746-ІВ16 має 16 входів і використовується для випадків, коли потрібно підключити більше пристроїв або вимірювань, зокрема для більш складних підсистем або в разі збільшення кількості точок вводу.



Рисунок 2.10 - Модуль 1746-ІВ8

Вибір між модулями здійснюється з урахуванням економічної доцільності, необхідної кількості входів, а також вимог до гнучкості та потужності системи.

В таблиці 2.2 наведено технічні характеристики модулів [23].

					ДП.АКІТ.9702506.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		36

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики модулів вводу

Характеристика	Значення
Вхідний сигнал	24V
Робоча напруга	10-30V DC
Затримка сигналу (макс.)	8 мс
Напруга стану Off (макс.)	5.0V DC
Струм стану Off (макс.)	1 mA
Номінальний вхідний струм	8mA 24V DC
Споживаний струм шасі 5V	0,050-0,085A

Для реалізації проектованої АСУ обрано модуль аналогового вводу 1746-NI4 (рисунок 2.11).

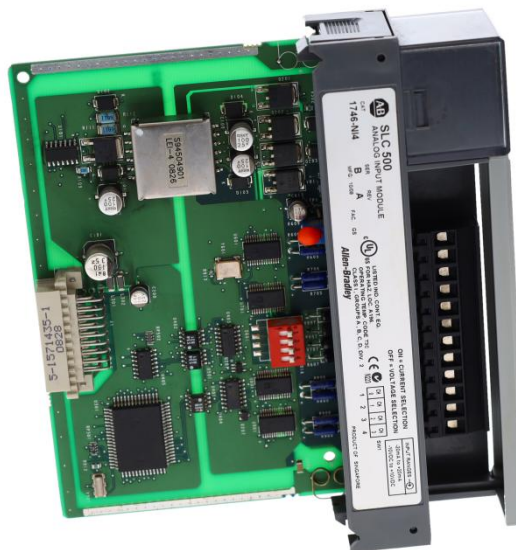


Рисунок 2.11 - Модуль аналогового вводу

Модуль містить 4 аналогових вхідних канали, які можуть бути налаштовані як вхідні за напругою або за струмом, що дозволяє використовувати модуль у різних системах. Це дає можливість гнучко адаптувати АСУ до різних умов роботи та вимог до збору даних з різних датчиків або пристроїв

Технічні характеристики 1746-NI4 наведені в таблиці 2.3 [23].

					ДП.АКІТ.9702506.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		37

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики модуля 1746-NI4

Характеристика	Значення
Струм, який споживає модуль на задній шині при напругах 5 В / 24 В	25 мА / 85 мА
Ізоляція задньої шини	Витримує 500 В АС і 710 В DC протягом 1 хвилини
Перехідна характеристика	60
Метод перетворення	Модуляція сигма-дельта
Роздільна здатність перетворювача	16 біт
Номінальна затримка відпрацювання	0,512 мс

Для реалізації керування вихідними пристроями в проектованій АСУ обрано дискретні модулі виводу 1746-ОВР8 та 1746-ОВР16 (рисунок 2.12).



Рисунок 2.12 – Модуль 1746-ОВР8

Модуль 1746-ОВР8 обраний для ситуацій, де потрібно управляти невеликою кількістю вихідних пристроїв, а модуль 1746-ОВР16 - для випадків, коли необхідна більша кількість виходів для забезпечення більшої гнучкості та розширених функцій системи автоматизації.

Технічні характеристики наведено в таблиці 2.4 [23].

					ДП.АКІТ.9702506.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		38

Таблиця 2.4 - Технічні характеристики дискретних модулів виводу

Характеристика	Значення
Діапазон напруги	24V
Робочий діапазон напруги	20.4-26.4VDC
Мінімальний струм навантаження	1 мА
Максимальний струм витоку на виході в вимкненому стані	1 мА
Максимальна затримка при увімкненні	1 мс
Неперервний струм на точку при температурі 0-60°C	1,5 - 2А
Перехідний струм на точку протягом 10 мс	4.0 А
Потужність споживаного струму шасі (5V):	0.135 - 0.280А

Модуль 1747-SN (рисунок 2.13) є важливою складовою частиною проектованої АСУ, забезпечуючи високошвидкісну віддалену комунікацію між процесором ПЛК, інтерфейсом користувача та керуючими пристроями [23].



Рисунок 2.13 - Модуль 1747-SN

Вибір модуля 1747-SN для проектованої АСУ зумовлений його здатністю забезпечувати гнучкість у виборі швидкості передачі даних, що дає змогу налаштувати модуль для оптимального співвідношення з умовами каналу зв'язку, забезпечуючи стійкість до шуму при різних довжинах кабелю. Модуль також дозволяє використовувати велику фізичну площу для розміщення пристроїв,

оскільки підтримує підключення віддалених пристроїв через кабелі довжиною до 3050 метрів. Це дозволяє створювати системи з великими відстанями між компонентами без втрат у якості зв'язку.

Крім того, він підтримує підключення до 16 пристроїв, що дозволяє реалізувати більш складні й масштабні АСУ з великою кількістю входів/виходів або сенсорів на віддалених локаціях. Завдяки можливості блочної передачі даних, модуль дозволяє передавати великі об'єми даних без шкоди для пропускну здатності, зберігаючи високу ефективність системи навіть при великій кількості підключених пристроїв.

У проєктованій АСУ використовуються два модулі розширення, кожен з яких має свої специфікації для споживаної потужності та струму. Для забезпечення надійної та стабільної роботи всієї АСУ, для кожного шасі вибирається окремий блок живлення з необхідними технічними характеристиками для живлення всіх підключених до нього модулів.

Для розрахунку необхідної потужності блоку живлення для першого шасі необхідно врахувати загальне споживання потужності кожним модулем

$$P = I \times U,$$

де P - потужність (Вт), I - струм (А), U - напруга (В).

