

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра автоматизації, комп'ютерних наук і технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеню вищої освіти-магістр
за освітньо-професійною програмою

«Кіберфізичні системи в промисловості, бізнесі та транспорті»

зі спеціальності

*174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка*

тема роботи:

*«Автоматизована система керування мікрокліматом багатоцільового
складу»*

Виконав ст. гр.АКІТР-23-2м

Яценко А.С.

Керівник

Тиханський М.П.

Нормоконтроль

Маринич І.А.

Завідувач кафедри

Рубан С.А.

КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**Факультет:** інформаційних технологій**Кафедра:** автоматизації, комп'ютерних наук і технологій**Ступінь вищої освіти:** Магістр**Спеціальність:** 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка**ЗАТВЕРДЖУЮ**Зав. кафедри: к.т.н. Рубан С.А.

«29» червня 2024 р.**ЗАВДАННЯ****на кваліфікаційну роботу магістра**студенту групи АКІТР-23-1м Яценку Андрію Сергійовичу**1. Тема роботи:** «Автоматизована система керування мікрокліматом багатоцільового складу»

затверджено наказом по університету № 595с від 04.07.2024 р.

2. Термін здачі завершеної роботи: «01» грудня 2024 р.**3. Склад кваліфікаційної роботи:** Пояснювальна записка, додаток, презентація у Microsoft PowerPoint в електронному та друкованому вигляді**4. Консультанти кваліфікаційної роботи:**Розділ 1-3 доц. Тиханський М.П.Нормоконтроль доц. Маринич І. А.

5. Календарний план:

№	Етапи роботи	Термін виконання
1	<i>Вступ</i>	<i>10.07.24</i>
2	<i>Розділ 1</i>	<i>15.07.24</i>
3	<i>Розділ 2</i>	<i>18.08.24</i>
4	<i>Розділ 3</i>	<i>19.09.24</i>
5	<i>Висновки</i>	<i>15.10.24</i>
6	<i>Оформлення кваліфікаційної роботи</i>	<i>20.11.24</i>
7	<i>Підготовка презентації та графічного матеріалу</i>	<i>28.11.24</i>
8	<i>Підготовка доповіді до захисту</i>	<i>01.12.24</i>

6. Дата видачі завдання: 29.06.2024р.

Керівник _____ /Тиханський М.П. /

7. Запевнення: Я, Яценко Андрій Сергійович, запевняю, що ця кваліфікаційна робота виконана самостійно, не містить академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Із чинним Положенням про академічну доброчесність Криворізького національного університету з метою запобігання та виявлення академічного плагіату в роботах здобувачів вищої освіти ознайомлена. Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі умисних порушень робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.

Студент _____ /Яценко Андрій Сергійович /

АНОТАЦІЯ

Яценко А.С. Автоматизована система керування мікрокліматом багатоцільового складу.

Кваліфікаційна робота на здобуття ступеню вищої освіти магістр за освітньо-професійною програмою «Кіберфізичні системи в промисловості, бізнесі та транспорті» зі спеціальності 174 – Автоматизація, комп'ютерно – інтегровані технології та робототехніка. – Криворізький національний університет, Кривий Ріг, 2024.

Об'єктом дослідження є теплові процеси та мікроклімат багатоцільового складу. Предметом дослідження є автоматизована система керування мікрокліматом складського приміщення, яка дозволяє мінімізувати вплив людського фактору та забезпечити автоматичне підтримання заданих параметрів.

В першому розділі розглянуті принципи керування мікрокліматом складських приміщень, проведено аналіз автоматизації існуючих систем керування мікрокліматом та математичних моделей.

В другому розділі виконано розробку структурної схеми системи керування для підтримання мікроклімату в приміщенні багатоцільового складу, динамічну модель складського приміщення, моделі та моделювання процесів керування температурним режимом, оцінка стійкості і точності системи регулювання температури. Розроблено системи керування мікрокліматом з використанням нечіткої логіки.

в третьому розділі обгрунтовано вибір програмного забезпечення для для автоматизованої системи керування. Розроблено людино-машинний інтерфейс оператора технолога та відеокадри дисплейних мнемосхем оператора.

Ключові слова:

АВТОМАТИЗАЦІЯ, БАГАТОЦІЛЬОВИЙ СКЛАД, ВЕНТИЛЯЦІЯ, КОНДИЦІОНУВАННЯ, МІКРОКЛІМАТ, НЕЧІТКА ЛОГІКА, РЕГУЛЯТОР, СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, ТЕМПЕРАТУРНИЙ РЕЖИМ

ANNOTATION

Yatsenko A.S. Automated microclimate control system of a multi-purpose warehouse.

Qualification work for obtaining a master's degree of higher education under the educational and professional program "Cyber-physical systems in industry, business and transport" in the specialty 174 - Automation, computer-integrated technologies and robotics. – Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, 2024.

The object of research is the thermal processes and microclimate of the multi-purpose structure. The subject of the study is an automated system for managing the microclimate of a warehouse, which allows to minimize the influence of the human factor and ensure automatic maintenance of the specified parameters.

In the first chapter, the principles of managing the microclimate of warehouses are considered, the analysis of automation of existing microclimate management systems and mathematical models is carried out.

In the second section, the development of the structural diagram of the control system for maintaining the microclimate in the multi-purpose warehouse, the dynamic model of the warehouse, the models and modeling of temperature control processes, the assessment of the stability and accuracy of the temperature control system was carried out. Microclimate control systems using fuzzy logic have been developed.

the third section substantiates the choice of software for the automated control system. The man-machine interface of the technologist operator and the video frames of the operator's display mnemonics have been developed.

Keywords:

AUTOMATION, MULTIPURPOSE WAREHOUSE, VENTILATION, AIR CONDITIONING, MICROCLIMATE, FUZZY LOGIC, REGULATOR, CONTROL SYSTEM, TEMPERATURE MODE

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	8
ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ, ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПІДХОДІВ ДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОМАТИЗАЦІЇ	11
1.1 Загальні принципи керування мікрокліматом складських приміщень	11
1.2 Автоматизація існуючих систем керування мікрокліматом	15
1.3 Аналіз автоматизації вентиляційних систем	19
1.4 Автоматизація прецизійних та мультизональних систем керування мікрокліматом	23
1.5 Огляд математичних моделей систем мікроклімату	27
Висновки до розділу	32
РОЗДІЛ 2. ІДЕНТИФІКАЦІЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТА СИНТЕЗ І МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ	33
2.1 Розробка структурної схеми системи керування для підтримання мікроклімату в приміщенні багатоцільового складу	33
2.2 Динамічна модель складського приміщення	35
2.3 Розробка моделі та моделювання процесів керування температурним режимом у приміщенні складу	41
2.4 Визначення структури та передаточної функції прецизійного регулятора	48
2.5 Розрахунок допустимого часу дискретизації автоматичної системи регулювання температури	50
2.6 Розрахунок параметрів для налаштування системи регулювання для підвищення точності і досягнення мінімального інтегрального квадратичного показника якості	52
2.7 Оцінка стійкості і точності системи регулювання температури	55

2.8 Розробка системи керування мікрокліматом з використанням нечіткої логіки	62
Висновки до розділу	71
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ	73
3.1 Обґрунтування вибору програмного забезпечення для для автоматизованої системи керування.....	73
3.2 Розробка людино-машинного інтерфейсу оператора технолога.....	81
3.3 Відеокадри дисплейних мнемосхем оператора	82
Висновки до розділу	85
ВИСНОВКИ	86
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	88

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АСК – автоматизована система керування;

ВМ – виконавчий механізм;

НЛ – нечітка логіка мережа;

ОК – об'єкт керування;

ПЗ – програмне забезпечення;

ПІД-регулятор – пропорційний інтегральний та диференціальний регулятор;

ПЛК – програмований логічний контролер;

ПФ – передаточна функція;

САР – система автоматичного регулювання;

САК – система автоматизованого керування;

ТЗА – технічні засоби автоматизації;

НМІ – людино-машинний інтерфейс (Human Machine Interface);

SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition.

ВСТУП

Зростання обсягів виробництва та споживання товарів, розвиток логістичних ланцюгів та загальна глобалізація економіки створюють нові виклики для сфери зберігання та обробки продукції. Сучасні склади все частіше виступають не лише місцем зберігання, але й багатофункціональними логістичними вузлами, де здійснюються процеси сортування, пакування, короткотермінового зберігання та навіть обробки замовлень. У таких умовах надзвичайно важливим стає підтримка оптимальних умов зберігання для різних категорій продукції, які можуть вимагати специфічних параметрів мікроклімату – температури, вологості, рівня вентиляції тощо. Неправильний мікроклімат може призвести не лише до псування товарів, але й до значних економічних втрат, зниження репутації компанії та зростання операційних витрат. Це актуалізує питання впровадження автоматизованих систем керування мікрокліматом, здатних забезпечити надійний контроль та ефективне керування параметрами зберігання.

Автоматизована система керування мікрокліматом є комплексним рішенням, яке дозволяє мінімізувати вплив людського фактору та забезпечити автоматичне підтримання заданих параметрів. Це досягається завдяки застосуванню сенсорних технологій, алгоритмів обробки даних та засобів передачі інформації, що дозволяє своєчасно виявляти відхилення і коригувати їх у режимі реального часу. Такі системи стають особливо корисними для багатофункціональних складів, які зберігають широкий асортимент продукції, що вимагає індивідуальних умов. Зокрема, продукти харчування, медикаменти, електроніка, хімічні речовини та інші види товарів вимагають різного мікроклімату для забезпечення тривалого терміну зберігання та збереження властивостей.

Метою цієї магістерської роботи є розробка автоматизованої системи керування мікрокліматом, яка зможе адаптуватися до специфічних вимог кожного типу продукції, знижуючи експлуатаційні витрати та підвищуючи ефективність зберігання. Застосування такої системи дозволить досягти високої точності підтримання мікроклімату, а також забезпечити інтеграцію з іншими інформаційними системами підприємства, що дозволить реалізувати повну автоматизацію та контроль процесів на складі. В роботі розглянуто основні компоненти, що забезпечують функціонування системи: сенсорні пристрої для моніторингу параметрів середовища, алгоритми, що обробляють отримані дані, та інтерфейси для передачі команд у виконавчі механізми. Завдяки такій інтеграції система не тільки забезпечує стабільність умов зберігання, але й дозволяє оперативно реагувати на зміни умов зовнішнього середовища.

Актуальність теми роботи зумовлена підвищенням вимог до якості та тривалості зберігання продукції в умовах жорсткої конкуренції та швидкого розвитку ринку. Багато підприємств, орієнтованих на оптимізацію логістики та мінімізацію втрат, активно інвестують у технології, здатні забезпечити максимально ефективні умови для роботи складів. Впровадження автоматизованих систем управління мікрокліматом стає одним з ключових аспектів у підвищенні конкурентоспроможності підприємств, забезпеченні надійності ланцюгів постачання та задоволенні зростаючих потреб ринку.

Об'єктом дослідження є теплові процеси та мікроклімат багатоцільового складу.

Предметом дослідження є автоматизована система керування мікрокліматом складського приміщення, яка дозволяє мінімізувати вплив людського фактору та забезпечити автоматичне підтримання заданих параметрів.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ, ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПІДХОДІВ ДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Загальні принципи керування мікрокліматом складських приміщень

Розробка системи контролю мікроклімату має на меті комплексне вирішення задачі підтримки ключових параметрів повітря, таких як температура, вологість, хімічний склад і швидкість руху потоків повітря, у необхідних межах. Основні завдання таких систем включають:

- забезпечення та, якщо потрібно, створення комфортних мікрокліматичних умов для людей, тварин, рослин та інших об'єктів.
- оптимізація витрат енергоресурсів на підтримання та створення сприятливого мікроклімату.

Залежно від змін, які відбуваються з повітрям, процеси його обробки можна поділити на кілька етапів:

- забір повітря з навколишнього середовища;
- рекуперація тепла для збереження енергії;
- попередній нагрів повітря перед подачею;
- охолодження для підтримання комфортної температури;
- нагрівання для забезпечення необхідного теплового режиму;
- фільтрація повітря для очищення від шкідливих домішок;
- подача очищеного і обробленого повітря в приміщення;
- витягування відпрацьованого повітря з приміщення;
- циркуляція повітря для досягнення рівномірних мікрокліматичних умов у всьому приміщенні.

Основне завдання системи вентиляції на складі полягає у створенні необхідних кліматичних умов, відповідних для цього типу приміщень (температура, вологість, інтенсивність вентиляції), щоб вони повністю відповідали технологічним вимогам для зберігання товарів.

Температурний режим і рівень вологості повинні бути максимально рівномірними по всій площі складу, без різких коливань. При цьому вентиляцію ускладнює наявність численого складського обладнання, як-от полиці, стелажі для зберігання, а також техніка для переміщення товарів всередині складу, зокрема навантажувачі та крани.

Залежно від вимог до умов зберігання продукції, складські приміщення поділяються на кілька категорій:

- захист від атмосферних впливів: товари зберігаються в неутеплених приміщеннях або просто під навісом, без додаткового захисту від температури.

- зберігання на охолоджуваних або опалюваних складах: такі склади обладнані системами, що захищають продукцію від низьких чи високих температур, а також від різких перепадів температур.

Вентиляційні системи для складських приміщень класифікуються за основними характеристиками [1]:

Мета:

- припливна вентиляція забезпечує подачу чистого повітря ззовні. Це повітря може додатково проходити обробку, таку як очищення, підігрів, зволоження або осушення.

- витяжна вентиляція виконує функцію видалення забрудненого та застоюного повітря зі складу.

- найбільш поширеним варіантом є припливно-витяжна вентиляція, яка одночасно подає свіже повітря і видаляє відпрацьоване, забезпечуючи оптимальний повітрообмін.

Сфера дії:

- місцева вентиляція призначена для обслуговування конкретних зон

складу, де найбільше утворюються шкідливі виділення. Вона локально видаляє забруднене повітря і подає чисте в обмежені ділянки.

– загальнообмінна вентиляція використовується для вентиляції всього складського приміщення і може бути припливною, витяжною або комбінованою. Вона дозволяє підтримувати необхідні температурний і вологісний режими, а також знижувати концентрацію шкідливих газів і парів, які не вдається усунути за допомогою місцевої вентиляції.

Загальнообмінні системи особливо важливі для забезпечення рівномірного мікроклімату в масштабах всього складу, що необхідно для ефективного зберігання товарів.

Спосіб переміщення повітряних мас в приміщенні може бути природним або механічним:

– природна вентиляція забезпечує рух повітря через різницю атмосферного тиску зовні та всередині складу. Це може бути викликано впливом вітру або різницею температур між внутрішнім і зовнішнім середовищем.

– механічна вентиляція здійснюється завдяки спеціальному обладнанню, яке не лише забезпечує подачу й видалення необхідних обсягів повітря, але й, за необхідності, нагріває, очищує чи зволожує його. Основною перевагою механічних систем вентиляції є їхня незалежність від зовнішніх природних умов, що дозволяє стабільно підтримувати необхідні параметри повітря незалежно від погоди чи часу доби.

На практиці вентиляція складських приміщень часто організовується з поєднанням як природної, так і механічної вентиляції для оптимальної ефективності.

Системи вентиляції також відрізняються за *конструктивними особливостями* [1,2]:

– канална вентиляція використовує мережу повітропроводів для переміщення повітря по приміщенню. Це забезпечує ефективне розподілення повітря по всьому складу.

– безканална вентиляція не потребує повітропроводів. У таких системах вентилятори встановлюються безпосередньо в стіни або перекриття, що дозволяє обійтися без складних повітропровідних мереж.

Якщо завчасно відомі вид продукції та матеріалів, які будуть зберігатися на складі, можна підібрати найбільш відповідну систему вентиляції. Наприклад, для овочесховищ та інших складів сільськогосподарської продукції часто застосовується природна вентиляція в поєднанні з припливною вентиляцією з механічним підсиленням. Для підтримання необхідного стану повітря у приміщенні припливно-витяжна вентиляція подає оброблене повітря з потрібними температурними та вологісними показниками і видаляє повітря, яке не відповідає заданим вимогам. Схема припливно-витяжної вентиляції наведена на рис.1.1.

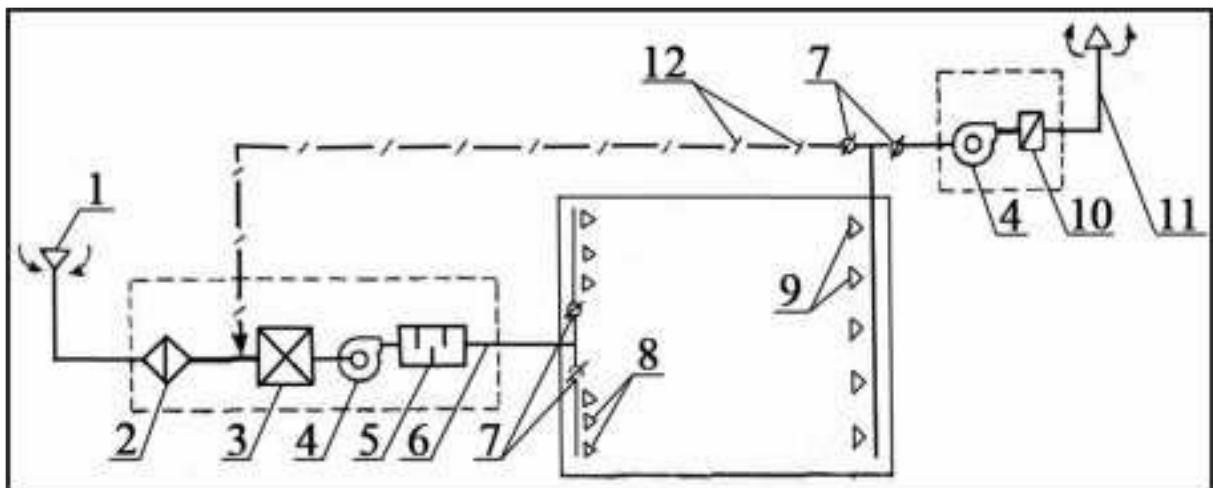


Рисунок 1.1 - Схема припливно-витяжної вентиляції

На рисунку 1.1 прийняті наступні позначення: 1 – повітрозабір; 2 – фільтри; 3 – обладнання для оброблення повітря (калорифери, кондиціонери, охолоджувачі повітря тощо); 4 – вентилятори; 5 – поглиначі шуму; 6 – повітроводи; 7 – регулювальні клапани; 8 – отвори для подачі повітря в приміщення; 9 – витяжні отвори; 10 – очищення витяжного повітря; 11 – пристрій для викидання повітря; 12 – лінія рециркуляції повітря [4].

Системи припливно-витяжної вентиляції мають бути оснащені всіма необхідними елементами для комплексної обробки повітря, починаючи від його забору з зовнішнього середовища і закінчуючи видаленням відпрацьованого повітря з приміщення. Це включає процеси очищення, підігріву, охолодження та транспортування повітря по системі.

Проте інколи вентиляційна система може не мати в своєму складі повного списку обладнання, зображеного на рисунку 1.1. Так очищення повітря перед його виведенням назовні відбвається лише тоді, коли вміст забруднювачів перевищує допустимі норми, інакше це може не бути необхідним.

1.2 Автоматизація існуючих систем керування мікрокліматом

До завдань автоматизованих систем керування мікрокліматом відносять такі: підігрів припливного повітря, його охолодження, а також забезпечення необхідної кількості повітря для підтримання комфортних умов у приміщенні. Для реалізації цих функцій використовуються різні контури керування, зокрема контур нагріву повітря, контур охолодження та контур регулювання витрати повітря.