Розрахунок споживаної потужності першого блоку живлення наведений в таблицях 2.5-2.6.

Таблиця 2.5 – Розрахунок необхідної потужності блоку живлення 5V

Назва	Кількість	Струм, А	Потужність
Модуль OBP16	3	0,84	$P = (0,84A \times 5V)3 = 12,6W$
Модуль IB16	4	0,34	$P = (0,34A \times 5V)4 = 6,8W$
Модуль IB8	1	0,05	$P = 0,05A \times 5V = 0,25W$
Модуль NI4	2	0,07	$P = (0,07A \times 5V)2 = 0,7W$
Модуль SN	1	0,6	$P = 0,6A \times 5V = 3,0W$

Загальна потужність для 5V складе:

$$P_5 = 12,6W + 6,8W + 0,25W + 0,7W + 3,0W = 23,35W.$$

					ДП.АКІТ.9702506.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		40

Таблиця 2.6 - Розрахунок споживаної потужності для 24V

Назва	Кількість	Струм, А	Потужність
Модуль SLC5/03	1	0,5	$P = 0,5A \times 24V = 12W$
Модуль NI4	2	0,17	$P = (0,17A \times 24V)^2 = 8,16W$

Загальна потужність для 24V складе:

$$P_{24} = 12W + 8,16W = 20,16W.$$

Розрахункове споживання для кожного блоку живлення складе

$$I_5 = \frac{23,35W}{5V} = 4,67A; \quad I_{24} = \frac{20,16W}{24V} = 0,84A.$$

Отже, для кожного шасі потрібно блок живлення, здатний забезпечити 4,67А на лінії 5V, та 0,84А на лінії 24V. Враховуючи ці вимоги, вибрано блок живлення 1746-РЗ, що здатний забезпечити живлення 5,510А.

Для другого модуля розширення, розрахуємо необхідну потужність, враховуючи споживаний струм для кожного модуля. Розрахунок споживаної потужності другого блоку живлення наведений в таблицях 2.5-2.6.

Таблиці 2.7 - Розрахунок споживаної потужності для 5V

Назва	Кількість	Струм, А	Потужність
Модуль OBP16	1	0,085	$P = 0,085A \times 5V = 0,425W$
Модуль IB8	1	0,05	$P = 0,05A \times 5V = 0,25W$
Модуль NI4	1	0,035	$P = 0,035A \times 5V = 0,175W$
Модуль SN	1	0,6	$P = 0,6A \times 5V = 3,0W$

Загальна потужність для 5V складе:

$$P_5 = 0,425W + 0,25W + 0,175W + 3,0W = 3,85W.$$

Таблиця 2.8 - Розрахунок споживаної потужності для 24V

Назва	Кількість	Струм, А	Потужність
Модуль NI4	2	0,085	$P = 0,085A \times 24V = 2,04W$

Максимальна споживана напруга складе $P_{max} = 3,85 + 2,04 = 5,89W$. В результаті для забезпечення роботи АСУ обрано блок живлення 1746-P1.

У проєктованій АСУ мікрокліматом приватного будинку важливим етапом є вибір модулів розширення для забезпечення підключення периферійних пристроїв, таких як датчики температури, вологості та системи опалення і кондиціонування. Згідно з вимогами проєкту, для першого поверху обрано модуль розширення на 13 слотів для підключення 11 модулів, включаючи блок живлення та процесор. Для другого модуля достатньо 7 слотів для підключення 5 модулів, що забезпечує ефективне та масштабоване управління мікрокліматом у будинку. Для забезпечення коректної роботи АСУ мікрокліматом приватного будинку вибрано модулі, які задовольняють вимоги по підключенню датчиків температури та вологості, а також систем опалення та кондиціонування. Модулі типу IB8 дозволяють підключати датчики температури та вологості, типу OBP8 використовуються для підключення ВМ, наприклад, для регулювання обігріву або кондиціонування.

Для забезпечення ефективного управління системою мікроклімату був здійснений вибір необхідних ВМ з урахуванням основних вимог, що включають потужність, температурні діапазони та технічні характеристики, що забезпечують стабільну роботу системи. Для забезпечення стабільного опалення та регулювання температури в будівлі потужність котельного обладнання була вибрана не менше 15 кВт, відповідає потребам в опаленні приміщень за різних погодних умов, що дозволяє ефективно підтримувати комфортну температуру в приміщеннях.

Насос є важливою частиною системи, що забезпечує циркуляцію води в опалювальній системі та підтримання необхідного тиску. Для надійної роботи системи опалення був вибраний насос потужністю не менше 100 Вт, який забезпечить стабільну роботу системи без перевантажень і з необхідним рівнем продуктивності.

У проєктованій системі опалення теплоносієм є вода. Для забезпечення циркуляції теплоносія був вибраний комбінований спосіб: основний - примусова циркуляція за допомогою насоса, з можливістю перемикання на природну

					ДП.АКІТ.9702506.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		42

циркуляцію в разі необхідності.

При виборі насоса для системи опалення важливо враховувати його експлуатаційні характеристики, зокрема потужність, напір, температурний діапазон та енергоефективність. Одним із основних критеріїв вибору є забезпечення необхідного потоку теплоносія при заданих параметрах системи. Для забезпечення необхідної потужності (не менше 100 Вт) був вибраний насос Star-RS 30/7 (рисунок 2.14), який задовольняє всі вимоги до системи [24].



Рисунок 2.14 – Насос Star-RS 30/7

Насос має широкий діапазон робочих температур від -10 до +110°C, що дозволяє ефективно працювати в різних умовах, зокрема при низьких і високих температурах теплоносія. Робочий тиск складає до 10 бар, що гарантує надійне функціонування в умовах підвищених навантажень. Напор 7 метрів забезпечує достатню висоту підйому теплоносія для нормальної циркуляції в системі опалення приватного будинку. При цьому, ВМ здатний забезпечити розхід до 5 м³/год, що відповідає вимогам для ефективної роботи в системах з середніми навантаженнями. Потужність насоса складає 200 Вт, що є оптимальним для даного класу насосів, поєднуючи ефективність та енергоспоживання.

Клапан електромагнітний GAMA 2W-40 (рисунок 2.15) в АСУ мікроклімату виконує функцію контролю потоку теплоносія або води в системах опалення, водопостачання або газопостачання [25].

					ДП.АКІТ.9702506.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		43

Пристрій регулює тиск та температуру в системі, забезпечуючи стабільну роботу при заданих умовах, зокрема при температурах до 90°C.



Рисунок 2.15 - Електромагнітний клапан GAMA 2W-40

Для моніторингу та контролю температури в системі мікроклімату був вибраний набір датчиків з робочим діапазоном від 0 до 60°C, що забезпечує точність вимірювань у умовах, характерних для опалювальних і вентиляційних систем, де температура може коливатися в межах цих значень залежно від сезону та кліматичних умов. Датчик Siemens QAM2151.040/МО (рисунок 2.16) відповідає вимогам застосування в АСУ [27] для вимірювання температури теплоносія, оскільки він має сенсор, який підходить для широкого діапазону температур і здатний працювати в умовах, характерних для систем опалення..



Рисунок 2.16 – Датчик QAM2151.040/МО

Це платиновий резистивний термометр (Pt1000) з діапазоном вимірювання від -30°C до +80°C. Датчик має аналоговий тип виходу, зазвичай 4-20 мА або 0-10 В, ступінь захисту IP54, що дозволяє використовувати його в різних умовах,

					ДП.АКІТ.9702506.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		44

включаючи промислові та побутові.

Для вимірювання температури та якості повітря в приміщеннях використано датчик Siemens QPA2060 (рисунок 2.17), який має напругу живлення 24 V AC або DC в діапазоні 15...35 V [27].



Рисунок 2.17 – Датчик QPA2060

Діапазон вимірювань для температури становить від 0°C до 50°C, для якості повітря - концентрація CO₂ в межах 0...2000 ppm. Призначений для кімнатного монтажу та має клас захисту IP30, що забезпечує його захист від великих твердих часток, але він не є повністю захищеним від води.

Для забезпечення безпеки газових систем, використано датчик DG-1 ME оскільки він своєчасно виявляє витіки газу, що можуть призвести до вибухонебезпечних ситуацій (рисунок 2.18). Він призначений для виявлення перевищення максимально допустимої концентрації природного газу (метану) в повітрі. Датчик працює за принципом виявлення підвищених рівнів метану та активує сигнал тривоги, розмикаючи контакти реле. Це дозволяє включити світловий та звуковий сигналізатор, щоб сповістити про небезпеку.



Рисунок 2.18 – Датчик витоку природного газу

					ДП.АКІТ.9702506.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		45

Датчик має наступні технічні характеристики: чутливість 1 ступінь - 10% LEL (нижній рівень вибуховості); 2 ступінь - 20% LEL; напруга живлення: DC 12 В; струм споживання: 45 мА; робоча температура: від -10°C до +55°C.

Пристрій PowerFlex 4 (рисунок 2.19) використовується для управління швидкістю обертання електродвигунів в різних системах. Його основна функція полягає у регулюванні швидкості обертання двигуна за допомогою зміни частоти живлення.



Рисунок 2.19 – PowerFlex 4

PowerFlex 4 це перетворювач частоти змінного струму з наступними технічними характеристиками: напруга живлення: 200 В - 400 В з допустимим відхиленням від номіналу в межах +10% / -15%. Це означає, що пристрій може працювати в діапазоні від 180 В до 460 В, що робить його сумісним з різними джерелами живлення та умовами експлуатації. Частота мережі (при пуску): 50 Гц 60 Гц дозволяє пристрою працювати в стандартних електричних мережах.

Вентилятор Desco 100 (рисунок 2.20) використовується для забезпечення ефективної вентиляції в приміщеннях з обмеженим простором, таких як туалет або ванна кімната, де немає можливості встановити великі вентиляційні системи або повітроводи великого діаметра. Його компактні розміри дозволяють встановлювати вентилятор навіть у обмежених умовах, при цьому забезпечуючи належну продуктивність повітряного потоку для забезпечення комфортного мікроклімату.

					ДП.АКІТ.9702506.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		46



Рисунок 2.20 - Вентилятор Decor 100

Завдяки низькій потужності (14 Вт) високій продуктивності (88 м³/год) та рівню шуму (33 дБ), він здатний забезпечити оптимальну вентиляцію, не створюючи дискомфорту для мешканців.

					ДП.АКІТ.9702506.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		47

3. РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ МІКРОКЛІМАТОМ

3.1 Математичне моделювання системи управління мікрокліматом

Для реалізації моделі системи контролю за параметром температури в САУ розроблено модель проектованої системи з використанням ПД-регулятора для управління температурою, зворотний зв'язок від датчика температури та виконавчі механізми, такі як насос або вентилятор для коригування температури.

Система контролю температури включає наступні елементи:

- датчик температури - вимірює поточну температуру;
- ПД-регулятор - управляє вихідними параметрами, які впливають на температуру, наприклад, включення або вимикання вентилятора або насоса);
- ВМ – забезпечують зміну температури в залежності від сигналу управління.

Математична модель проектованої системи автоматичного керування (САК) мікрокліматом приватного будинку для оцінки температури може бути побудована на основі рівнянь теплопередачі та системи управління температурним процесом.