Розглянемо детальніше роботу цих контурів [3]:

Контур керування нагрівом повітря. Регулювання водяного нагрівача здійснюється триходовим клапаном 1-3 на рис. 1.2. Цей клапан дозволяє змішувати вхідний теплоносій із зворотним, що спрощує роботу системи автоматичного регулювання. Сигнал з датчика температури 1-1 передається на контролер 1-2, а далі контролер відправляє регулюючий сигнал на триходовий клапан. Такий підхід дозволяє підтримувати стабільну температуру повітря.

Для регулювання електричних нагрівачів (ТЕН) використовується напівпровідникове реле 1-3 на рис. 1.3, яке змінює продуктивність нагрівача на основі сигналу від контролера. Сигнал від датчика температури 1-1 надходить на

контролер, а далі – на реле, яке контролює роботу ТЕН. Однак одним із недоліків цього підходу є те, що ТЕН не здатний ефективно обігріти великі об'єми повітря.

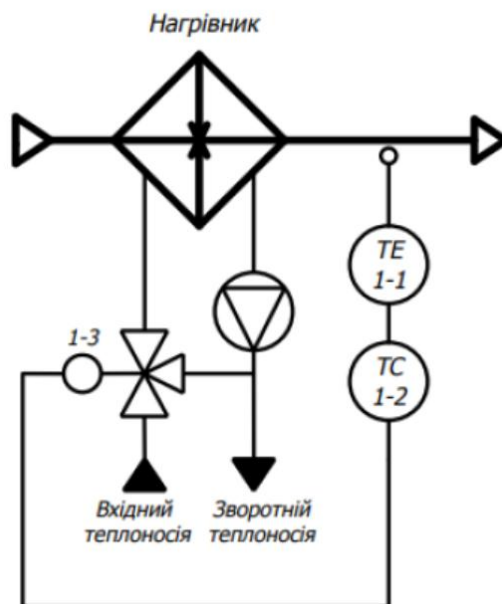


Рисунок 1.2 - Контур керування підігрівом повітря за допомогою водяного нагрівника

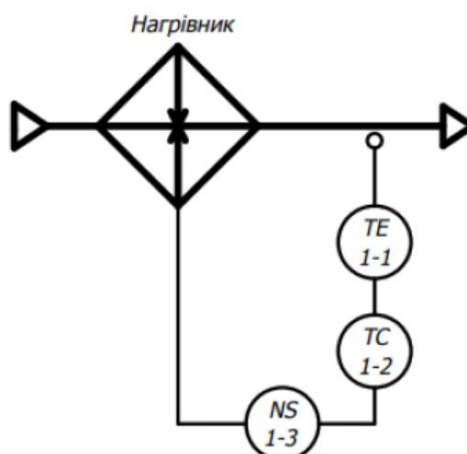


Рисунок 1.3 - Контур керування підігрівом повітря за допомогою ТЕН

Контур керування охолодженням повітря. Охолодження здійснюється за допомогою одноходового клапана 1-3 на рис. 1.4. Сигнал з температурного датчика 1-1 надходить на контролер 1-2, який регулює роботу одноходового

клапана, змінюючи витрату теплоносія. Однак, такий тип клапана має недолік – нелінійну витратну характеристику, що потребує додаткової компенсації для точного регулювання.

Таким чином, кожен контур забезпечує свою специфічну функцію, що дозволяє системі підтримувати необхідний мікроклімат у приміщенні, а використання різних клапанів і реле допомагає оптимізувати процеси нагріву, охолодження та регулювання витрати повітря.

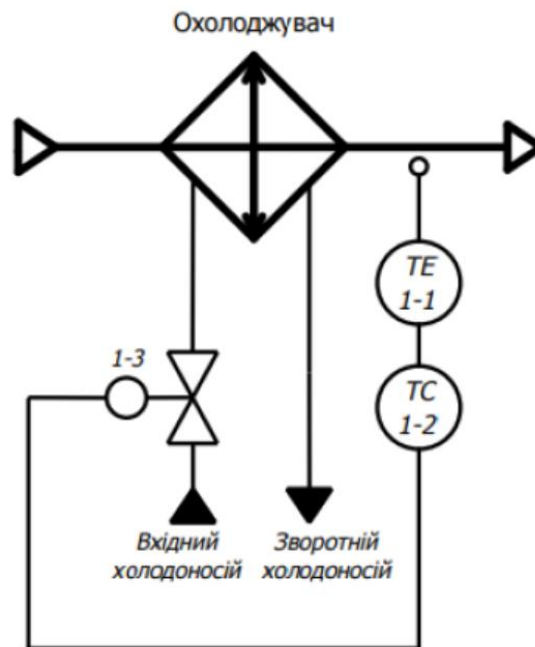


Рисунок 1.4 - Контур керування охолодженням повітря

Проаналізуємо роботу контуру керування витратою повітря. Витрату повітря можна регулювати двома основними способами: зміною продуктивності вентилятора або за допомогою заслінки.

За допомогою частотного перетворювача 1-3 на рис. 1.5 можна регулювати продуктивність вентилятора, змінюючи його швидкість обертання, що впливає на обсяг повітря, що подається в систему. Цей метод управління, однак, є більш енерговитратним у порівнянні з регулюванням за допомогою заслінки. Для регулювання продуктивності контролер 1-2 отримує дані про перепад тиску з датчика 1-1, обробляє їх та передає сигнал частотному перетворювачу 1-3, який

змінює швидкість обертання вентиляції.

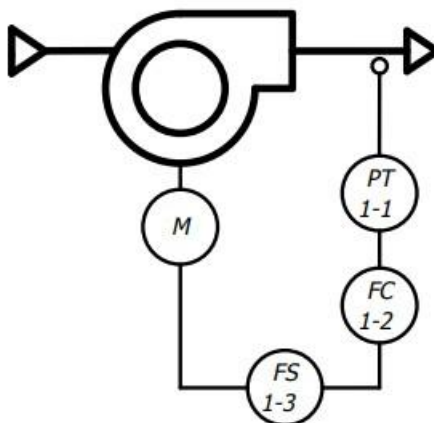


Рисунок 1.5 - Контур регулювання витрати за допомогою зміни продуктивності вентилятора

Альтернативний спосіб регулювання [2,3]– це зміна положення заслінки 1-3 на рис. 1.6. У цьому випадку, перепад тиску, виміряний датчиком 1-1, також надходить на контролер 1-2, який обробляє дані і надсилає регулюючий сигнал на заслінку. Зміна її положення дозволяє регулювати об'єм повітря, що надходить у вентиляційний канал, при цьому забезпечуючи більш економічний спосіб контролю витрати повітря.

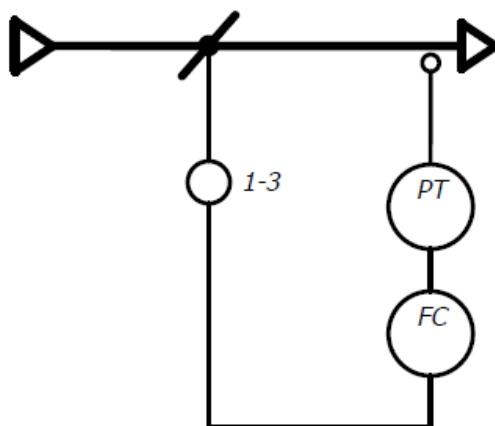


Рисунок 1.6 - Контур регулювання витрати за допомогою заслінки

Обидва підходи мають свої переваги і недоліки: використання частотного перетворювача дозволяє плавно змінювати продуктивність вентилятора, але

потребує більше енергії, тоді як управління заслінками є простішим і менш енерговитратним способом, але менш точним у деяких випадках.

1.3 Аналіз автоматизації вентиляційних систем

Розглянемо основні системи вентиляції, які є найбільш поширеними: припливна система вентиляції, припливно-витяжна система вентиляції, та припливно-витяжна система з рекуперацією тепла.

Система припливної вентиляції призначена для забезпечення приміщення свіжим, очищеним і підготовленим повітрям ззовні. Вона включає в себе такі ключові елементи, як витяжна заслінка, фільтр для очищення приточного повітря, водяний нагрівач для підігріву повітря, а також вентилятор, який забезпечує його подачу (рис. 1.7). Далі детально розглянемо призначення та функції кожного з цих компонентів.

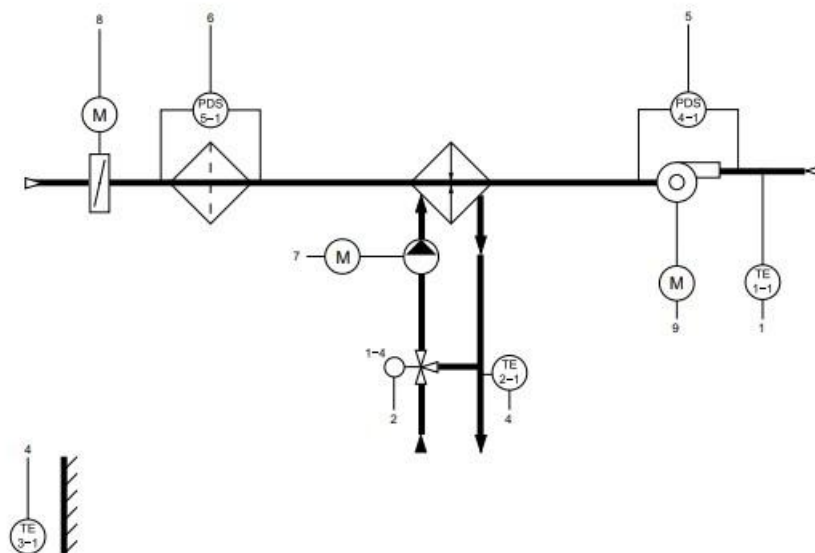


Рисунок 1.7 - Технологічна схема припливної системи вентиляції

Витяжна заслінка відіграє важливу роль у протипожежній безпеці. Коли заслінка закрита, вона блокує проникнення зовнішнього повітря всередину

приміщення, що запобігає поширенню диму або вогню у випадку пожежі.

Припливні фільтри в системі забезпечують очищення повітря, захищаючи від різноманітних забруднювачів, що можуть потрапити ззовні. Вони також захищають компоненти вентиляційної системи від пошкодження. З метою контролю забруднення фільтрів використовується пресостат, який сповіщає про необхідність їх очищення або заміни.

Припливний вентилятор є ключовим елементом для подачі в приміщення свіжого повітря. За його допомогою свіже повітря надходить через систему вентиляції, підтримуючи комфортний мікроклімат.

Водяний нагрівач використовується для підвищення температури приточного повітря, особливо в холодну пору року. В якості теплоносія в системі виступає гаряча вода, що подається через систему опалення. Нагрівач є водяним теплообмінником, який від гарячої води передає тепло і підігріває повітряний потік.

Для запобігання замерзання нагрівача при низьких температурах, система оснащена термостатом, який відстежує стан нагрівача. Для регулювання продуктивності нагрівача використовується *триходовий клапан*. Він змішує вхідний потік гарячої води зі зворотним потоком, що повертається від нагрівача, забезпечуючи стабільне нагрівання повітря.

Забезпечення постійного руху теплоносія в системі, з метою рівномірного розподілу тепла виконує циркуляційний насос. Датчик зворотної температури теплоносія контролює температуру води, що повертається в мережу, щоб уникнути перевищення температурних норм і зберегти енергію.

Пресостат також слугує для контролю роботи притяжного вентилятора, відслідковуючи його справність та вчасно повідомляючи про можливі збої. Датчик температури повітря фіксує температуру повітряного потоку на різних етапах, що дозволяє автоматично регулювати роботу системи для досягнення необхідного мікроклімату.

Таким чином, припливна система вентиляції забезпечує не лише

надходження свіжого повітря, але й його обробку, регулювання температури та моніторинг стану компонентів системи.

Важливим фактором, що впливає на роботу вентиляційної системи, є температура зовнішнього повітря, яка вимірюється за допомогою зовнішнього датчика температури. Ці показники дозволяють підтримувати необхідний клімат у приміщенні незалежно від змін температури на вулиці. Володіння інформацією про температуру зовні також дає можливість оптимізувати витрати електроенергії, оскільки система може коригувати свої режими роботи відповідно до умов. Таким чином, при різних зовнішніх температурах система використовує різні робочі режими для забезпечення енергоефективності.

Для забезпечення ефективного повітрообміну в приміщенні встановлюється припливно-витяжна вентиляційна система вентиляції (рис. 1.8). Ця система, окрім притяжного каналу, схожого на той, що використовується в припливній системі, включає також охолоджувач [5].

Охолоджувач відповідає за зниження температури припливного повітря, передаючи холод від холодоносія до повітряного потоку. Регулювання продуктивності охолоджувача здійснюється за допомогою триходового клапана, який дозволяє точно контролювати охолодження повітря.

У витяжному каналі присутні такі компоненти, як фільтр, витяжний вентилятор і витяжна заслінка. Фільтр запобігає забрудненню витяжного вентилятора та рекуператора, захищаючи їх від потрапляння пилу і інших забруднювачів. Витяжний вентилятор забезпечує вивід непотрібного повітря з приміщення, таким чином підтримуючи необхідний повітрообмін.

Ще одним типом вентиляційних систем є система з функцією рекуперації тепла (рис. 1.9), яка забезпечує ефективне використання енергії, повертаючи частину тепла з витяжної поверхні.

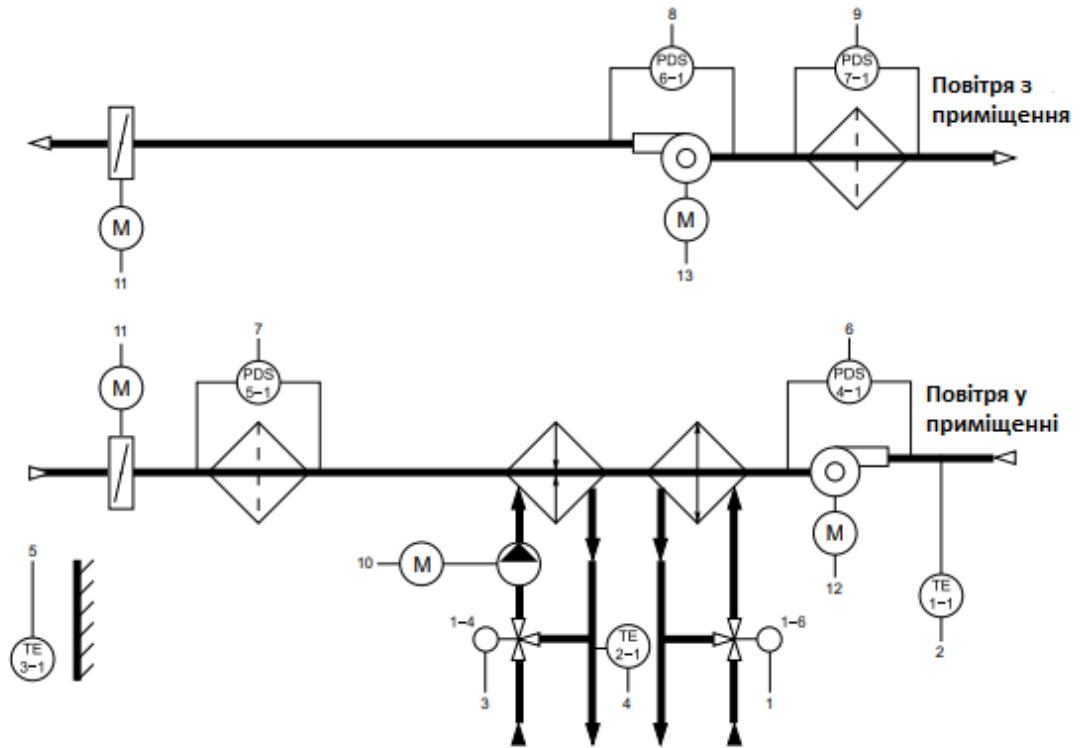


Рисунок 1.8 - Технологічна схема припливно-витяжної системи вентиляції

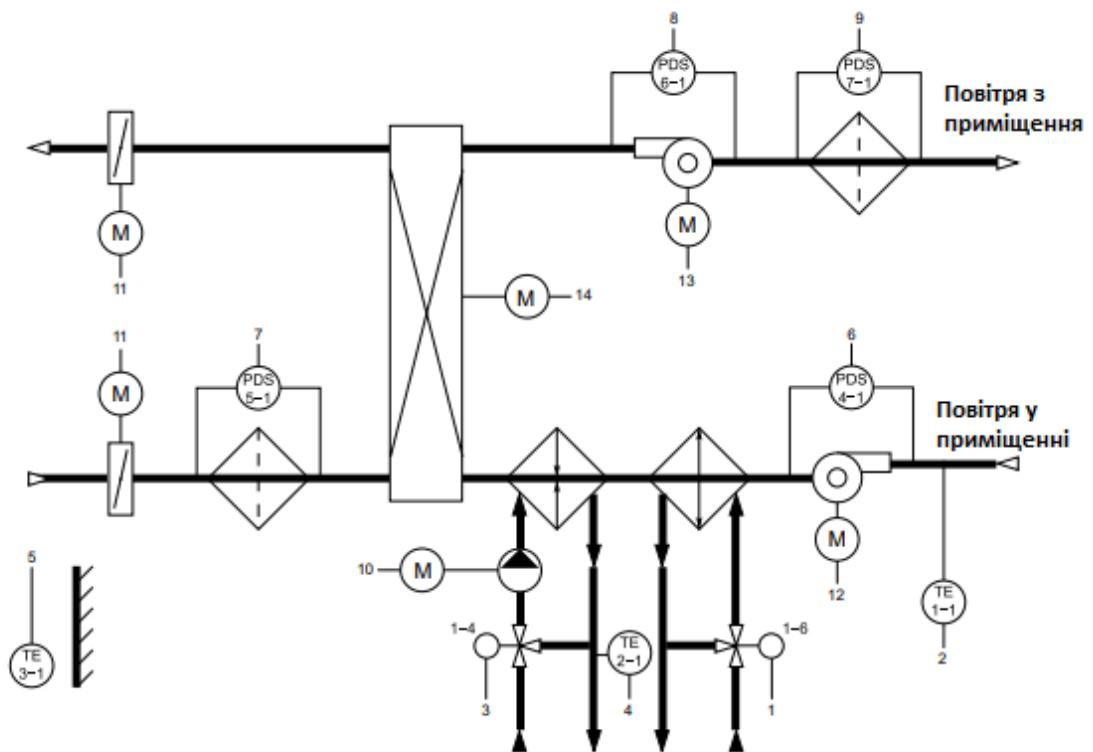


Рисунок 1.9 - Припливно-витяжна система вентиляції з рекуперацією

Вона виконує не тільки приплив і витяжку повітря, але й забезпечує теплообмін між цими потоками, що сприяє значній економії енергії. Рекуперація тепла дає можливість передавати тепло від витяжного до притяжного повітря, не змішуючи їх. Це допомагає зберігати енергію, необхідну для нагрівання або охолодження повітря до комфортних температур.

У цій системі використовується роторний рекуператор, який дозволяє регулювати ефективність теплообміну шляхом зміни швидкості його обертання. За цей процес відповідають спеціальний двигун і частотний перетворювач, що забезпечують плавне та ефективне керування продуктивністю рекуператора.

Завдяки тепловій рекуперації відбувається обмін теплом між витяжним та припливним повітрям, без їх змішування, що сприяє економії енергії для досягнення потрібної температури. Система включає роторний рекуператор, продуктивність якого можна регулювати, змінюючи швидкість обертання за допомогою двигуна та перетворювача частоти.

1.4 Автоматизація прецизійних та мультизональних систем керування мікрокліматом

У високоточних системах для підтримання стабільної температури в приміщенні використовуються каскадні регуляторні системи та температурні доводчики.

Каскадні системи стабілізації (КСС) [5] забезпечують високу якість регулювання. У таких системах керування використовуються два регулятори, які контролюють основний параметр, але замість безпосереднього впливу на виконавчий орган, вони змінюють налаштування допоміжного регулятора. Цей допоміжний регулятор підтримує стабільне значення додаткового параметра в певній проміжній точці об'єкта. Перший контур виконує функцію стабілізації, тоді як другий контур забезпечує коригування.

На рисунку 1.10 наведено схему безперервної каскадної системи керування (КСС), яка застосовується в кондиціонуванні повітря з рециркуляцією. Регулювання параметрів повітря досягається завдяки двом каскадним контурам. Перший контур стабілізує температуру повітря після другого етапу повітропідігрівача, підлаштовуючи її відповідно до температури в приміщенні шляхом регулювання подачі теплоносія в нагрівач (регулятор P2). Корекція температури здійснюється за допомогою коригувального регулятора P2.

Друга КСС містить чутливий елемент для контролю температури точки роси. Встановлюється він після камери зрошення. А також є регулятор P1, що управляє виконавчими механізмами: змішувально-регулюючим клапаном 1, першим ступенем повітропідігрівача ВН1 та клапанами для змішування зовнішнього і рециркуляційного повітря 2. Для корекції системи використовується регулятор вологості P1 з датчиком, розташованим у приміщенні.

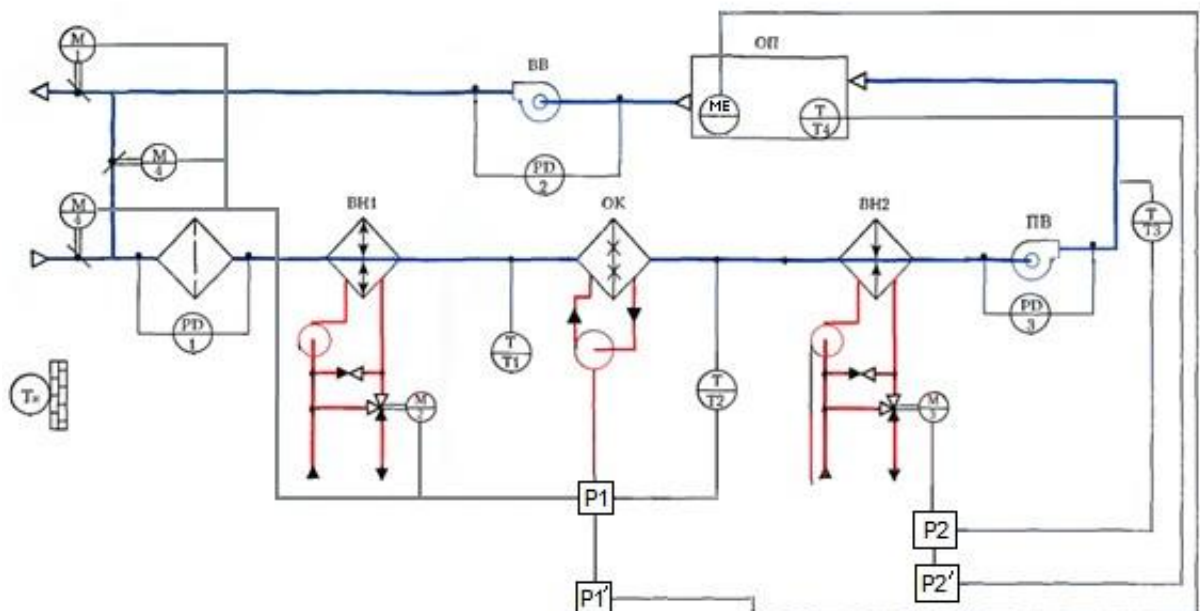


Рисунок 1.10 - Схема каскадної системи керування системою кондиціонування

Вентиляційні системи, обладнані температурними доводчиками [4], найчастіше застосовуються у багатозональних системах вентиляції та

кондиціонування повітря. Приклад такої системи показано на рисунку 1.11. У таких системах для всіх зон проводиться загальна підготовка повітря, але в кожній зоні додатково застосовуються локальні температурні доводчики. Це дозволяє підтримувати в кожному приміщенні необхідний температурний режим.

Температурний доводчик разом із датчиком температури, встановленим у приміщенні, формують окрему систему контролю за температурою повітря. Сигнали від температурного датчика TE надходять до регулятора, який контролює роботу клапана δ і, відповідно, регулює продуктивність нагрівача 7 , забезпечуючи оптимальний температурний рівень у приміщенні.

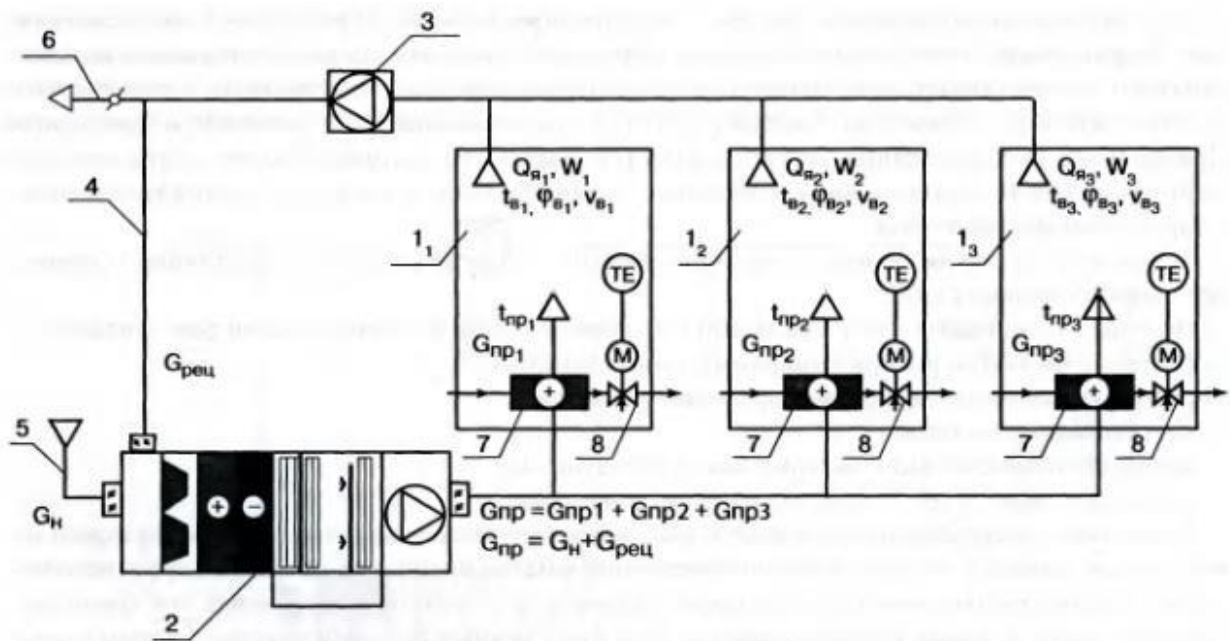


Рисунок 1.11 - Схема багатозональної системи кондиціонування з температурними доводчиками

В системах вентиляції та кондиціонування застосовують кількісний та якісний методи регулювання [3]. Зазвичай ці підходи можуть комбінуватися для досягнення оптимальних параметрів мікроклімату в приміщенні. Кількісне регулювання полягає в зміні об'єму повітря, яке постійно циркулює, що дозволяє підтримувати необхідну якість повітря. Це регулювання характерне для

багатозональних систем. У системах з однією зоною зазвичай використовується якісне регулювання, яке контролює параметри повітря, наприклад, його температуру та вологість.

Кількісний метод регулювання полягає в зміні кількості припливного повітря, яке спочатку проходить попередню підготовку, а потім подається до приміщень для асиміляції тепла і вологи. При цьому кожне приміщення отримує різний об'єм повітря, що регулюється автоматичною системою управління, як показано на рисунку 1.12.

В такій системі потрібно контролювати вхідні та вихідні заслінки в кожному приміщенні окремо, незалежно від положення заслінок в інших приміщеннях. Заслінки мають працювати узгоджено (припливні та витяжні). Крім того, слід регулювати швидкість вентиляторів, положення триходових клапанів, роботу водяного насоса тощо.

У центральному каналі повітря нагрівається або охолоджується до заданої температури, після чого розподіляється по приміщеннях. В кожному приміщенні встановлено датчик температури, який вимірює фактичну температуру повітря. В залежності від різниці між заданою температурою (уставкою) і реальною температурою в приміщенні, контролер регулює положення вхідних і вихідних заслінок, змінюючи кількість повітря, що подається до приміщення або витягується з нього.

Якщо всі заслінки закриються одночасно, тиск у загальному каналі підвищиться через постійну роботу вентиляторів, що може призвести не лише до небажаного збільшення швидкості повітряного потоку через інші заслінки, але й до виникнення акустичних шумів (свисту). Щоб уникнути такої ситуації, у загальних припливних та витяжних каналах встановлюють датчики динамічного тиску. Ці датчики передають сигнали, на основі яких автоматично регулюється швидкість обертання вентиляторів, підтримуючи постійний тиск у каналі. Таким чином, незалежно від кількості відкритих заслінок швидкість потоку повітря буде стабільною.

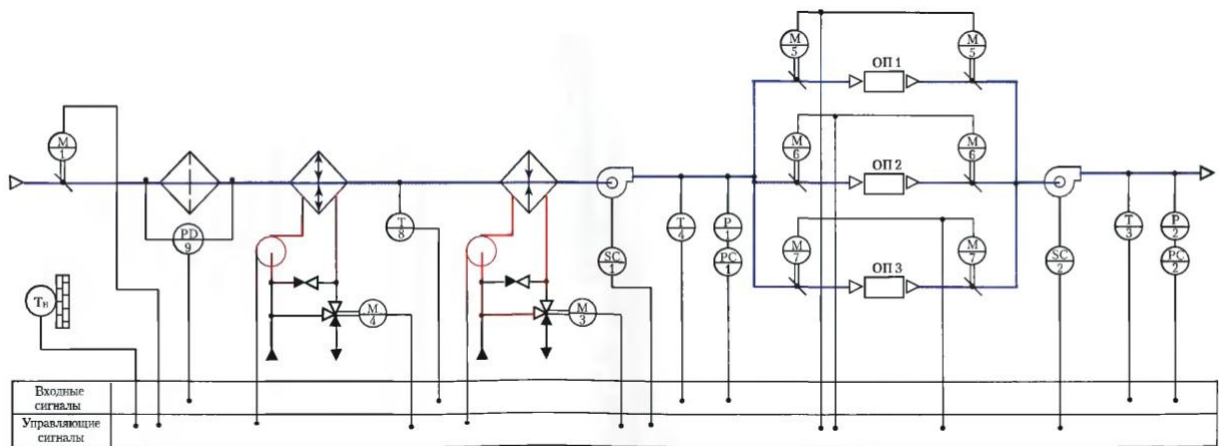


Рисунок 1.12 - Багатозональна система кондиціонування

Отже, на основі аналізу розглянутих систем автоматизації вентиляційних процесів, для багатозональних прецизійних вентиляційних систем найкращим вибором є використання системи з загальною підготовкою повітря і локальними температурними доводчиками для кожної окремої зони. Така система дозволяє точно контролювати і підтримувати задану температуру в кожній зоні окремо, незалежно від інших зон, забезпечуючи при цьому стабільну якість повітря в приміщеннях. Ця технологія ефективно справляється з регулюванням параметрів мікроклімату, що є особливо важливим для високоточних вентиляційних систем.

1.5 Огляд математичних моделей систем мікроклімату

Розглянемо ключові математичні моделі найбільш поширених компонентів у системах мікроклімату, таких як електрокалорифер та приміщення. Для спрощення моделі електрокалорифера передбачається, що відсутній теплообмін з навколишнім середовищем. У цій моделі виділяються два динамічні елементи з зосередженими параметрами — повітря та елемент ТЕН. Крім того, застосовуються усереднені значення матеріальних потоків через поверхню в робочому діапазоні апарату. Для моделі приміщення приймається, що вологовиділення у приміщенні відсутнє.

Схема електрокалорифера (рис. 1.13) [4] демонструє потоки матеріалів. Елементами ТЕН здійснюється нагрів притяжного повітря у електрокалорифері. Самі елементи підключені до електромережі через напівпровідникове реле, що регулює потужність $N_E(t)$,

Температура ТЕНів підвищується до значення $\theta_E(t)$ і вся електрична енергія використовується на обігрів повітря. Повітря з витратою $G_A(t)$ надходить до електрокалорифера, маючи вхідну температуру $\theta_{A0}(t)$ і виходить з температурою $\theta_A(t)$.

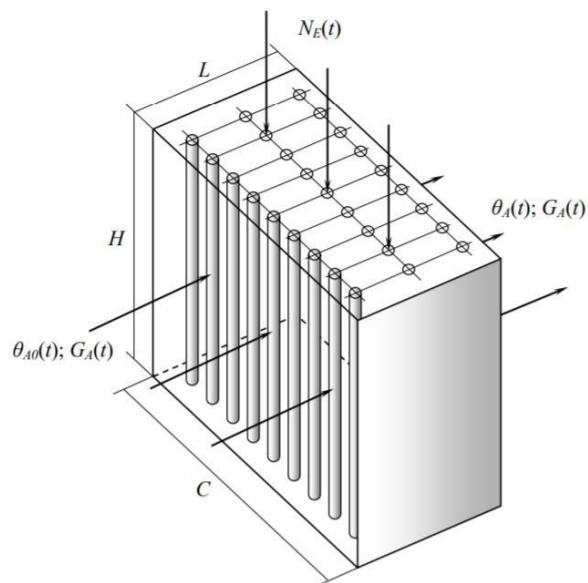


Рисунок 1.13 - Схема калорифера з вхідними і вихідними матеріальними потоками

Таблиця 1.1 - Опис моделей електрокалорифера

Спрощена модель електрокалорифера за каналом регулювання описується аперіодичною ланкою другого порядку	$W_{\text{к.р.}}(p) = \frac{b_4}{a_2 p^2 + a_1 p + 1}$
Спрощена модель електрокалорифера за каналом збурення описується аперіодичною ланкою другого порядку	$W_{\text{к.зб.}}(p) = \frac{b_1 p + b_0}{a_2 p^2 + a_1 p + 1}$

У попередніх формулах наявні коефіцієнти, які описуються наступними виразами:

$$a_1 = \frac{T_E + T_A}{1 - k_1 k_2}, a_2 = \frac{T_A T_E}{1 - k_1 k_2}, b_0 = \frac{k_3}{1 - k_1 k_2}, b_1 = \frac{k_3 T_E}{1 - k_2 k_1},$$

$$b_2 = \frac{k_4}{1 - k_2 k_1}, b_3 = \frac{k_4 T_E}{1 - k_2 k_1}, b_4 = \frac{k_0 k_2}{1 - k_2 k_1}$$

На рисунку 1.14 продемонстровано матеріальні потоки на схемі приміщення [5]. Приміщення має наступний об'єм $V_A = H \cdot L \cdot C$. Повітря надходить у приміщення з системи припливної вентиляції з температурою $\theta_{A0}(t)$ та потоком $G_A(t)$. У приміщенні відбувається теплообмін між обладнанням, яке має потужність N_E та стінками приміщення, температура яких позначається як θ_s . Повітря у приміщенні має наступну температуру $\theta_A(t)$, а зовнішнє повітря має температуру $\theta_N(t)$.

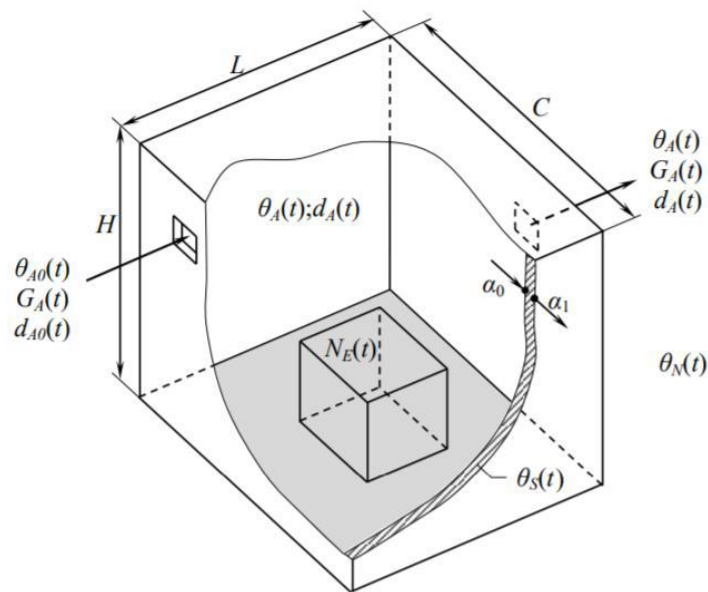


Рисунок 1.14 - Схема приміщення з вхідними і вихідними матеріальними потоками

Таблиця 1.2 - Опис моделей приміщення

Спрощена модель приміщення за каналом регулювання описується аперіодичною ланкою другого порядку	$W_{п.р.}(p) = \frac{b_1 p + b_0}{a_2 p^2 + a_1 p + 1}$
Спрощена модель приміщення за каналом збурення від людей та устаткування описується аперіодичною ланкою другого порядку	$W_{п.зб.}(p) = \frac{b_5 p + b_4}{a_2 p^2 + a_1 p + 1}$
Спрощена модель приміщення за каналом збурення від зміни температури ззовні описується аперіодичною ланкою другого порядку	$W_{п.зб.зв.}(p) = \frac{b_6}{a_2 p^2 + a_1 p + 1}$

У формулах $W_{п.р.}(p)$, $W_{п.зб.}(p)$, $W_{п.зб.зв.}(p)$ наявні коефіцієнти, які описуються наступними виразами:

$$a_1 = \frac{T_A + T_S}{1 - k_2 k_4}, a_2 = \frac{T_A T_S}{1 - k_2 k_4}, b_0 = \frac{k_0}{1 - k_2 k_4}, b_1 = \frac{k_0 T_S}{1 - k_2 k_4}, b_2 = \frac{k_1}{1 - k_2 k_4}$$

$$b_3 = \frac{k_1 T_S}{1 - k_2 k_4}, b_4 = \frac{k_3}{1 - k_2 k_4}, b_5 = \frac{k_3 T_S}{1 - k_2 k_4}, b_6 = \frac{k_2 k_5}{1 - k_2 k_4}$$

Зовнішні збурюючі впливи показані на рисунку 1.15 [6]. Вони представлені трьома навантаженнями: теплове Q_n , вологісне W_n , аеродинамічне G_n . Також на цьому рисунку бачимо внутрішні впливи, що представлені тепловим навантаженням Q_n , вологісним W_n і газовим навантаженням C_n . Крім впливів на схемі позначені t_{np} , d_{np} , G_{np} - це вхідні параметри температури, вологості і витрати повітря, а відповідно t_n , d_n і C_n - регульовані параметри.

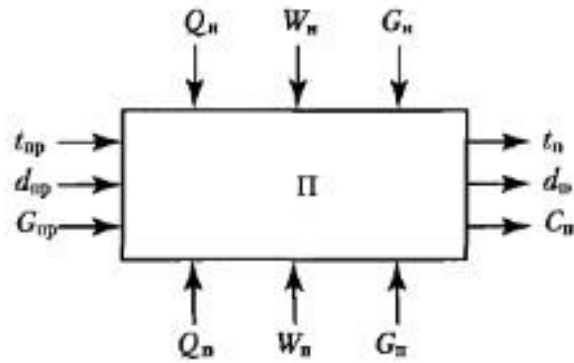


Рисунок 1.15 - Схема приміщення

Властивості приміщення, що не є статичними, залежать від таких показників:

- коефіцієнтів теплопередачі огороження $K_{ог}$,
- кратності повітрообміну K_v ,
- узагальненого розміру приміщення l_v ,
- постійного часу огорожі $T_{ог}$.