Для опису температури можна використати рівняння теплопередачі, що описує зміни температури в залежності від введених параметрів:

$$T(t + 1) = T(t) + \Delta t \cdot (P_{heat} - P_{loss}) + \epsilon,$$

де: $T(t)$ - температура на поточний момент часу;

Δt - крок часу;

P_{heat} - потужність, що подається для обігріву;

P_{loss} - потужність, що втрачається через теплові втрати;

ϵ - можливі збурення (наприклад, вплив зовнішніх температур чи людської активності).

Температурний процес можна описати диференціальними рівняннями, які відображають теплові потоки, теплові втрати, а також вплив зовнішнього середовища. Задана температура у приміщенні $T_{out}(t)$ змінюється через наступні

					ДП.АКІТ.9702506.00.00.000ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

фактори:

- теплопередача - потік тепла через стіни, вікна, вентиляцію.
- вплив зовнішнього середовища -зовнішня температура $T_{in}(t)$, яка змінюється в часі.
- внутрішнє джерело тепла, наприклад, обігрівач, кондиціонер або інші прилади.

Математичну модель температурного процесу можна представити рівнянням першого порядку:

$$T_{out}(t) = K \cdot T_{in}(t) + C,$$

де: $T_{out}(t)$ - температура в приміщенні (вихідна температура),

$T_{in}(t)$ - вхідна температура (зовнішня температура або температура, що впливає на мікроклімат),

K - коефіцієнт теплопередачі, який визначає ефективність передачі тепла (якщо є термічний вплив від насосів, вентиляторів чи опалювальних систем),

C - константа, що описує додаткові температурні втрати чи нагрів (залежить від внутрішніх джерел тепла, наприклад, електричних приладів чи людської активності).

Система управління повинна регулювати температуру в приміщенні таким чином, щоб вона наближалась до бажаної температури T_{target} . Для цього використовуємо ПІД-регулятор, який визначає потужність для обігріву або охолодження на основі відхилення поточної температури від бажаної. ПІД-регулятор, який дозволяє точно налаштувати контроль температури:

- Р (пропорційний) - визначає, як сильно система повинна реагувати на різницю між бажаною і фактичною температурою;
- І (інтегральний) - допомагає усунути стійку помилку, яка може накопичуватися з часом;
- D (диференціальний) - забезпечує реагування на швидкі зміни в температурі, щоб уникнути різких перепадів.

Математична модель ПІД-регулятора:

					ДП.АКІТ.9702506.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		49

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \cdot \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt},$$

де: $u(t)$ - сигнал управління, наприклад, включення вентилятора або насоса),

$e(t)$ - похибка між заданим і фактичним значенням температури,

K_p , K_i , K_d - коефіцієнти пропорційної, інтегральної та диференціальної частини відповідно.

Регулятор обчислює сигнал управління $u(t)$, який залежить від помилки між бажаною температурою T_{target} і поточною температурою $T_{out}(t)$:

$$e(t) = T_{target} - T_{out}(t).$$

Далі, ПД-регулятор розраховує сигнал управління:

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \cdot \int e(t) dt + K_d.$$

Температурний процес також включає теплові втрати через зовнішні фактори. Для цього враховуємо теплові втрати P_{loss} , що визначаються через теплопередачу через стіни, вікна і вентиляцію:

$$P_{loss}(t) = \alpha \cdot (T_{out}(t) - T_{in}(t)),$$

де: α - коефіцієнт тепловтрат (в залежності від матеріалів стін, вікон тощо),

$T_{in}(t)$ - температура зовнішнього середовища.

Крім того, є нагрівання через внутрішні джерела тепла, які можна моделювати через константу C , що описує додаткові джерела тепла (електричні прилади, освітлення, люди).

Об'єднуючи всі ці елементи, загальне рівняння для зміни температури в приміщенні $T_{out}(t)$ виглядатиме:

$$\frac{dT_{out}(t)}{dt} = -\alpha \cdot (T_{out}(t) - T_{in}(t)) + K \cdot u(t) + C,$$

де $\frac{dT_{out}(t)}{dt}$ - зміна температури в часі (похідна),

$\alpha \cdot (T_{out}(t) - T_{in}(t))$ - теплові втрати,

$K \cdot u(t)$ - вплив від обігрівача або охолоджувача, який регулюється сигналом управління,

					ДП.АКІТ.9702506.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		50

C - внутрішні джерела тепла (якщо є).

Розроблена математична модель включає:

- моделювання температурного процесу залежності температури в приміщенні від зовнішніх і внутрішніх факторів;
- систему управління з використанням ПД-регулятора для забезпечення стабільної температури в межах заданих параметрів;
- врахування теплових втрат та нагрівання через вплив зовнішніх умов і внутрішніх джерел тепла.

Дана модель дозволяє забезпечити стабільний мікроклімат у будинку при варіативних умовах зовнішнього середовища.

3.2 Моделювання системи автоматичного регулювання температури

Для реалізації наведеної моделі та проведення експерименту використано мову програмування Python. Використано чисельні методи для інтегрування рівняння і проведення експериментів, а також застосовано ПД-регулятор для управління температурою. В додатку А наведено код структура, яка оговлює:

- моделювання температурного процесу;
- реалізацію ПД-регулятора для управління температурою;
- проведення експерименту з різними параметрами.

Спочатку імпортовано необхідні бібліотеки, зокрема `numpy` та `matplotlib.pyplot`.

Створено клас для реалізації стандартного ПД-регулятора. Метод `compute` обчислює вихідний сигнал управління на основі помилки (різниці між бажаною температурою та поточною).

Для моделювання температурного процесу використано температуру приміщення $T_{out}(t)$, яка змінюється на основі теплових втрат, впливу зовнішнього середовища та сигналу управління, який розраховується через ПД-регулятор. Жен крок часу dt містить розрахунок зміни температури на основі рівняння теплопередачі.

					ДП.АКІТ.9702506.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		51

В результаті отримано графіки, що показують зміни температури в приміщенні (рисунок 3.1), зовнішню температуру (рисунок 3.2) та сигнал управління, що генерується ПІД-регулятором (рисунок 3.3).

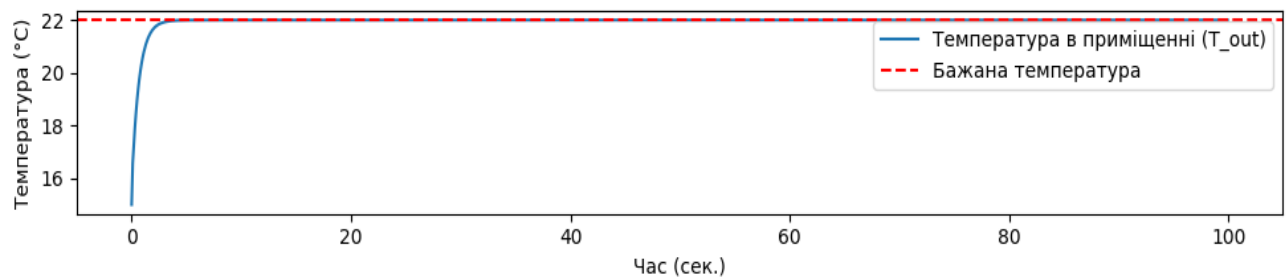


Рисунок 3.1 – Графік зміни температури в приміщенні

Зміна температури в приміщенні за часом $T_{out}(t)$ показує як температура приміщення стабілізується в процесі часу, і наскільки швидко система досягає бажаної температури T_{target} . Отримані результати відображають, чи система підтримує стабільну температуру, чи є перепади температури, що може свідчити про недостатню налаштування ПІД контролера. З рисунка видно перехід до стабільного значення, що дозволяє зробити висновок про ефективність контролера.

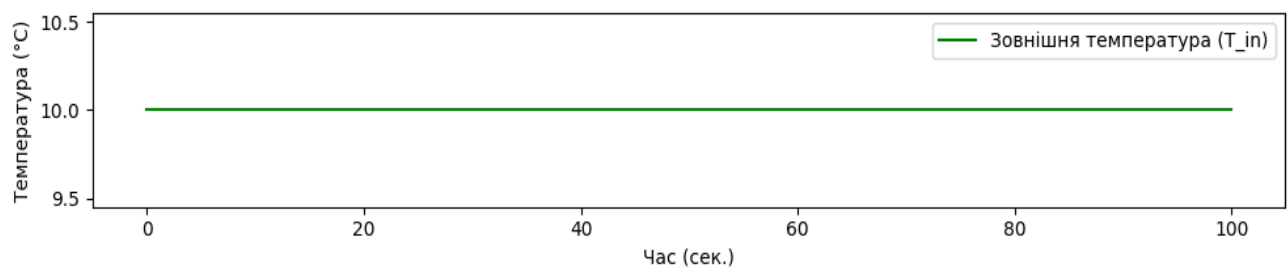


Рисунок 3.2 – Графік зміни зовнішньої температури

Графік зміни зовнішньої температура T_{in} протягом часу дозволяє проаналізувати чутливість системи до зовнішніх змін. Якщо зовнішня температура сильно змінюється, то система повинна мати ефективний механізм компенсації, щоб зберігати стабільну температуру всередині приміщення.

Графік сигнал управління, що генерується ПІД регулятором для, щоб забезпечення підтримки бажаної температури. Він відображає чи є коливання в сигналі управління, що може свідчити про недостатню ефективність обраного

регулятора, або ж перевищення бажаної температури. Якщо сигнал управління стабільний або має низькі коливання, це свідчить про ефективність регулювання.

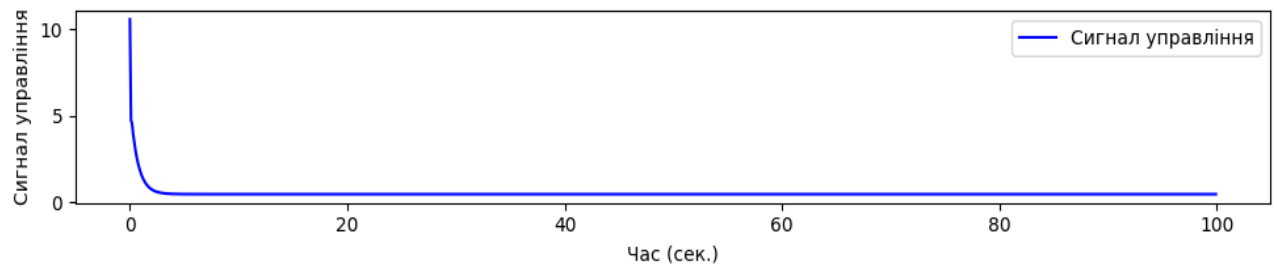


Рисунок 3.3 – Сигнал управління, що генерується ПІД-регулятором

З рисунків 3.1 – 3.3 видно, що температура приміщення швидко наближається до бажаного значення, відсутній вплив зовнішньої температури і підтримується стабільна температура в приміщенні, це означає, що система працює ефективно.

Алгоритм роботи системи включає наступні кроки:

Крок 1: Вимірювання температури. Датчик температури (наприклад, Siemens QAM2151.040/МО) вимірює поточну температуру в системі або приміщенні.

Крок 2: Розрахунок помилки. Система порівнює поточну температуру з заданою температурою (наприклад, 22°C) і обчислює помилку:

$$e(t) = T_{desired} - T_{current}$$

де $T_{desired}$ - бажана температура,

$T_{current}$ - поточна температура.

Крок 3: Використання ПІД-регулятора. ПІД-регулятор отримує помилку $e(t)$ і обчислює управлінський сигнал $u(t)$, який визначає, чи потрібно збільшити або зменшити температуру.