Передаточна функція каналу температури представлена виразом:

$$W_{\Pi}(p) = \frac{T_{ог}p + 1}{T_{\Pi}p + 1} K_{\Pi}$$

Показники K_v , l_v , $K_{ог}$, c_v та ρ_v повітря дозволяють визначити K_n та $T_{ог}$.

Постійну часу T_n , приймають рівною згідно співвідношення як $T_{\Pi} \approx K_B^{-1}$

Оскільки теплові навантаження в приміщенні можуть змінюватися з періодами від кількох хвилин до годин, вплив цих коливань на інерційність стін приміщення можна вважати незначним. Саме чере це динаміка приміщення представляється аперіодичною ланкою першого порядку, з такою передатною функцією:

$$W_{\Pi}(p) = \frac{K_{\Pi}}{T_{\Pi}p + 1}$$

Висновки до розділу

1. Розробка системи контролю мікроклімату має на меті комплексне вирішення задачі підтримки ключових параметрів повітря, таких як температура, вологість, хімічний склад і швидкість руху потоків повітря, у необхідних межах.

2. Автоматизовані системи керування мікрокліматом повинні виконувати: підігрів припливного повітря, його охолодження, а також забезпечення необхідної кількості повітря для підтримання комфортних умов у приміщенні.

3. Виконано аналіз основних системи вентиляції, які є найбільш поширеними: припливна система вентиляції, припливно-витяжна система вентиляції, та припливно-витяжна система з рекуперацією тепла.

4. Для багатозональних прецизійних вентиляційних систем найкращим вибором є використання системи з загальною підготовкою повітря і локальними температурними доводчиками для кожної окремої зони. Така система дозволяє точно контролювати і підтримувати задану температуру в кожній зоні окремо, незалежно від інших зон, забезпечуючи при цьому стабільну якість повітря в приміщеннях.

5. Розглянуті ключові математичні моделі найбільш поширених компонентів у системах мікроклімату, таких як електрокалорифер та приміщення.

6. Оскільки теплові навантаження в приміщенні можуть змінюватися з періодами від кількох хвилин до годин, вплив цих коливань на інерційність стін приміщення можна вважати незначним.

РОЗДІЛ 2

ІДЕНТИФІКАЦІЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТА СИНТЕЗ І МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ

2.1 Розробка структурної схеми системи керування для підтримання мікроклімату в приміщенні багатоцільового складу

Розглянемо детально функціональну схему точного керування температурою в складському приміщенні рис. 2.1.

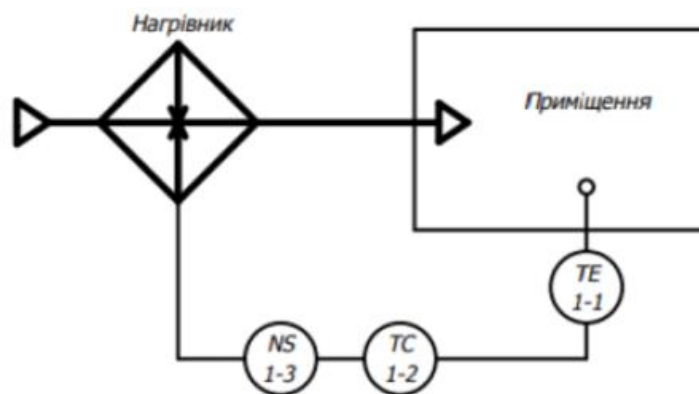


Рисунок 2.1 - Схема керування підтриманням температурного режиму у складському приміщенні

Ця система керування забезпечує підтримання необхідного температурного режиму в цьому місці і складається з таких компонентів: датчик температури приміщення 1-1, контролер 1-2, напівпровідникового реле 1-3 та електрокалорифер, який обслуговує регулюючий елемент контуру керування. Потужність електрокалорифера змінюється через напівпровідникове реле. Дані про температуру з датчика надходять до контролера, який, у свій час, генерує керуючий сигнал. Цей сигнал передається на реле, що регулює потужність електрокалорії.

На основі рисунка 2.1 можна виділити наступні елементи системи керування:

- складське приміщення;
- датчик температури;
- електрокалорифер;
- вітропровідник.

На приміщення і калорифер впливають як керуючі дії, так і зовнішні збурення. У зв'язку з цим на рис. 2.2 наведена більш детальна структурна схема температурного контролю у момент.

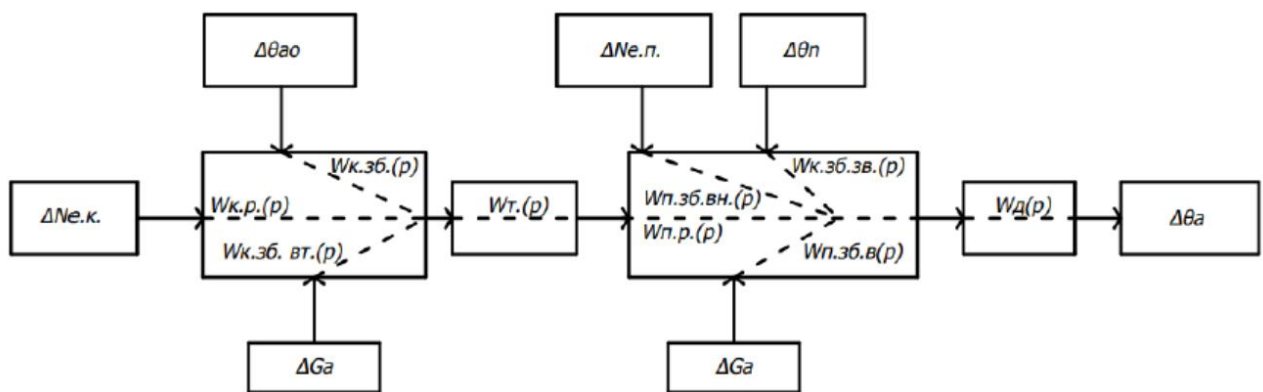


Рисунок 2.2 - Розгорнута структурна схема підтримання температурного режиму у складському приміщенні

З цього рисунка видно, що на приміщення впливають такі збурення: зміна кількості людей $N_{e,n}$, зміна зовнішньої температури θ_n та зміна витрати повітря що надходить G_A .

На електрокалорифер також впливають певні збурення, зокрема зміна вхідної температури θ_{A0} та об'єму повітря G_A . Об'єм повітря G_A став сталим, бо приміщення промислове.

Повітропровід вносить транспортну затримку, яка складає 5 секунд. На основі цих даних спрощена структура об'єкту керування представлена на рисунку 2.3. Згідно схеми використовується така модель електрокалорифера, яка сумісна з виробничим приміщенням.

Система включає датчик температури з певними динамічними характеристиками. Застосовується НТС-датчик температури, який характеризується аперіодичною ланкою без запізнення. Для повного відображення змін температури йому потрібно всього 140 секунд. Передавальна функція цього датчика температури має такий вигляд:

$$W_D(p) = \frac{1}{35p + 1}$$

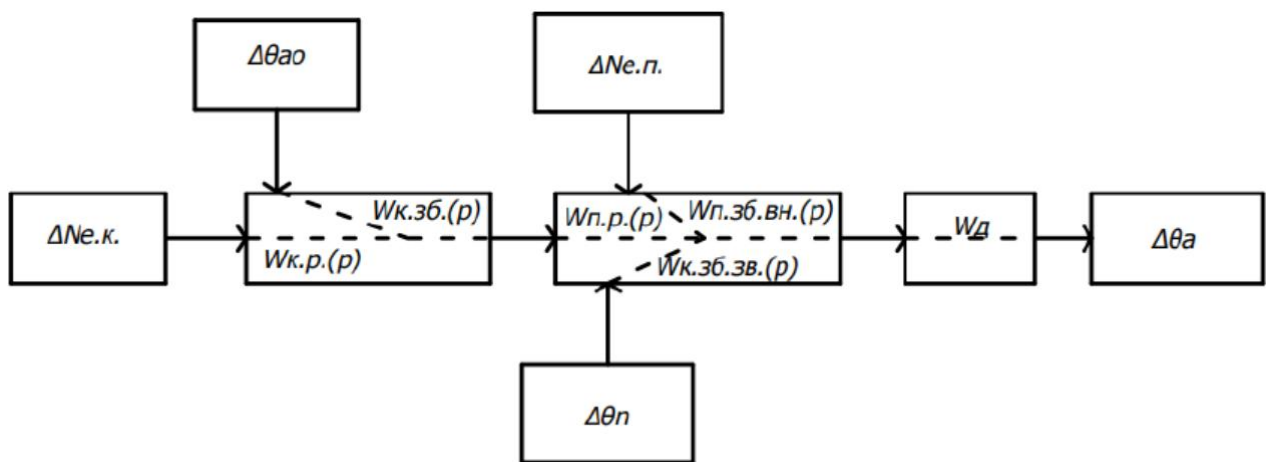


Рисунок 2.3 - Спрощена структурна схема підтримання температурного режиму у складському приміщенні

2.2 Динамічна модель складського приміщення

Згідно зі структурною схемою 2.3, можна побачити, що як зміна потужності електрокалорифера, так і збурення, що впливають на нього, мають прямий вплив на температуру в приміщенні. Тому електрокалорифер і приміщення можна розглядати як єдиний об'єкт керування.

Для створення динамічної моделі електрокалорифера в системі управління температурою складських приміщень, згідно з дослідженням [9], необхідно застосувати кілька спрощень. По-перше, вважаємо, що теплообмін із

навколишнім середовищем відсутній. По-друге, передбачається, що в приміщенні не відбувається виділення вологи. І нарешті, властивості матеріальних потоків через поверхню теплообміну електрокалорифера прийнято усередненими для всього робочого діапазону його функціонування.

На рисунку 2.4 представлена схема, що ілюструє взаємодію електрокалорифера з виробничим приміщенням, включаючи вхідні та вихідні матеріальні потоки. Нагрівання повітря, яке надходить до приміщення через електрокалорифер, відбувається за допомогою трубчастих електронагрівачів (ТЕН), які живляться електрично через напівпровідникове реле. Це реле регулює електричну потужність $N_E(t)$, яка подається на ТЕНи, що нагріваються до температури $\theta_E(t)$. В рамках нашої моделі будемо вважати, що вся електрична енергія повністю використовується для нагрівання. До калорифера надходить повітря з витратою $G_A(t)$ та початковою температурою $\theta_{A0}(t)$. Сам калорифер має наступні геометричні параметри: глибина L , ширина C і висота H . Об'єм виробничого приміщення $V_A = H_1 \cdot L_1 \cdot C_1$. Повітря, нагріте електрокалорифером, через повітропровід подається до приміщення з температурою $\theta_{A2}(t)$. У кімнаті відбувається теплообмін між повітрям та обладнанням, яке має теплове навантаження $N_{E1}(t)$ а також зі стінами, які мають температуру θ_S . Температура повітря в навколишньому середовищі позначається $\theta_A(t)$, тоді як зовнішня температура навколишнього середовища становить $\theta_M(t)$.

Розглянемо рівняння теплового балансу для всіх складових електричного калорифера. Спершу визначимо тепловий баланс для трубчастих електронагрівачів (ТЕНів). Система рівнянь, яка описує теплові процеси, дозволяє змодельовати кожен елемент динамічної моделі в просторі Лапласа. Використовуючи ці рівняння, можна отримати передаточну функцію для кожного окремого елемента системи.

$$N_E - \alpha_e F_0 (\theta_E - \theta_{A1}) = M_E c_E \frac{d\theta_E}{dt}$$

де c_E – теплоємність ТЕН, M_E – маса ТЕНів, α_e – коефіцієнт тепловіддачі між повітря у середині калорифера і зовнішньою поверхнею ТЕНів, F_0 – площа поверхні ТЕНів.

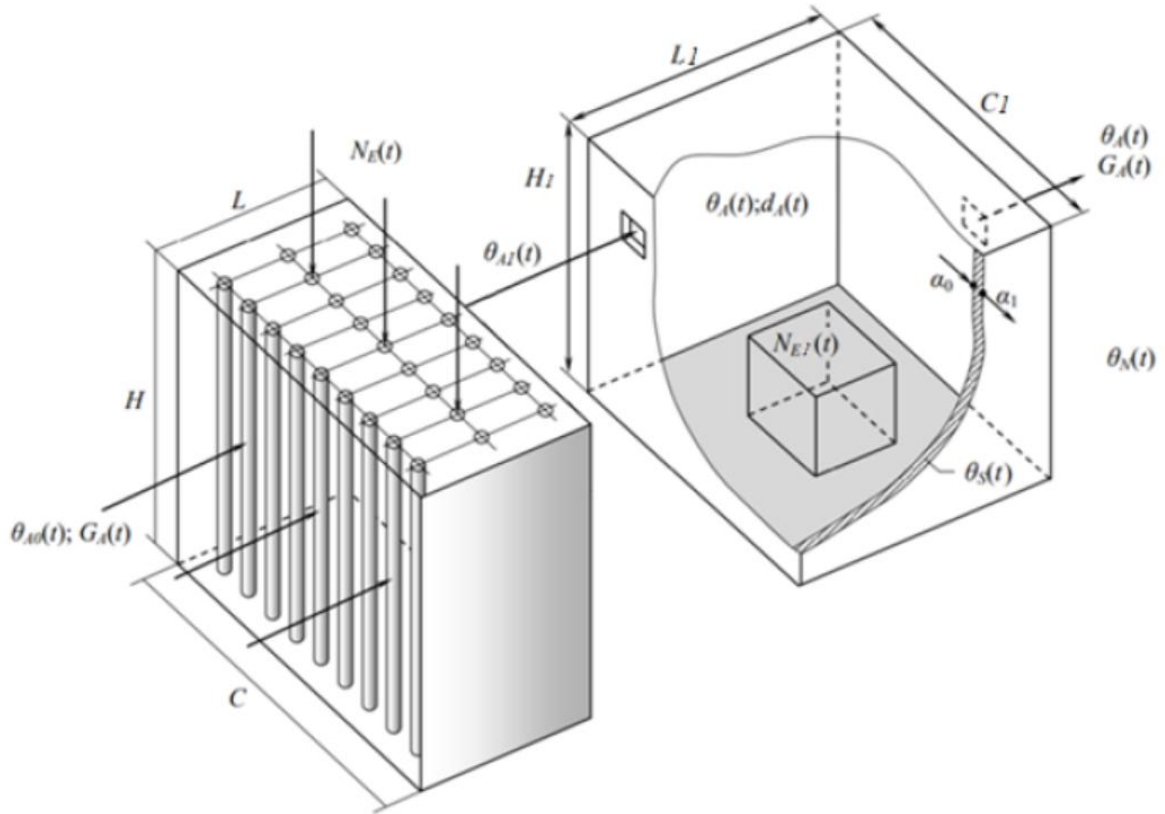


Рисунок 2.4 - Схема електрокалорифера та приміщення з вхідними і вихідними матеріальними потоками

Після спрощення рівняння (2.2) маємо таке рівняння:

$$T_E = \frac{d\Delta\theta_E}{dt} + \Delta\theta_E = k_0\Delta N_E + k_1\Delta N\theta_{A1}$$

де

$$K_E = \alpha_e F_0,$$

$$T_E = \frac{c_E M_E}{K_E},$$

$$k_0 = \frac{1}{K_E}, \quad k_1 = 1$$

Складемо рівняння теплового балансу (ТБ) для повітря калорифера:

$$G_A c_A (\theta_{A0} - \theta_{A1}) + \alpha_e F_0 (\theta_E - \theta_{A1}) = M_A c_A \frac{d\theta_A}{dt}$$

де c_A – теплоємність повітря, M_A – маса повітря в об'ємі калорифера.

Після спрощення рівняння отримаємо:

$$T_A \frac{d\Delta\theta_{A1}}{dt} + \Delta\theta_{A1} = k_2 \theta_E + k_3 \Delta\theta_{A0} + k_4 \Delta G_A$$

де

$$K_A = G_A c_A + \alpha_e F_0,$$

$$T_A = \frac{c_A M_A}{K_A},$$

$$k_2 = \frac{\alpha_0 F_0}{K_A}, \quad k_3 = 1 - k_2, \quad k_4 = \frac{c_A (\theta_{A0} - \theta_{A1})}{K_A}$$

Складемо рівняння транспортного запізнення, яке вносить повітропровід:

$$\theta_{A2}(t) = \theta_{A1}(t - \tau),$$

де τ час запізнення, яке вносить повітропровід.

Сформуємо рівняння ТБ для повітряного простору приміщення:

$$G_A c_A (\theta_{A2} - \theta_A) + \alpha_0 F_0 (\theta_A - \theta_S) + N_{E1} = M_A c_A \frac{d\theta_A}{dt}$$

де c_A теплоємність повітря, α_0 коефіцієнт тепловіддачі в приміщенні (між повітрям та стінами), M_A маса повітря в приміщенні об'ємом V_A .

Спростимо рівняння та отримаємо:

$$T_{A1} \frac{d\theta_A}{dt} + \Delta\theta_A = k_5 \Delta\theta_{A2} + k_6 \Delta G_A + k_7 \Delta\theta_S + k_8 \Delta N_{E1}$$

де

$$K_{A1} = G_A c_A + \alpha_e F_0,$$

$$T_{A1} = \frac{c_A M_A}{K_{A1}},$$

$$k_7 = \frac{\alpha_0 F_0}{K_{A1}}, \quad k_8 = \frac{1}{K_{A1}}, \quad k_6 = \frac{\theta_{A0} - \theta_A}{K_{A1}}, \quad k_5 = \frac{c_A G_A}{K_{A1}}$$

Складемо рівняння ТБ для теплоізолюючої стінки приміщення:

$$\alpha_0 F_0 (\theta_A - \theta_S) - \alpha_1 F_1 (\theta_S - \theta_N) = c_S M_S \frac{d\theta_S}{dt}$$

де c_S теплоємність стін, α_1 коефіцієнт тепловіддачі ззовні (між стінами та навколишнім повітрям), M_S маса матеріалу стін.

Після спрощення отримаємо:

$$T_S \frac{d\Delta\theta_S}{dt} + \Delta\theta_S = k_9 \Delta\theta_A + k_{10} \Delta\theta_N$$

$$K_S = \alpha_0 F_0 + \alpha_1 F_1, \quad T_S = \frac{c_s M_s}{K_S}, \quad k_9 = \frac{\alpha_0 F_0}{K_S}, \quad k_{10} = 1 - k_9$$

З рівнянь отриманих після спрощення складемо систему рівнянь - математичну модель:

$$\left\{ \begin{array}{l} T_E = \frac{d\Delta\theta_E}{dt} + \Delta\theta_E = k_0 \Delta N_E + k_1 \Delta\theta_{A1} \\ T_A \frac{d\Delta\theta_{A1}}{dt} + \Delta\theta_{A1} = k_2 \theta_E + k_3 \Delta\theta_{A0} + k_4 \Delta G_A \\ \theta_{A2}(t) = \theta_{A1}(t - \tau) \\ T_{A1} \frac{d\theta_A}{dt} + \Delta\theta_A = k_5 \Delta\theta_{A2} + k_6 \Delta G_A + k_7 \Delta\theta_S + k_8 \Delta N_{E1} \\ T_S \frac{d\Delta\theta_S}{dt} + \Delta\theta_S = k_9 \Delta\theta_A + k_{10} \Delta\theta_N \end{array} \right.$$

Застосуємо перетворення Лапласа відносно змінної t .

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta\theta_E (T_E p + 1) = k_0 \Delta N_E + k_1 \Delta\theta_{A1} \\ \Delta\theta_{A1} (T_A p + 1) = k_2 \theta_E + k_3 \Delta\theta_{A0} + k_4 \Delta G_A \\ \theta_{A2}(t) = \theta_{A1}^{-p\tau} \\ \Delta\theta_A (T_{A1} p + 1) = k_5 \Delta\theta_{A2} + k_6 \Delta G_A + k_7 \Delta\theta_S + k_8 \Delta N_{E1} \\ \Delta\theta_S (T_S p + 1) = k_9 \Delta\theta_A + k_{10} \Delta\theta_N \end{array} \right.$$

Приведемо систему до зручної форми для моделювання у Simulink:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta\theta_E = \frac{k_0}{T_E p + 1} \Delta N_E + \frac{k_1}{T_E p + 1} \Delta\theta_{A1} \\ \Delta\theta_{A1} = \frac{k_2}{T_A p + 1} \theta_E + \frac{k_3}{T_A p + 1} \Delta\theta_{A0} + \frac{k_4}{T_A p + 1} \Delta G_A \\ \theta_{A2} = \theta_{A1}^{-p\tau} \\ \Delta\theta_A = \frac{k_5}{T_{A1} p + 1} \Delta\theta_{A2} + \frac{k_6}{T_{A1} p + 1} \Delta G_A + \frac{k_7}{T_{A1} p + 1} \Delta\theta_S + \frac{k_8}{T_{A1} p + 1} \Delta N_{E1} \\ \Delta\theta_S = \frac{k_9}{T_S p + 1} \Delta\theta_A + \frac{k_{10}}{T_S p + 1} \Delta\theta_N \end{array} \right. \quad (2.1)$$

Система рівнянь служить основою для моделювання динаміки процесу в середовищі Simulink. У Simulink можна з'єднати всі елементи моделі, створюючи їх взаємодію і впливаючи на температурні зміни вчасно. Це дозволяє провести аналіз перехідних процесів і дослідити, як змінюється температура у воді під впливом різних параметрів і зовнішніх умов.

2.3 Розробка моделі та моделювання процесів керування температурним режимом у приміщенні складу

Для того, щоб змоделювати перехідні характеристики динамічної моделі системи підтримання температурного режиму в складському приміщенні, необхідно врахувати кілька ключових параметрів. Моделювання базується на характеристиках електрокалорифера, параметрах самого приміщення, на розрахунку коефіцієнтів, які визначають динаміку процесу.

У таблиці 2.1 наведено параметри електрокалорифера. Їх використовують для розрахунку динамічної моделі виробничого приміщення. Параметри включають важливі характеристики, такі як потужність, розміри та інші фактори, що впливають на тепловий баланс. Параметри приміщення, необхідні для моделювання, представлені в таблиці 2.2, де вказані такі дані, як об'єм приміщення, його теплові властивості, теплообмін зі стінами та інші важливі фактори, що враховуються при розрахунках динамічної моделі.

За допомогою цих параметрів і розрахованих коефіцієнтів система може бути точно змодельована, що дозволить дослідити перехідні процеси та визначити, як змінюється температура в приміщенні в реальних умовах експлуатації.

За допомогою програмного пакету Matlab виконаємо розрахунки коефіцієнтів динамічної моделі. Код m файлу:

% параметри

Nek=4500;

Mek=4.5;

cek=430;

alpha0k=1500;

F0k=0.35;

cak=1010;

Mak=0.019;

Ga=0.19;

ta0k=20;

tak=22;

pap=1.2;

Vap=300;

cap=1010;

Map=360;

F0p=120;

alpha0p=8.7;

psp=1750;

csp=920;

Msp=87000;

F1p=130;

alpha1p=23;

ta0p=22;

tap=22.2;

da0p=9.2;

dap=9;

% рівняння

$$K_e = \alpha_{0k} * F_{0k};$$

$$T_E = (c_{ek} * M_{ek}) / (K_e);$$

$$K_{a1} = c_{ap} * G_a + \alpha_{0p} * F_{0p};$$

$$K_s = \alpha_{0p} * F_{0p} + \alpha_{1p} * F_{1p};$$

$$T_{A1} = (c_{ap} * M_{ap}) / (K_{a1});$$

$$T_S = (c_{sp} * M_{sp}) / (K_s);$$

$$K_a = c_{ak} * G_a + \alpha_{0k} * F_{0k};$$

$$T_A = (c_{ak} * M_{ak}) / (K_a);$$

$$k_0 = 1 / K_e;$$

$$k_1 = 1;$$

$$k_2 = (\alpha_{0k} * F_{0k}) / (K_a);$$

$$k_3 = 1 - k_2;$$

$$k_4 = (c_{ak} * (t_{a0k} - t_{ak})) / (K_a);$$

$$k_5 = (c_{ap} * G_a) / (K_{a1});$$

$$k_6 = (t_{a0p} - t_{ap}) / (K_{a1});$$

$$k_7 = (\alpha_{0p} * F_{0p}) / (K_{a1});$$

$$k_8 = 1 / K_{a1};$$

$$k_9 = (\alpha_{0p} * F_{0p}) / (K_s);$$

$$k_{10} = 1 - k_9;$$

Виконуємо моделювання динамічної моделі системи підтримання температурного режиму в складі, використовуючи середовище Simulink. Це дозволить отримати перехідні характеристики. Основою для моделювання є структурна схема, представлена на рисунку 2.3. Ця модель створює процес підведення температури в хвилину і базується на рівні системи (2.1).

Таблиця 2.1 - Параметри електрокалорифера НК 400х200-4,5-3

Назва параметру	Позначення	Числове значення	Розмірність
Габарити калорифера	$H \cdot L \cdot C$	0,2 · 0,4 · 0,2	м
Електрична потужність	N_E	4500	Вт
Загальна маса ТЕНів	M_E	4,5	кг
Теплоємність ТЕНа	c_E	430	Дж/(кг ² °С)
Коефіцієнт тепловіддачі для внутрішньої поверхні	α_0	1500	Вт/(м ² °С)
Площа теплообміну	F_0	0,35	м ²
Теплоємність повітря	c_A	1010	Дж / (кг°С)
Маса повітря в калорифері	M_A	0,019	кг
Витрата повітря	G_A	0.19	кг/с
Вхідна температура повітря	θ_{A0}	20	°С
Вихідна температура повітря	θ_A	22	°С

Таблиця 2.2 - Параметри приміщення

Назва параметру	Позначення	Числове значення	Розмірність
Габарити приміщення	$H \cdot L \cdot C$	3 · 10 · 10	м
Густина повітря	ρ_A	1,2	кг/м ³
Об'єм повітря	V_A	300	м ³
Витрата повітря	G_A	0,19	кг/с
Теплоємність повітря	c_A	1010	Дж / (кг°С)
Маса повітря	M_A	360	кг
Площа теплообміну в середині приміщення	F_0	120	м ²
Коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні стіни	α_0	8,7	Вт/(м ² °С)
Густина стіни	ρ_S	1750	кг/м ³
Теплоємність стіни	c_S	920	Дж / (кг°С)

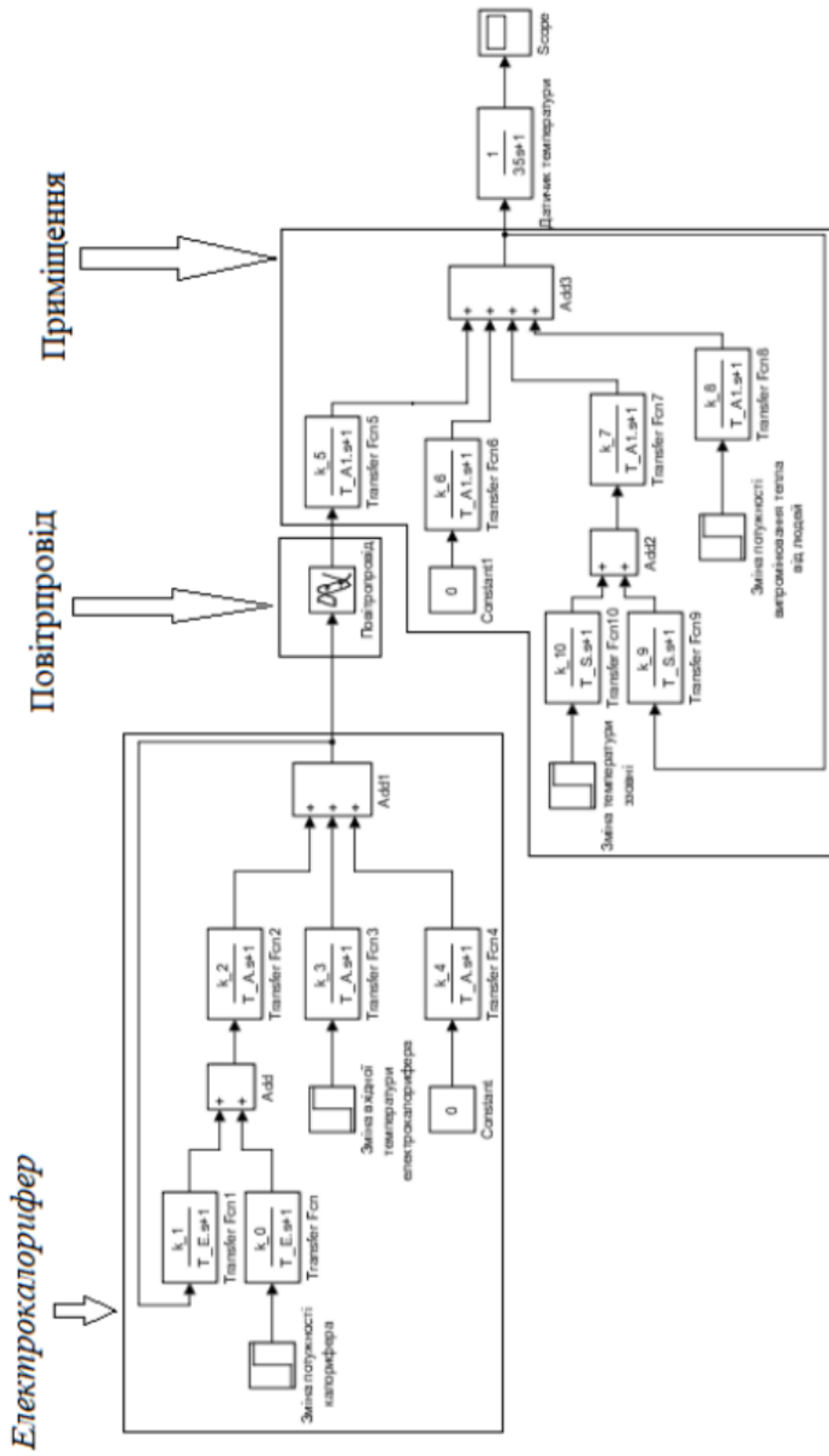


Рисунок 2.5 - Модель підтримання температурного режиму у складському приміщенні у Simulink

Модель підтримання температури в складовому приміщенні в середовищі Simulink зображена на рисунку 2.5. Вона повністю відповідає структурі системи рівнянь і дозволяє досліджувати вплив різних параметрів на температурний режим.

Щоб краще зрозуміти поведінку системи, побудуємо кілька графіків перехідних характеристик. Перший графік (рис. 2.6) відображає зміну температури в приміщенні при зміні потужності електрокалорифера на 1000 Вт, що показує реакцію системи за каналом регулювання.

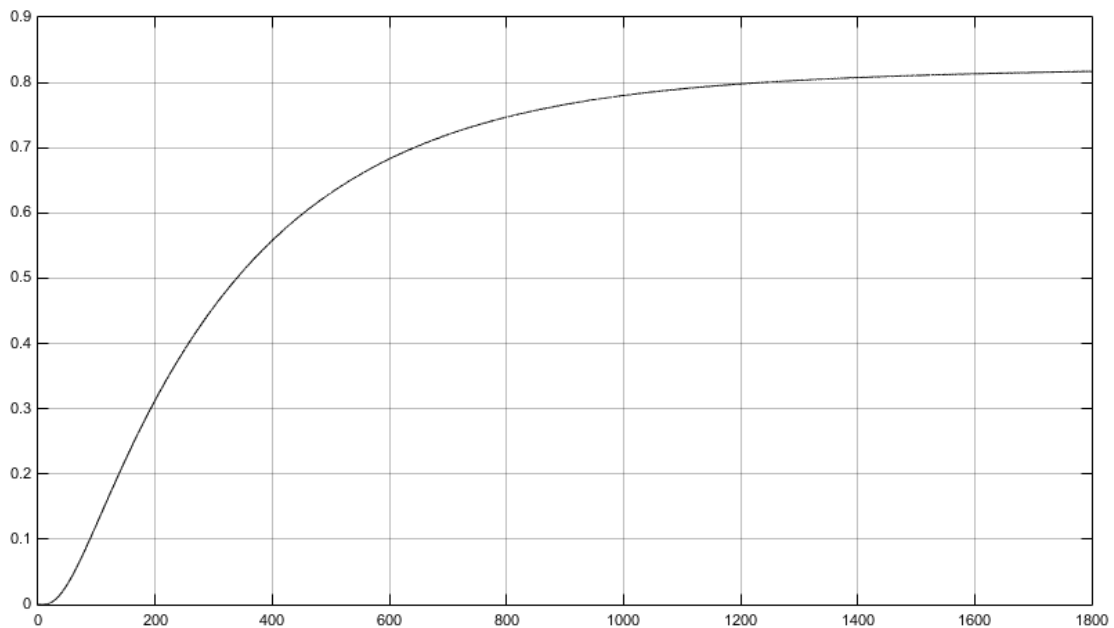


Рисунок 2.6 - Графік перехідної характеристики моделі підтримання температурного режиму у складському приміщенні при зміні потужності електрокалорифера на 1000 Вт

На рисунку 2.7 зобразимо перехідну характеристику при зміні вхідної температури повітря, яке надходить до електрокалорифера, на 1 °С. Цей графік демонструє вплив збурення по температурі на вхідному потоці повітря.

Третій графік (рис. 2.8) відображає перехідну характеристику при зміні зовнішньої температури на 1 °С, що також ілюструє канал збурення. Це дозволяє оцінити, як зміни зовнішньої температури впливають на підтримання необхідної температури в приміщенні.

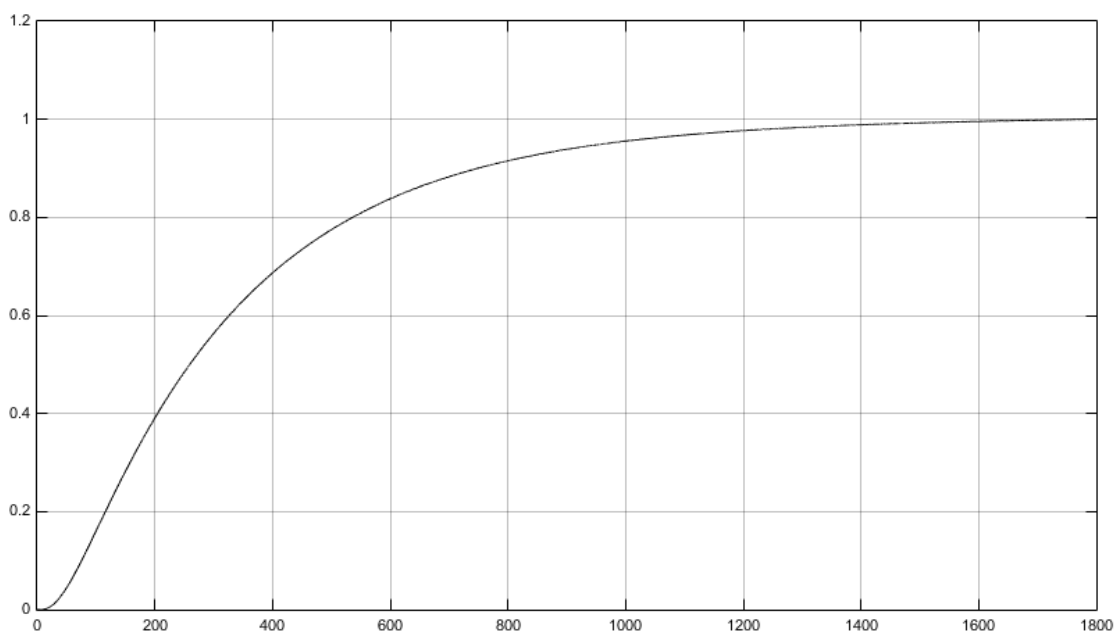


Рисунок 2.7 - Графік перехідної характеристики моделі підтримання температурного режиму у складському приміщенні при зміні температури на вході електрокалорифера на 1 °C

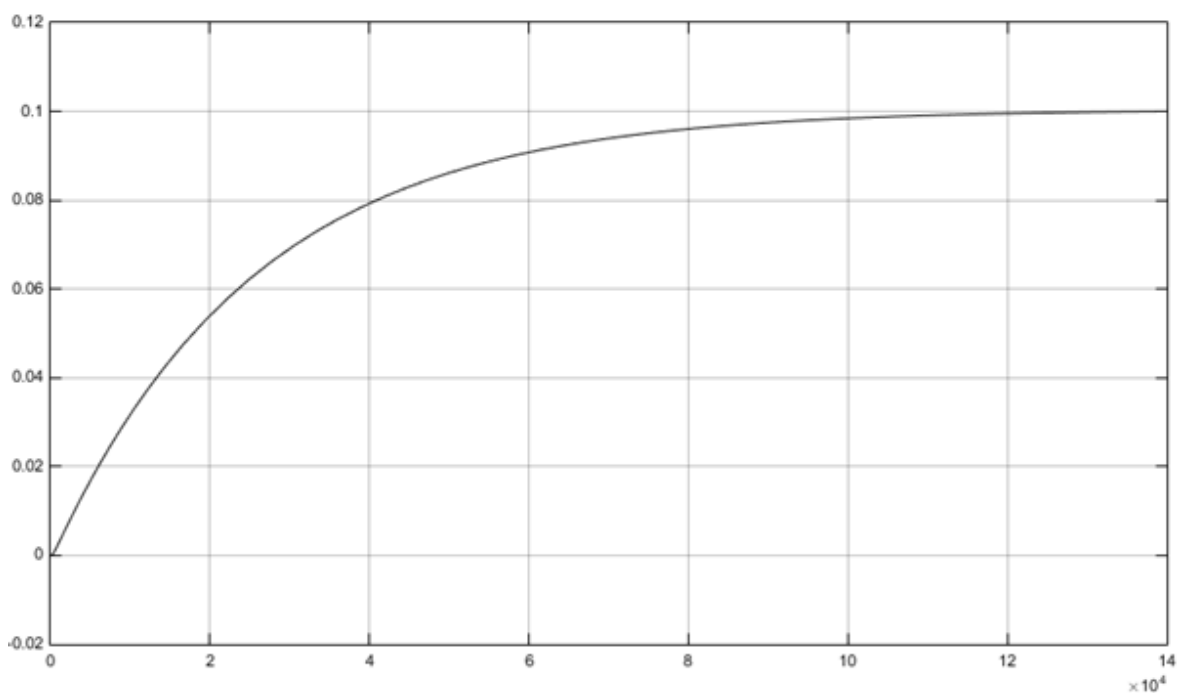


Рисунок 2.8 - Графік перехідної характеристики моделі підтримання температурного режиму у складському приміщенні при зміні температури зовні приміщення на 1 °C

На рисунку 2.9, представимо графік, який демонструє реакцію системи на зміну теплового випромінювання від людей у приміщенні на 100 Вт. Це збурення враховує вплив теплових джерел, таких як люди, на загальний температурний баланс у приміщенні.