Крок 4: Включення виконавчого механізму. У разі необхідності регулятор включає вентилятор або насос для зміни температури. Наприклад, якщо температура вища за задану, вентилятор може включитися для охолодження, якщо температура нижча за задану, насос може включити теплообмінник для обігріву.

Крок 5: Зворотній зв'язок. Система постійно отримує зворотній зв'язок від

					ДП.АКІТ.9702506.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		53

датчика температури, що дозволяє регулювати параметри в реальному часі.

Застосування ПІД-регулятора для контролю температури є класичним методом для автоматичних систем управління. Це дозволяє створити стабільну та ефективну систему для підтримки заданих параметрів температури в приміщенні або системі.

3.3 Оптимізація роботи проекрованої системи

Аналіз перехідного процесу є частиною оцінки динамічних властивостей САК. Він дозволяє зрозуміти, як система реагує на зміну вхідного сигналу, наприклад, цільової температури, до того моменту, коли вихідний параметр досягне сталого стану.

Проведений аналіз перехідного процесу на основі отриманого графіка температури (рисунок 3.4) в приміщенні T_{out} , оскільки саме він найкраще ілюструє реакцію системи на вхідний вплив і роботу регулятора.

Оцінка перехідного процесу включає кілька характеристик, припустимо, що:

- початкова температура - 15°C ;
- необхідна температура (T_{target}) - 22°C ;
- температура досягнута після 20 секунд - 22.3°C , потім стабілізується на 22°C ;
- відхилення від T_{target} не перевищує $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$;
- перевищення (overshoot) $+0.3^{\circ}\text{C}$;
- час встановлення - приблизно 20 секунд;
- коливання немає або швидко затухають;
- помилка $\approx 0^{\circ}\text{C}$.

Перехідний процес - це період часу від моменту зміни вхідного сигналу до моменту стабілізації вихідного параметра. Наприклад, якщо в САК мікрокліматом встановлюється нова бажана температура, наприклад 22°C , а початкова становила 15°C , то перехідним процесом буде шлях системи до нової температури.

					ДП.АКІТ.9702506.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		54

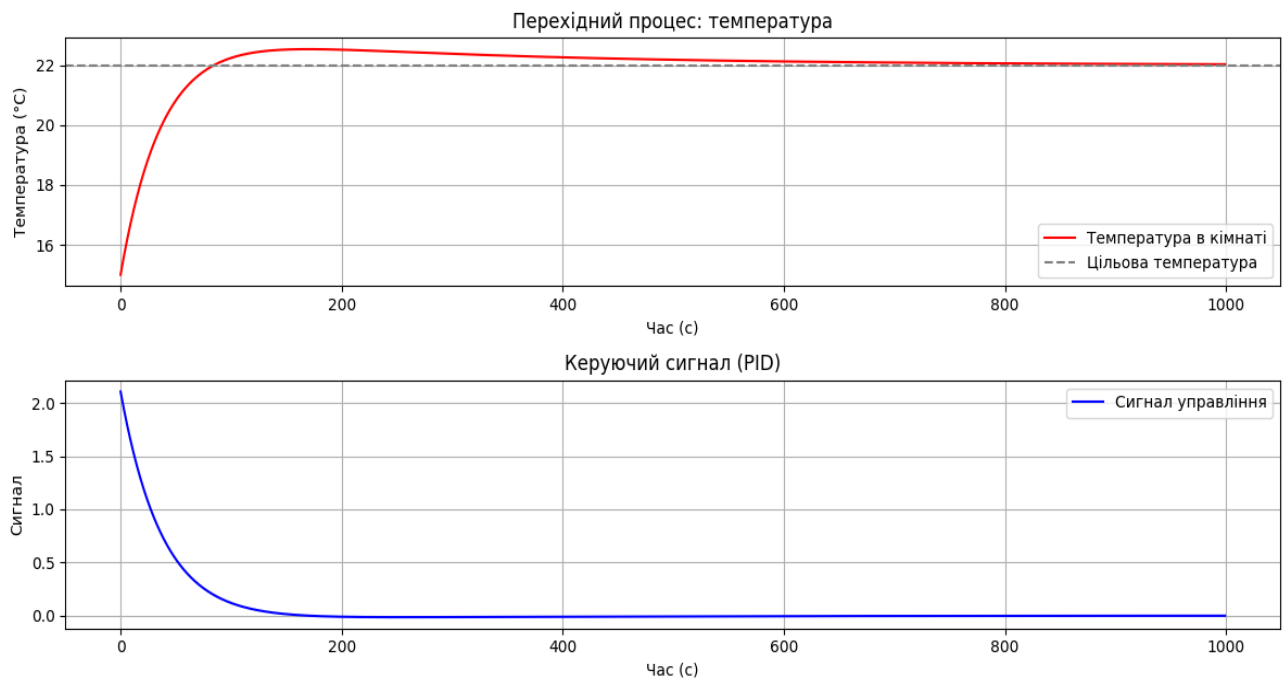


Рисунок 3.4 – Перехідний процес

З рисунку 3.4 видно, що система не досягла стабільного значення в межах $\pm 5\%$ від цільової температури 22.0°C . Тобто температура або коливається, або не стабілізується у заданому діапазоні протягом досліджуваного часу (1000 кроків).

Перерегулювання (overshoot) становить -4.36°C , тобто перерегулювання відсутнє, і система не перевищувала встановлену температуру, а навпаки, вона залишалася нижче за неї, що може свідчити про недостатній контроль або занадто слабкий вплив керуючого сигналу.

Для покращення САК необхідно підсилити ПД-контроль, змінити K , C або вплив T_{in} , щоб система ефективніше реагувала на зовнішні умови чи збільшити час моделювання, якщо встановлення відбувається повільно.