Таким чином, всі графіки наочно показують, як система реагує на різні фактори та дозволяють оцінити її ефективність у підтриманні стабільної температури у складському приміщенні.

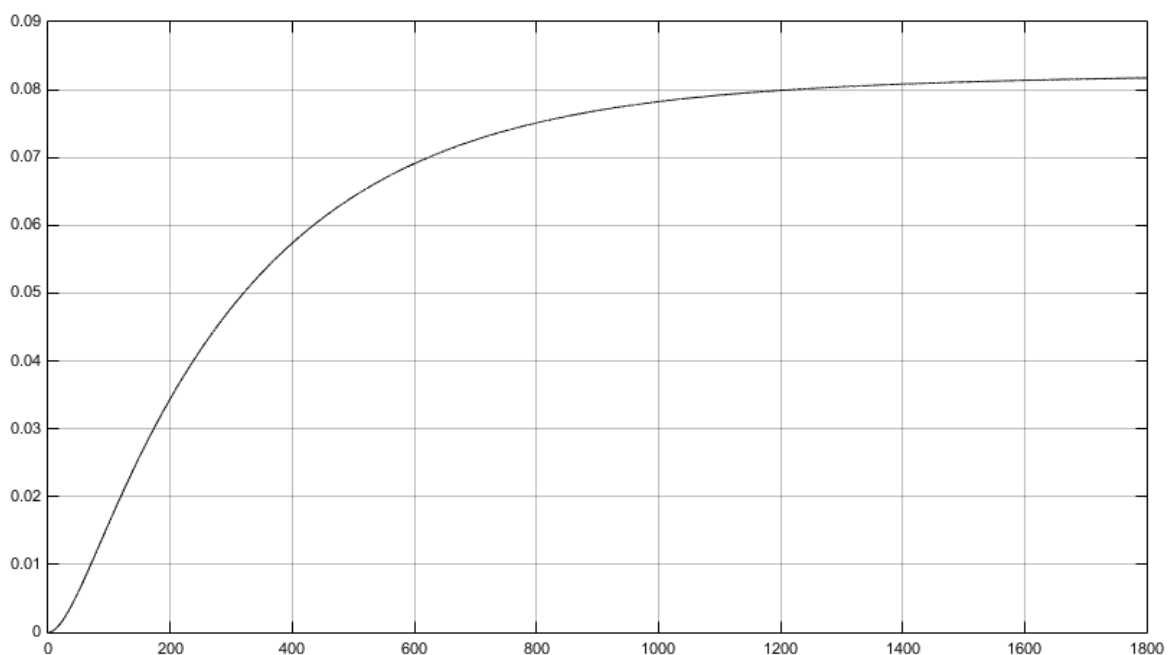


Рисунок 2.9 - Графік перехідної характеристики моделі підтримання температурного режиму у складському приміщенні при зміні потужності випромінювання тепла від людей у приміщення на 100 Вт

2.4 Визначення структури та передаточної функції прецензійного регулятора

Найбільш вагомим збуренням в системі підтримання температурного режиму є зміна вхідної температури повітря до електрокалорифера, що підтверджується передаточною функцією, наведеною в рівнянні. Це впливає зі

спрощеної структурної схеми, зображеної на рисунку 2.3, а також з отриманих передаточних функцій. Вплив зміни вхідної температури є ключовим збуренням, оскільки він безпосередньо впливає на загальний тепловий баланс і, як наслідок, на стабільність температурного режиму в приміщенні.

На основі цих результатів було розроблено детальну схему прецизійного регулювання, яка забезпечує підтримання необхідного температурного режиму в багатоцільовому складському приміщенні. Ця схема, представлена на рисунку 2.10, враховує всі основні впливи та збурення, зокрема зміну вхідної температури, і спрямована на забезпечення високої точності та стабільності в управлінні температурою. Завдяки цьому, система може ефективно реагувати на зміни при її використанні, підтримуючи оптимальні параметри температурного середовища для різних функцій складського комплексу.

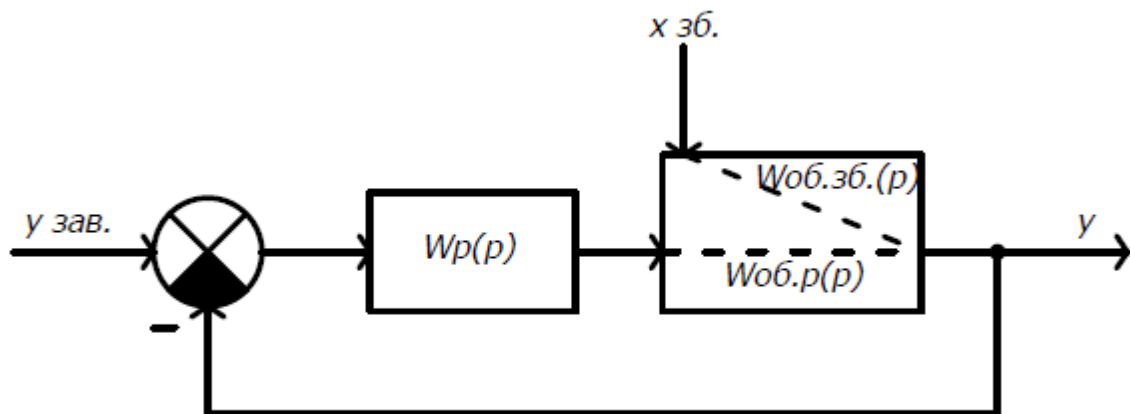


Рисунок 2.10 - Структурна схема прецизійного регулювання підтримання температурного режиму багатоцільового складу

Таким чином, у нашому випадку передаточна функція замкнутої системи регулювання визначається на основі передаточних функцій і спрощеної структурної схеми, що забезпечує підтримку температурного режиму в складському приміщенні.

Прецизійне регулювання температурного режиму в багатоцільовому складі передбачає можливість гнучкого коригування заданої температури в залежності від специфіки продукції, яка зберігається в приміщенні. Це означає,

що система має бути адаптивною, оскільки задане значення температури буде змінюватися відповідно до умов зберігання. Така система повинна не лише підтримувати стабільність температури, але й оперативно реагувати на зміну завдання, забезпечуючи точне регулювання.

У нашому випадку, для реалізації цієї функціональності, передаточна функція замкнутої системи регулювання базується на передаточних функціях. Ці рівняння, разом зі спрощеною структурною схемою підтримання температурного режиму складського приміщення, описують динаміку процесу і дозволяють точно керувати температурою з урахуванням змінних параметрів, таких як тип продукції або зовнішні збурення.

$$W_{zc}(p) = \frac{W_{об,р}(p) \cdot W_p(p)}{1 + W_{об,р}(p) \cdot W_p(p)}$$

2.5 Розрахунок допустимого часу дискретизації автоматичної системи регулювання температури

Для виконання розрахунків дискретної системи регулювання необхідно, щоб час дискретизації регулятора перевищував мінімально допустимий, при якому систему ще можна вважати аналоговою. Це забезпечує коректну роботу системи і запобігає втраті інформації при цифровій обробці сигналів.

Для визначення мінімально допустимого часу дискретизації, при якому система ще відповідає аналоговій поведінці, застосовувалася теорема Котельникова-Шеннона. Відповідно до цієї теореми, частота дискретизації повинна бути щонайменше вдвічі вищою за частоту зрізу системи, щоб уникнути втрат даних і спотворень сигналу під час дискретизації.

Для визначення частоти зрізу використовувалося програмне середовище Matlab. У Matlab була проведена побудова амплітудно-частотної характеристики

(АЧХ) на основі передаточної функції, яка описує збурення від теплового випромінювання людей всередині складського приміщення. АЧХ, зображена на рисунку 2.12, дозволяє точно визначити частоту зрізу, необхідну для подальших розрахунків дискретної системи.

Код m-файлу, який використовувався для цього розрахунку, наведений нижче. Він забезпечує всі необхідні операції для побудови АЧХ і визначення критичних параметрів системи, таких як частота зрізу, що є основою для коректного вибору часу дискретизації.

```
figure %АЧХ
w = 0:0.00001:0.08;
W=((0.8171)./(304.*1i*w+1)).*exp(-52.*1i*w);
A=((real(W)).^2+(imag(W)).^2).^(1/2);
plot(w,A,'k','linew',2);
grid on; title('\bf\fontsize{12} АЧХ ');
xlabel('\bf\fontsize{12} w');
ylabel('\bf\fontsize{12} A(w)');
```

Рисунок 2.11 - Код m файлу Matlab для побудови АЧХ

По графіку АЧХ частота зрізу дорівнює $\omega_z = 0,25$. Обчислимо період дискретизації:

$$T = \frac{\pi}{2\omega_z}$$

Тоді система буде аналоговою при періоді t_{\min} допустимого часу дискретизації:

$$T = \frac{\pi}{2 \cdot 0,25} = 6,28 \text{ с.}$$

Таким чином, з рівняння видно, що для забезпечення дискретності системи керування, яка підтримує температурний режим у багатофункціональному складі, період дискретизації повинен перевищувати 6,28 секунди.

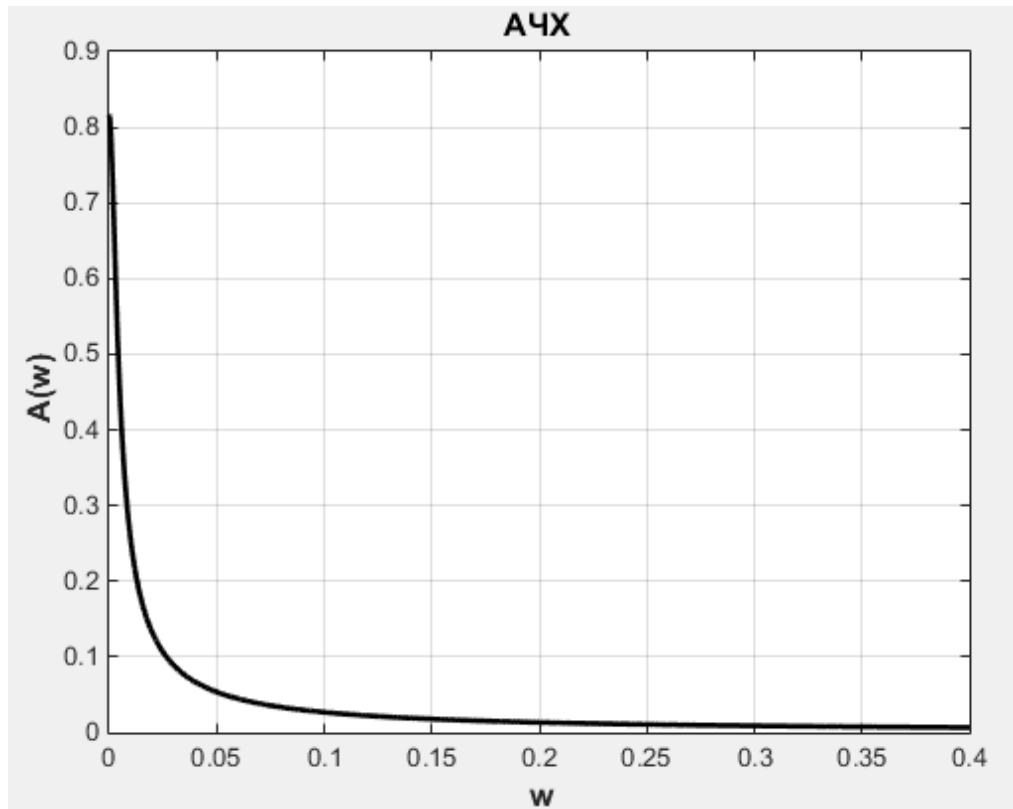


Рисунок 2.12 - АЧХ передаточної функції збурення від теплового випромінювання людей у середині складського приміщення

2.6 Розрахунок параметрів для налаштування системи регулювання для підвищення точності і досягнення мінімального інтегрального квадратичного показника якості

Система регулювання розроблена таким чином, щоб забезпечити можливість виконання та зміну завдань у процесі її роботи. При цьому метод розрахунку системи орієнтований на досягнення мінімального інтегрального квадратичного показника якості відповідно до технологічних вимог управління. Важливим критерієм є мінімізація інтегральної помилки регулювання, яка

виражається рівнянням:

$$I_{KE} = \int_0^{\infty} e_n^2(t) dt$$

де e_n - похибка регулювання.

Спрямовані на мінімізацію інтегрального квадратичного показника якості, методи розрахунку, мають на меті швидке усунення великих значень похибок регулювання. Однак невеликі помилки можуть залишитися на тривалий час. Для прецизійної системи регулювання, що забезпечує підтримку температурного режиму в багатоцільовому складі, допустимо мати невеликі похибки регулювання, оскільки вони не мають критичного впливу на загальну ефективність. Натомість велика помилка регулювання є неприпустимою і повинна бути усунена якомога швидше.

Таким чином, розрахунок системи, що базується на методах мінімізації інтегрального квадратичного показника якості, гарантує, що система зможе оперативно корегувати завдання та компенсувати згоряння, забезпечуючи високу точність і стабільність.

Для коректного функціонування цифрової системи регулювання необхідно звернути увагу на $t_{\text{дис-ції}}$, який перевищує $t_{\text{мін-дон}}$, при якому система все таки буде визнана аналоговою. У нашому випадку для нашої системи регулювання температурного режиму в багатоцільовому складі було обрано час дискретизації, що дорівнює 10 секундам.

Для реалізації системи управління використовується дискретний ПІ-регулятор. Розрахунок параметрів ПІ-регулятора був здійснений з використанням формули з джерела [10], орієнтованих на досягнення мінімального інтегрального квадратичного показника якості. Такий підхід гарантує швидке усунення великих похибок та ефективне реагування системи на зміни умов.

$$K = \frac{1}{K_{06}} \left(0,329 + 0,751 \left(\frac{T_{06}}{\tau} \right)^{0,783} - 0,257 \frac{\tau}{T_{06}} \right)$$

$$T_i = 1,186T_{06} + 0,652\tau - 0,587T$$

На основі цих двох формул були визначені параметри налаштування ПІ-регулятора $K = 4$, $T_i = 388$. Дискретний ПІ-регулятор керуватиме об'єктом управління за допомогою ШІМ-модуляції зі змінним періодом імпульсів.

Інтегральні показники якості цифрової системи подані в таблиці 2.3.

Графік перехідного процесу цифрової системи регулювання через канал зміни потужності електрокалорифера зображено на рисунку 2.13.

Для моделювання перехідного процесу в середовищі Simulink використовується схема, показана на малюнку 2.14.

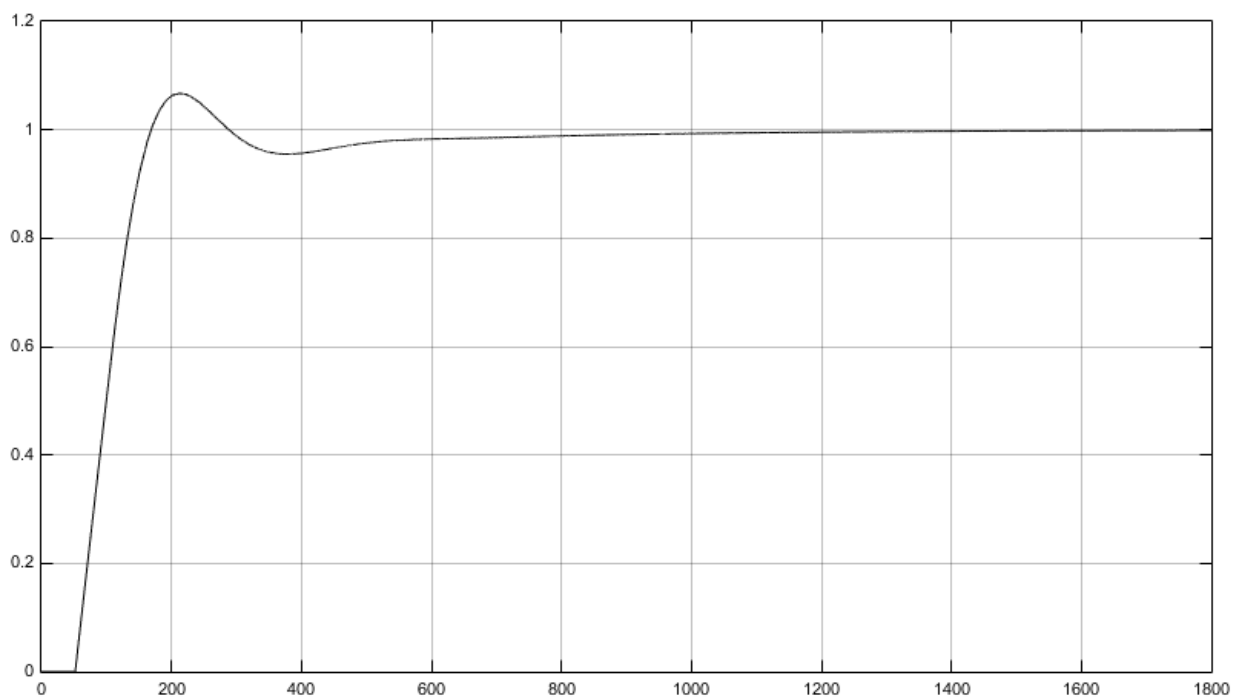


Рисунок 2.13 - Графік перехідного процесу цифрової системи регулювання з ШІМ модуляцією

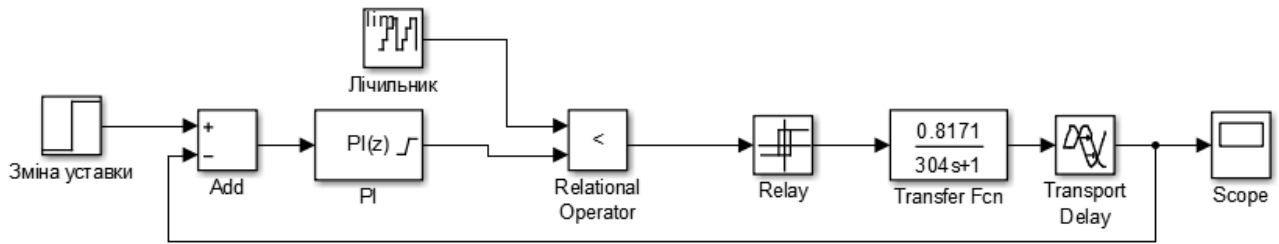


Рисунок 2.14 - Схема моделювання перехідного процесу цифрової системи регулювання з ШІМ модуляцією у Simulink

Таблиця 2.3 - Інтегральні показники якості цифрової системи регулювання з ШІМ модуляцією

$I_{\text{лін}}$	$I_{\text{лін}}^{\text{абс}}$	$I_{\text{лін}}^{\text{КЕ}}$	$I_{\text{лін}}^{\text{ШЕД}}$	$I_{\text{лін}}^{\text{год}}$
1686	1686	1658	1593611	1593611 1659

2.7 Оцінка стійкості і точності системи регулювання температури

З метою оцінки стійкості та точності системи, було проведено розрахунок апроксимованої моделі прецизійної системи регулювання температурного режиму відповідності на стійкість (грубість). Такий розрахунок необхідний, так як реальний об'єкт керування може змінюватися з часом. Перевірку системи використовували шляхом варіації параметрів об'єкта в межах 10%. Перехідні процеси для таких варіацій показані на рис. 2.15–2.17, а результати аналізу та відповідні показники якості представлені в таблиці 2.4.