В результаті проведеного аналізу оновленої системи з підсиленням ПД-регулятором (рисунок 3.5) отримано наступні дані

- час встановлення: 56.0 с - система стабілізувалась біля цільової температури досить швидко;
- перерегулювання: -0.29°C - температура не перевищила цільове значення, що є хорошим показником керованості без зайвих коливань.

На графіку (рисунок 3.5) видно, що температура плавно і швидко досягає

					ДП.АКІТ.9702506.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		55

цільового значення 22°C, а сигнал управління адаптується динамічно - спочатку різкий, далі поступово зменшується.

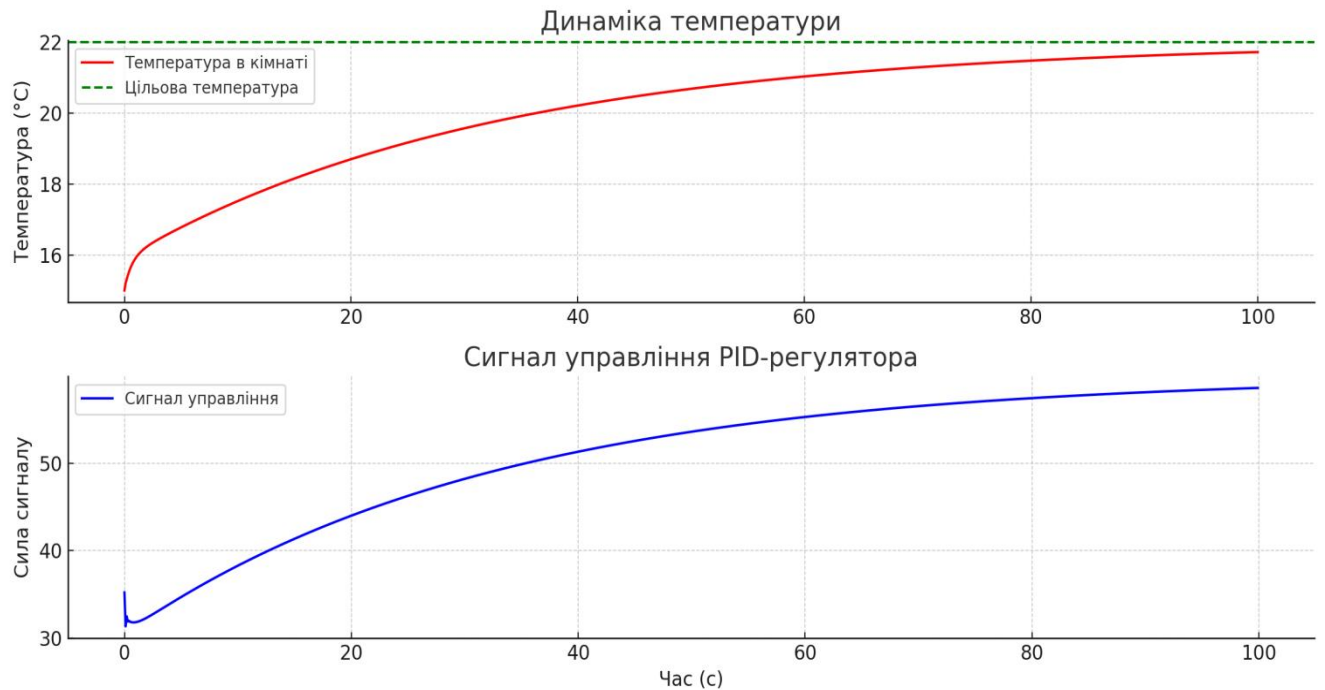


Рисунок 3.5 – Перехідний процес оптимізованої системи

В результаті можна зробити висновки, що система працює добре, налаштований ПД-регулятор не викликає коливань або перерегулювань. Швидкий перехідний процес дозволяє системі за хвилину вийти на бажану температуру, що важливо для енергозбереження і комфорту. Стабільність роботи досягається без перенапруг, навіть при зміні температури з 15°C до 22°C система не "перестрибує" і не коливається.

ВИСНОВКИ

Під час виконання кваліфікаційної роботи розроблена АСУ мікрокліматом приватного будинку, що забезпечує ефективне управління температурними, вентиляційними та кондиціонуючими режимами, оптимізацію енергоспоживання та створення комфортних умов для мешканців.

Проведений аналіз сучасних систем автоматизації, що застосовуються в приватних будинках, зокрема системи опалення, вентиляції, кондиціонування, управління енергоспоживанням, безпеки та захисту від аварій, що дозволило визначити важливість інтеграції цих систем для зниження енергоспоживання, підвищення ефективності функціонування будівель.

Досліджені технологічні особливості, основні функції, а також їх будову та компоненти систем «розумного будинку». Визначено актуальність проектування АСУ мікрокліматом для забезпечення стабільних температурних умов у приміщеннях та зниження витрат на енергію.

В результаті проведених досліджень визначені вимоги до проектованої АСУ, а також параметри контролю та регулювання. Розроблена функціональна схема проектованої АСУ, яка включає підсистеми опалення, вентиляції та кондиціонування.

Розроблена архітектура АСУ мікрокліматом приватного будинку, яка є гнучкою, модульною та дозволяє здійснювати ефективне управління ресурсами будинку, підтримуючи баланс між енергоефективністю та комфортом.

Розроблено алгоритми роботи підсистем опалення, вентиляції та кондиціонування, які включають регулювання температури, контролювання повітряного потоку та моніторинг працездатності компонентів систем для забезпечення комфортних умов у приміщеннях та оптимального енергоспоживання.

Обґрунтовано вибір ТЗА для кожної з підсистем на основі їх функціональності та ефективності.

Здійснене математичне моделювання системи управління мікрокліматом, зокрема автоматичного регулювання температури. Моделювання дозволило

					ДП.АКІТ.9702506.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		57

проаналізувати перехідний процес, оцінити час встановлення і перерегулювання системи.

Проведено оптимізацію параметрів регулювання для забезпечення швидкого і точного досягнення заданої температури без значних коливань.

Запропонована АСУ забезпечує інтеграцію підсистем опалення, вентиляції та кондиціонування, з можливістю автоматичного регулювання параметрів мікроклімату на основі заданих температурних значень та вимог енергоспоживання. Система характеризується стабільною роботою завдяки адаптивному контролю та оптимізації функціонування підсистем відповідно до змін навколишнього середовища та потреб користувачів.

					ДП.АКІТ.9702506.00.00.000ПЗ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. What is a Smart Home?. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://smarthomeenergy.co.uk/what-smart-home/>
2. Turn Your Home or Accommodation into a Smart, Connected Space. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://theitbusiness.uk.com/smart-homes-accommodation-the-future-of-living/>
3. How to Build a Smart Home: A Step-by-Step Guide. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://www.eliteav.services/how-to-build-a-smart-home-a-step-by-step-guide/>
4. Central Heating system. [Електронний ресурс].- Режим доступу: https://www.cityandguilds.com/-/media/productdocuments/building_services_engineering/plumbing/9189/sample-smartscreen-materials/9189_03_sample-presentation-pdf.pdf
5. Understanding central heating systems. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://www.aphc.co.uk/wp-content/uploads/2019/07/understanding-central-heating-systems-Dec13.pdf>
6. Whole House Ventilation Strategies for Existing Homes. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://basc.pnnl.gov/resource-guides/whole-house-ventilation-strategies-existing-homes>
7. How to size and install residential ventilation. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://ohmefficient.com/residential-building-ventilation/>
8. Air Conditioning System Configurations. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <http://www.electrical-knowhow.com/2012/03/air-conditioning-system-configurations.html>
9. Energy Management System. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://sess.co.in/product/energy-management-system-2/>
10. Why use a Home Energy Management System? [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://www.solarchoice.net.au/blog/home-energy-management-systems-a-smart-way-to-save/>
11. El Bourakadi, Dounia & Ramadan, Hiba & Yahyaouy, Ali & Boumhidi,

					ДП.АКІТ.9702506.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		59

Jaouad. (2023). A robust energy management approach in two-steps ahead using deep learning BiLSTM prediction model and type-2 fuzzy decision-making controller. Fuzzy Optimization and Decision Making. 22. 1-23. 10.1007/s10700-022-09406-y.

12. Lighting Control System. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://www.protoconvert.com.au/resources/case-studies/lighting-control-system/>

13. Introduction to Lighting Controls. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://lightingcontrolsassociation.org/2017/07/21/introduction-to-lighting-controls/>

14. Smart Water Management. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://www.robustel.com/utilities/smart-water-management/>

15. Manmeet S., Suhaib A. IoT based smart water management systems: A systematic review. Materials Today: Proceedings. Vol. 46, Part 11. 2021. P. 5211-5218. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.588>.

16. Nnebe, Scholastica & Okafor, Chukwunenye & Onuzulike, Chukwuma. (2022). Door Access Control Using RFID and Voice Recognition System. 10.

17. Komol, Md. Mostafizur & Podder, Amit & Arafat, Abdullah & Nabeed, Tanzim. (2019). Remote Sensing Global Ranged Door Lock Security System via Mobile Communication. International Journal of Wireless and Microwave Technologies. 9. 25-37. 10.5815/ijwmt.2019.05.03.

18. Stolojescu-Crisan C., Crisan C., Butunoi B.-P. Access control and surveillance in a smart home. High-Confidence Computing. Vol.2, Issue 1. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.hcc.2021.100036>.

19. Types of Fire Alarm Systems and Their Wiring Diagrams. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://www.electricaltechnology.org/2019/12/fire-alarm-system-wiring.html>

20. Addressable Fire Alarm System: Elevate Your Security. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://reolink.com/blog/addressable-fire-alarm-system/>

21. Lobanchykova, Nadiia & Pilkevych, Ihor & Korchenko, Oleksandr. (2022). Analysis and protection of IoT systems: Edge computing and decentralized decision-making. Journal of Edge Computing. 1. 55-67. 10.55056/jec.573.

22. SLC 500 Controllers. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://www.rockwellautomation.com/en-us/products/hardware/allen->

					ДП.АКІТ.9702506.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		60

bradley/programmable-controllers/small-controllers/slc-500-controllers.html

23. SLC 500 SYSTEMS. [Електронний ресурс].- Режим доступу:
<https://docs.rs-online.com/671b/0900766b80dfac7f.pdf>

24. Насос Star-RS 30/7. [Електронний ресурс].- Режим доступу:
<https://wilo.com/il/en/Products/uk/virobi-ta-profesiyniy-dosvid/wilo-star-rs/star-rs-30-7>

25. Електромагнітний клапан GAMA 2W-40. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://goodmax.com.ua/ru/product/elektromagnitnyj-klapan-gama-2w-40-nc-1-12-0-10->

[bar?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwzMi_BhACEiwAX4YZUJWjrcdOXpAV0NuDPKADUOmBr2Y4G_boL054-YzUaHPmOywxMjjgShoC1PkQAvD_BwE](https://goodmax.com.ua/ru/product/elektromagnitnyj-klapan-gama-2w-40-nc-1-12-0-10-bar?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwzMi_BhACEiwAX4YZUJWjrcdOXpAV0NuDPKADUOmBr2Y4G_boL054-YzUaHPmOywxMjjgShoC1PkQAvD_BwE)

26. Sensors. [Електронний ресурс].- Режим доступу:
https://hit.sbt.siemens.com/RWD/app.aspx?RC=BE&lang=en&MODULE=Catalog&ACTION=ShowGroup&KEY=OPC_375720

					ДП.АКІТ.9702506.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		61