На основі таблиці 2.4 побудовано графіки варіації параметрів об'єкта регулювання та показників якості системи регулювання рис. 2.18-2.23.

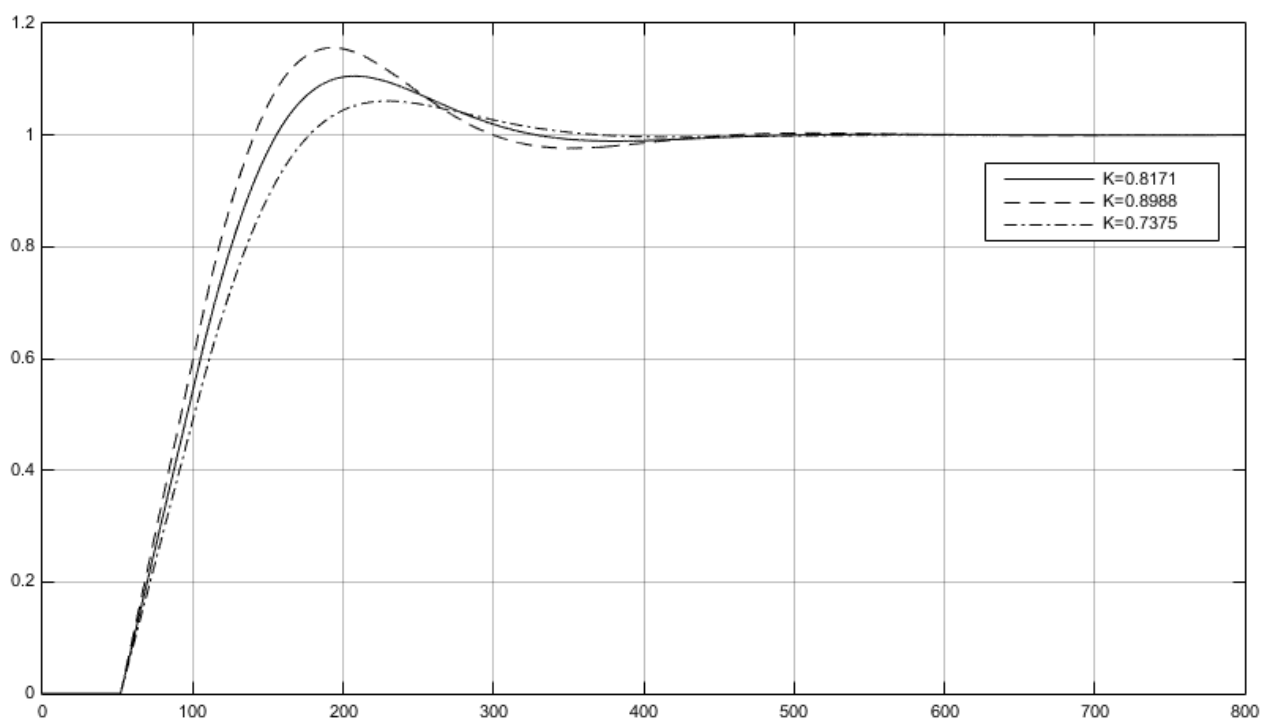


Рисунок 2.15 - Варіація коефіцієнту передачі об'єкту керування

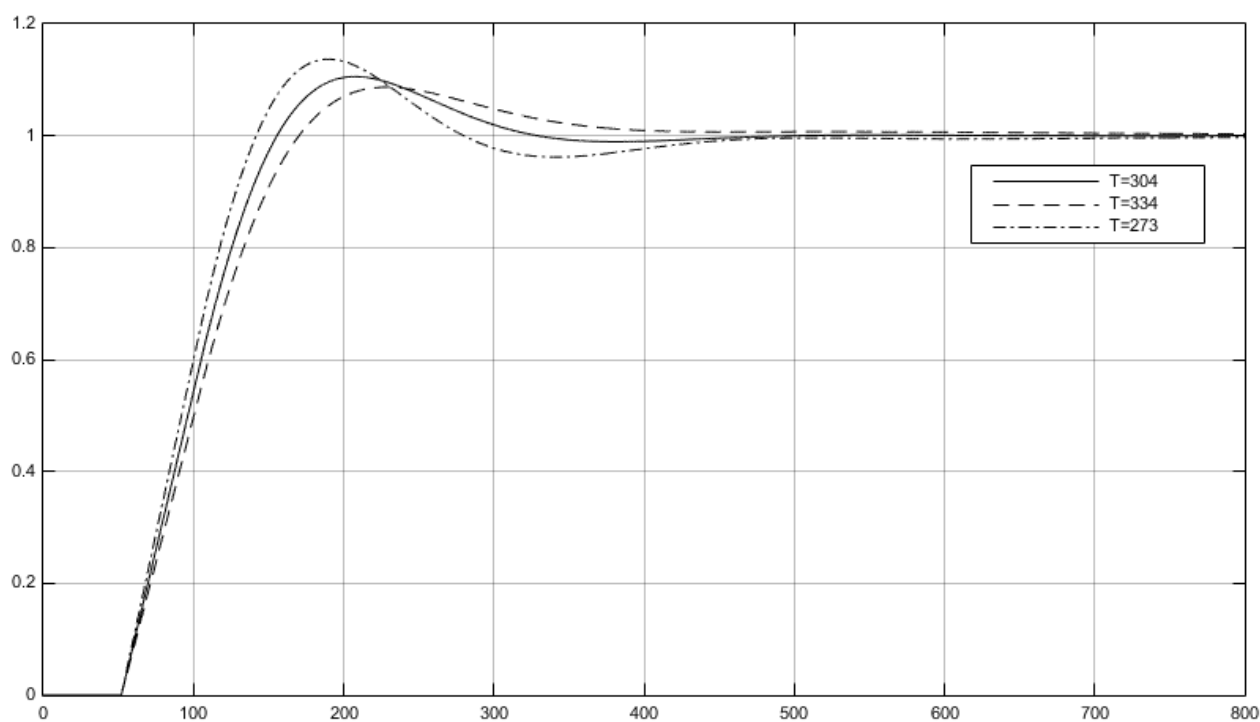


Рисунок 2.16 - Варіація сталої часу об'єкту керування

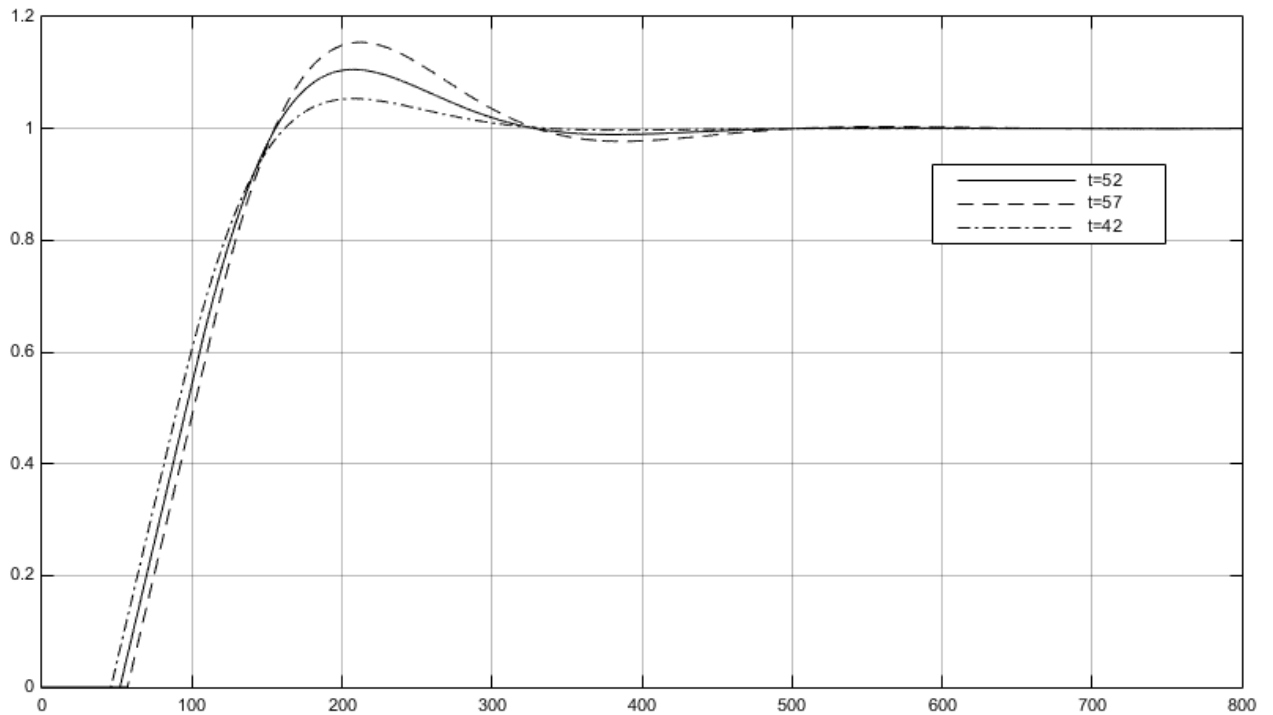
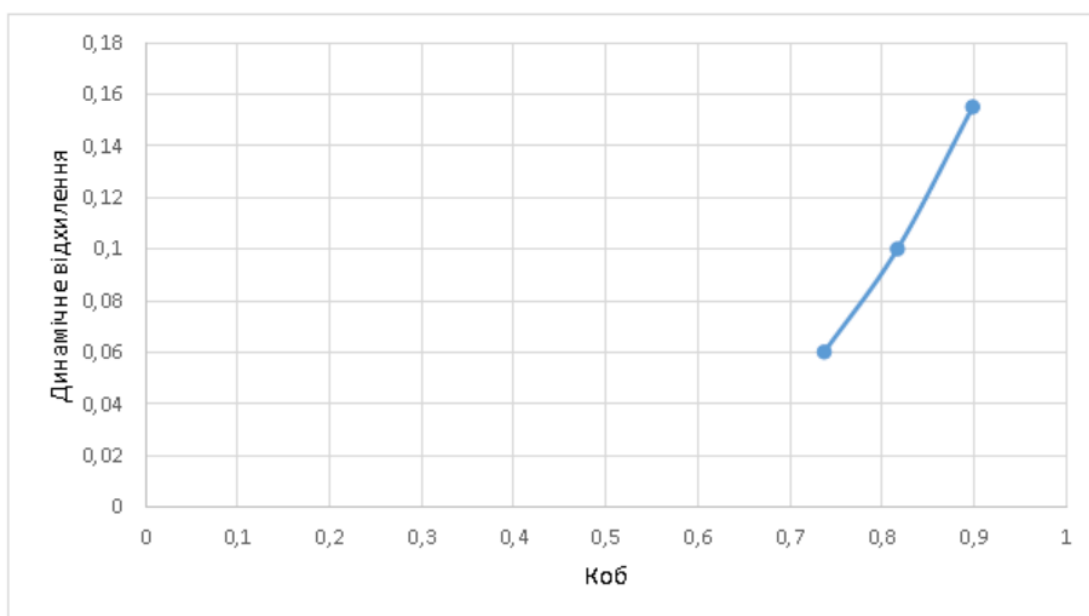
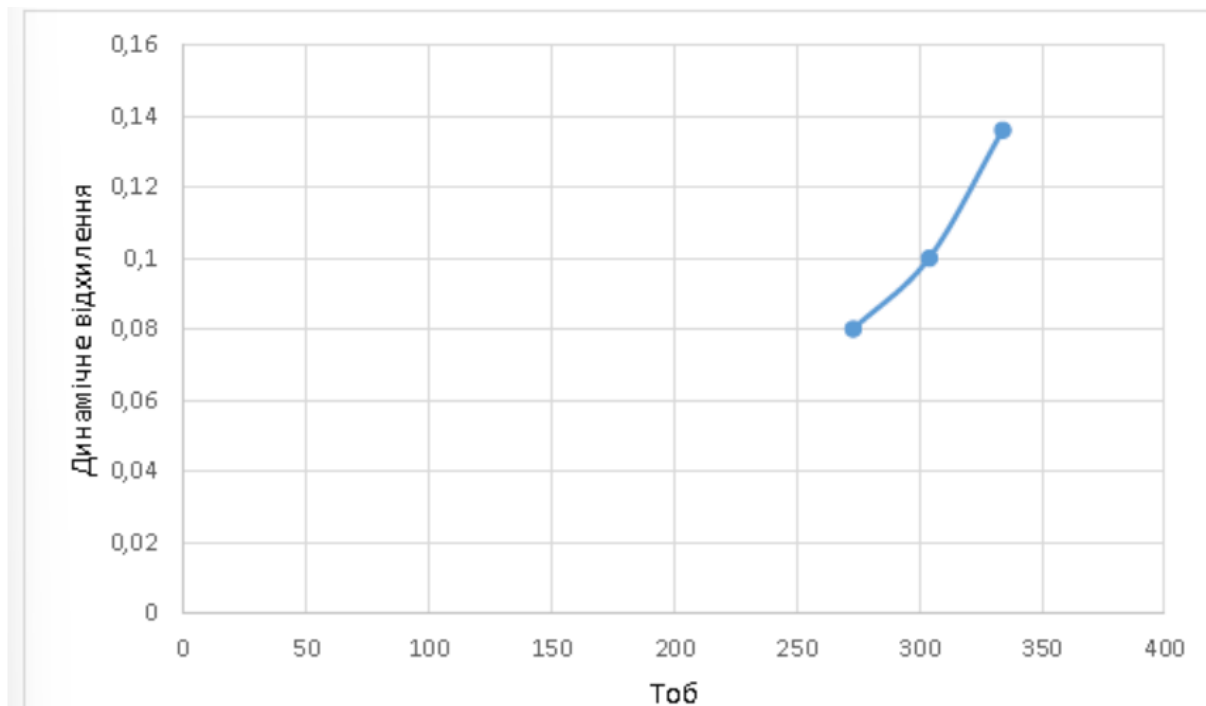


Рисунок 2.17 - Варіація часу запізнення об'єкту керування

Таблиця 2.4 - Варіація параметрів об'єкта керування та показники якості системи регулювання

Параметри	Коб	$T_{об}$	$\tau_{об}$	Динамічне відхилення	Час перехідного процесу
Вихідні	0,8171	304	52	0,1	500 с.
K_{var}	0,7375	304	52	0,06	480 с.
	0,8988	304	52	0,155	520 с.
T_{var}	0,8171	273	52	0,08	550 с.
	0,8171	334	52	0,136	600 с.
τ_{var}	0,8171	304	46	0,147	470 с.
	0,8171	304	57	0,053	560 с.

Рисунок 2.18 - Вплив варіація параметр $K_{об}$ на динамічне відхиленняРисунок 2.19 - Вплив варіація параметр $T_{об}$ на динамічне відхилення

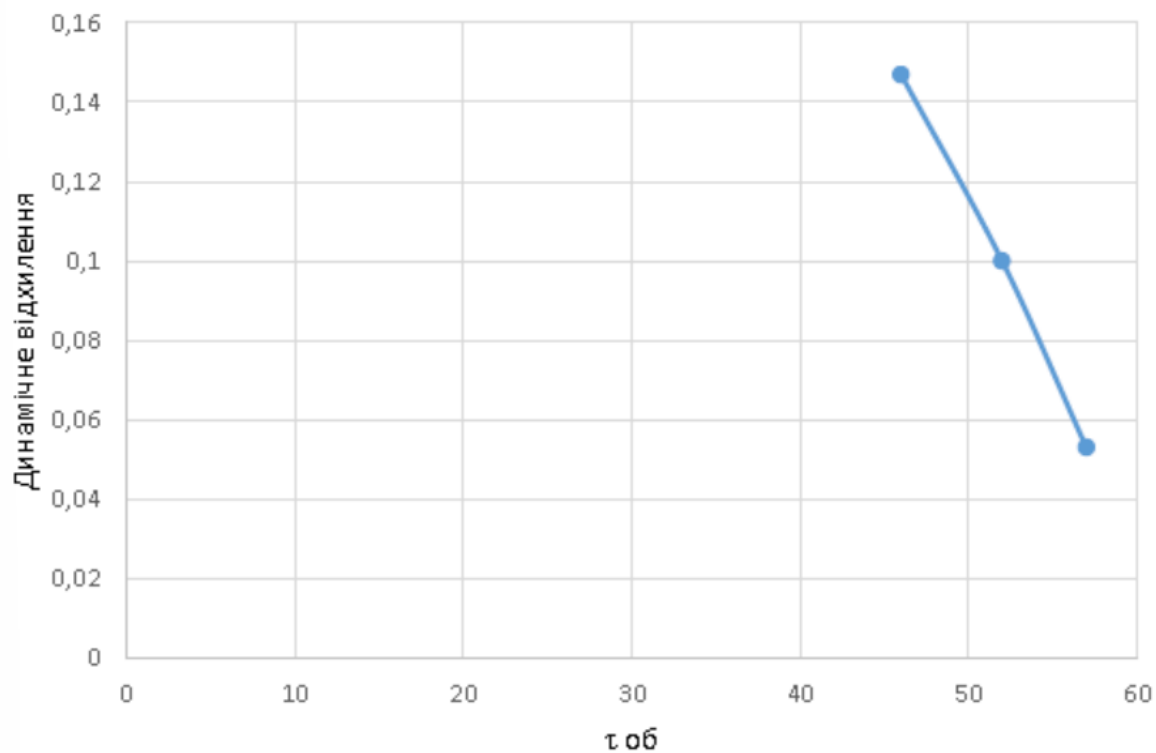


Рисунок 2.20 - Вплив варіація параметр $\tau_{об}$ на динамічне відхилення

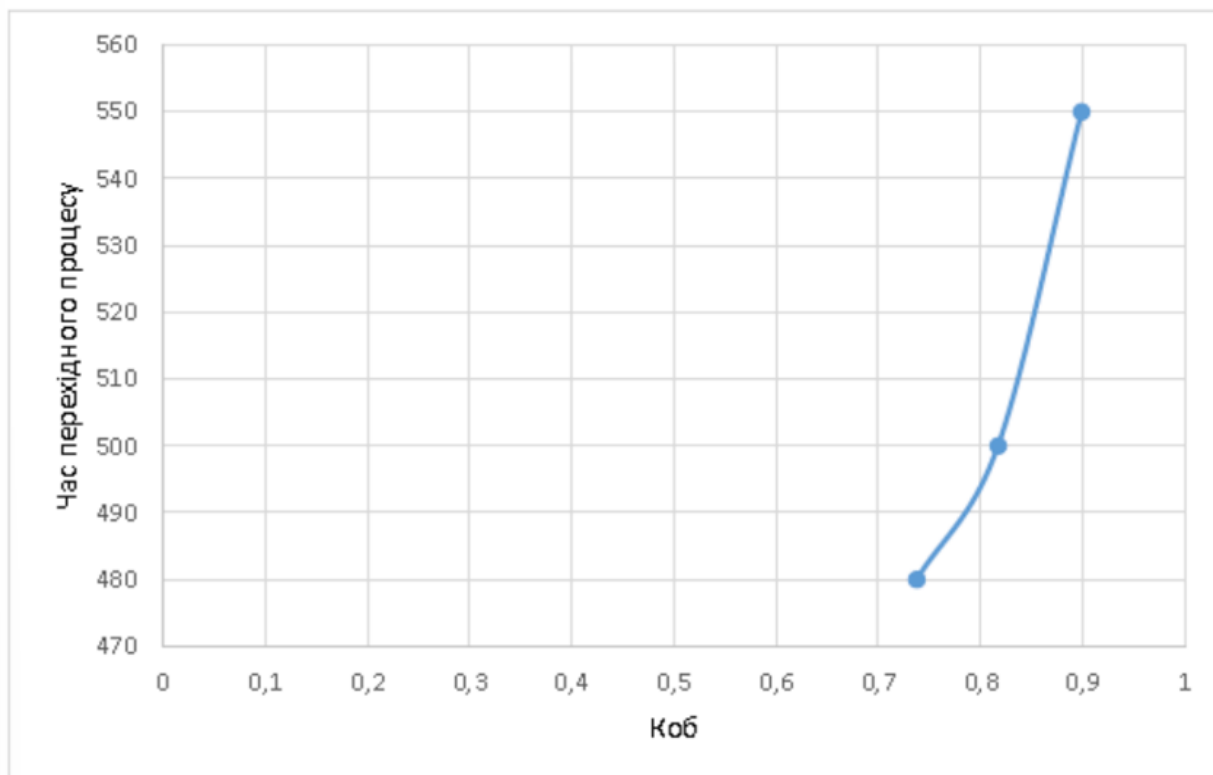


Рисунок 2.21 - Вплив варіація параметр $K_{об}$ на час перехідного процесу

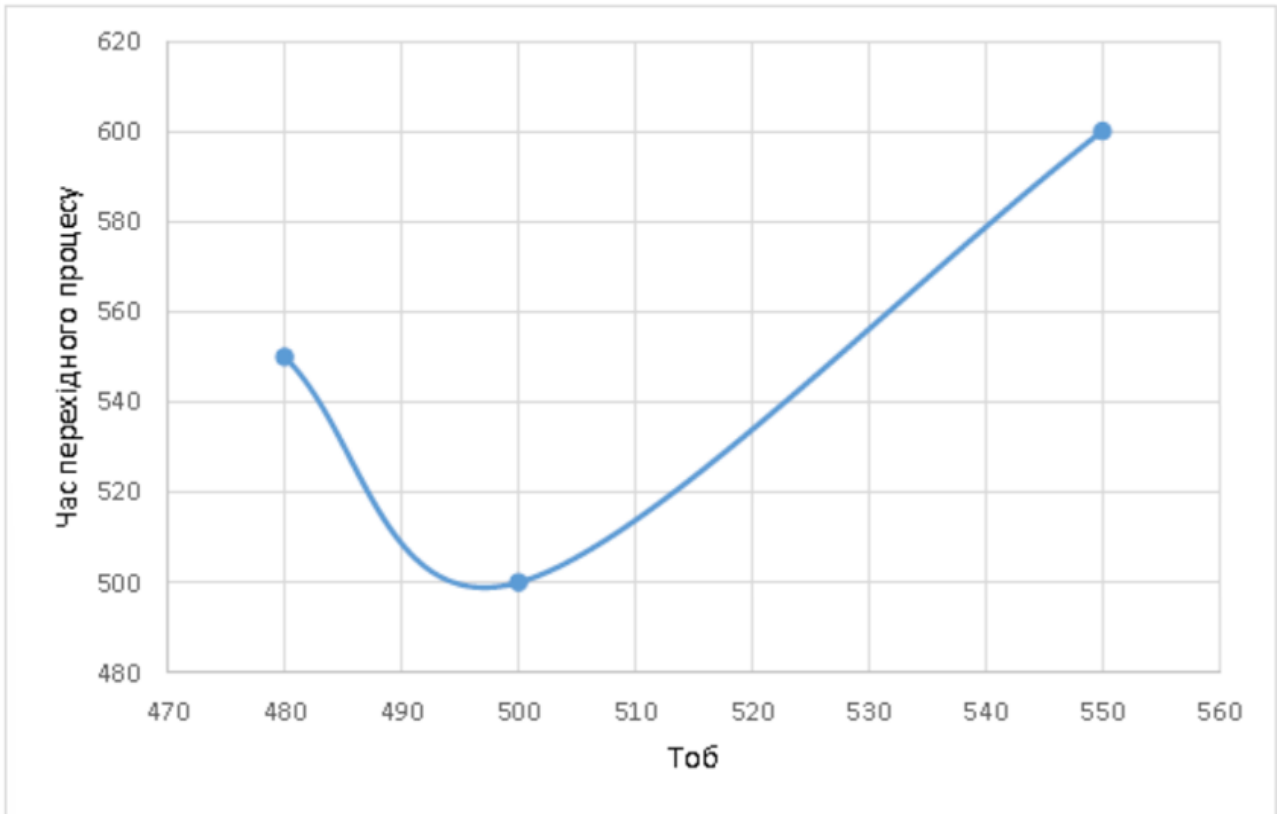


Рисунок 2.22 - Вплив варіація параметр $T_{об}$ на час перехідного процесу

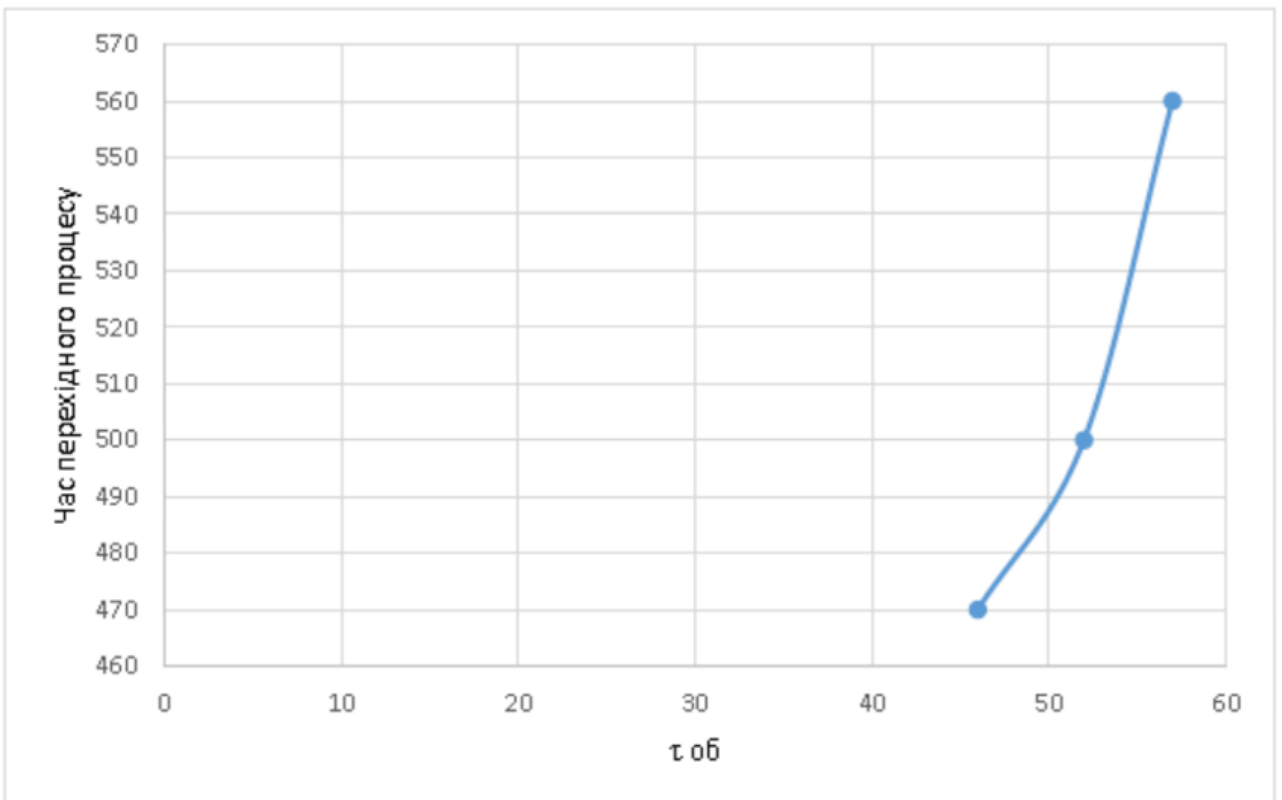


Рисунок 2.23 - Вплив варіація параметр τ на час перехідного процесу

Для продовження роботи була проведена оцінка чутливості системи:

$$k_z = \left| \frac{\frac{R - R^{opt}}{R^{opt}}}{\frac{Z - Z^{opt}}{Z^{opt}}} \right|$$

де k_z – відносний коефіцієнт чутливості для параметра z ; z – поточний параметр; Z^{opt} – оптимальне значення параметра; R, R^{opt} – поточний значення критерія якості та відповідне значення при оптимальних параметрах.

Таблиця 2.5 – Результати варіації для динамічної помилки

Параметр варіації	Коефіцієнти чутливості для динамічної похибки
$K_{об}$	$k_{K_{\Delta_{дин}^1}} = 4,1 ; k_{K_{\Delta_{дин}^2}} = 5,5$
$T_{об}$	$k_{T_{\Delta_{дин}^1}} = 1,9 ; k_{T_{\Delta_{дин}^2}} = 3,6$
τ	$k_{K_{t_{год}^1}} = 0,55 ; k_{K_{t_{год}^2}} = 0,57$

Таблиця 2.6 – Результати варіації для часу перехідного процесу

Параметр варіації	Коефіцієнти чутливості для часу перехідного процесу
$K_{об}$	$k_{K_{t_{год}^1}} = 0,41 ; k_{K_{t_{год}^2}} = 0,4$
$T_{об}$	$k_{T_{t_{год}^1}} = 0,98 ; k_{T_{t_{год}^2}} = 2$
τ	$k_{\tau_{t_{год}^1}} = 0,52 ; k_{\tau_{t_{год}^2}} = 1,2$

На основі цих результатів було зроблено висновок, що система не є грубою, тобто зміна параметрів об'єкта керування суттєво вплине на якість регулювання. Це пов'язано з тим, що апроксимована система базується на розширеній моделі, яка складається з лінійних елементів.

2.8 Розробка системи керування мікрокліматом з використанням нечіткої логіки

Використання технології заснованої на принципах нечіткої логіки є доцільним, тому що вона дозволяє вирішувати багатокритеріальні завдання, що містять низку невизначених або нечітких обмежень і цільових значень. Такий підхід особливо ефективний у випадку, коли критерії та умови не мають чітких меж і вимагають гнучкого підходу.

Для розробки нечіткого регулятора визначено кілька ключових завдань, які необхідно виконати для побудови системи керування:

- фазифікація - перетворення вхідних параметрів у нечіткі зміни;
- логічний висновок - обробка інформації на основі нечітких правил;
- побудова моделі керування;
- дефазифікація - перетворення результату висновку у чіткі значення).

На етапі фазифікації необхідно визначити параметри, які будуть враховуватися системою. Для прикладу, параметри були поділені на дві групи: зовнішні та внутрішні. До зовнішніх параметрів відносяться такі фактори, як швидкість вітру, зовнішня температура повітря та зовнішня вологість. Внутрішні параметри включають температуру та вологість всередині приміщення. Для кожного з цих параметрів були введені відповідні лінгвістичні змінні та терми, що дозволяють описати їх у нечітких значеннях. Крім того, було обґрунтовано зв'язок між лінгвістичними змінними і фізичними значеннями параметрів, що дозволяє точно налаштувати систему на базі реальних даних.

При визначенні термів для внутрішніх параметрів, таких як температура та вологість приміщення, було використано міжнародний стандарт ISO 7730. Це забезпечує високий рівень точності при побудові моделі, яка відповідає міжнародним нормам і вимогам комфорту та ефективності енергоспоживання (Рис. 2.24).

Для лінгвістичної змінної «Внутрішня вологість приміщення» було

визначено сім термінів, кожен з яких описано за допомогою ядер, носіїв термінів і плечей функції приналежності (табл. 2.7).

Важливим аспектом моделі є використання не тільки абсолютних значень параметрів, отриманих від датчиків, але й диференційних функцій для внутрішніх параметрів. Таке доповнення дозволяє системі реагувати більш оперативно, мінімізуючи ризик сильного впливу на параметри приміщення.

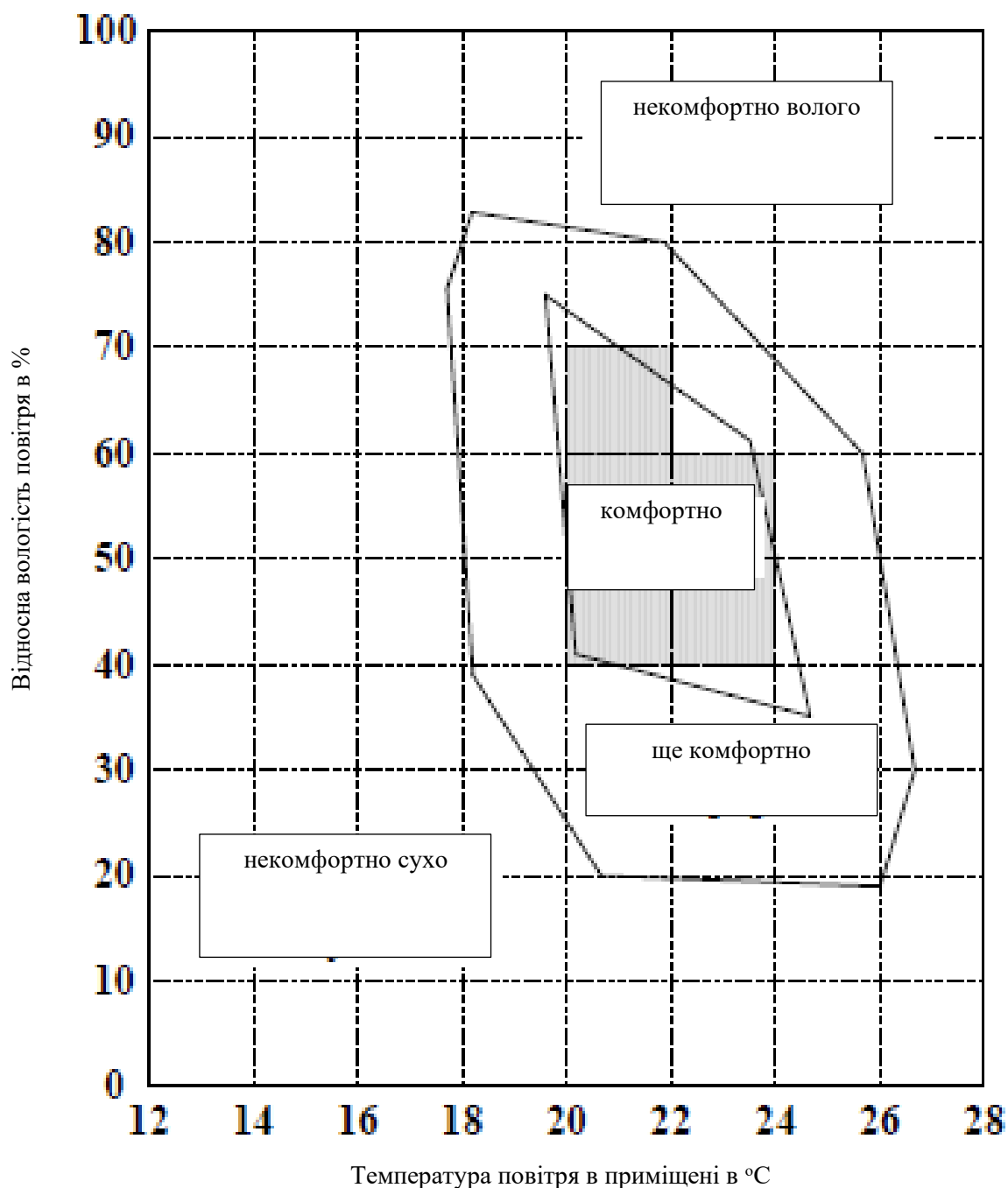


Рисунок 2.24 – Дані комфортності умов у приміщенні, що наводяться на підставі міжнародних європейських норм та рекомендацій ISO 7730

Таблиця 2.7 – Терми лінгвістичної змінної «Внутрішня вологість приміщення»

Терм	Ядро терма	Носій нечіткої множини	Ліве плече функції приналежності	Праве плече функції приналежності
LUIH	≤ 19	$(-\infty; 21)$	-	$(19; 21)$
LCIH	$(21; 29)$	$(19; 31)$	$(19; 21)$	$(29; 31)$
CIH	$(31; 39)$	$(29; 41)$	$(29; 31)$	$(39; 41)$
ALCIH	$(41; 49)$	$(39; 51)$	$(39; 41)$	$(49; 51)$
ACIH	$(51; 59)$	$(49; 61)$	$(49; 51)$	$(59; 61)$
ANCIH	$(61; 69)$	$(59; 71)$	$(59; 61)$	$(69; 71)$
HCIH	$(71; 79)$	$(69; 81)$	$(69; 71)$	$(79; 81)$
HUIH	≥ 81	$(79; +\infty)$	$(79; 81)$	-

Отримані функції приналежності термів цієї змінної детально показано на рисунку 2.25.

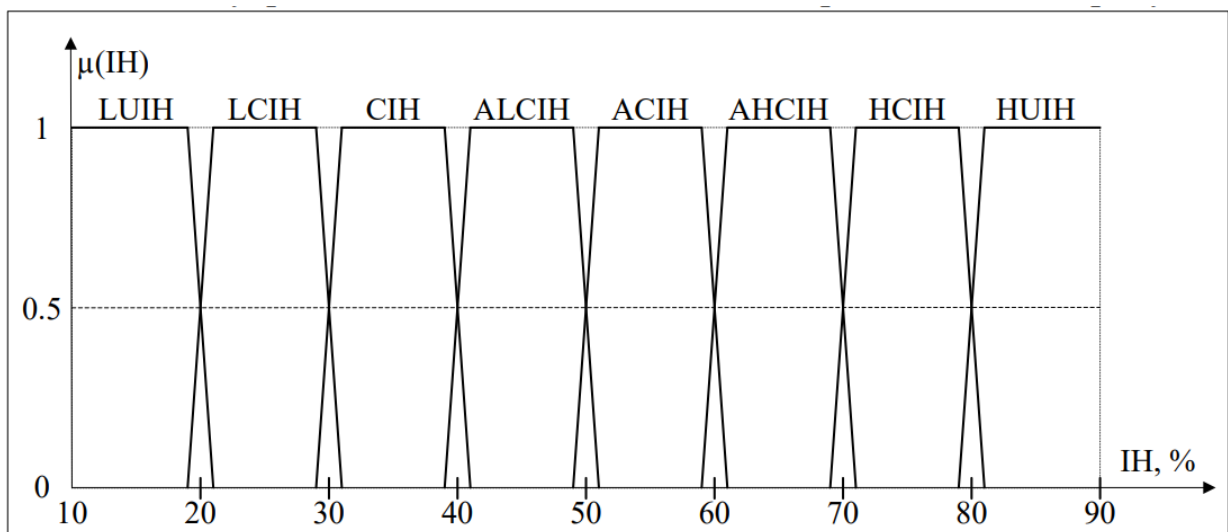


Рисунок 2.25 – Функція приналежності параметра "Внутрішня вологість приміщення"

Для більш точного визначення швидкості зміни було обрано метод обчислення, дозволяє вловити динаміку зміни параметра в реальному часі і підвищити точність керування

$$\frac{\partial IH}{\partial t} = \frac{IH(t + \Delta t) - IH(t - \Delta t)}{2 \cdot \Delta t}$$

де $IH(t + \Delta t)$ значення функції у точці, наступної за аналізованим моментом, °C; $IH(t - \Delta t)$ – значення функції у точці перед аналізованим моментом, °C; Δt – інтервал вимірювання показань датчиків, хв.

Залежно від типу використовуваних виконавчих пристроїв у системі керування мікрокліматом, для вихідних сигналів також формуються функції приналежності. Ці функції залежать від можливих режимів роботи виконавчих пристроїв і враховують специфіку кожного з них.

На рисунку 2.26 наведено алгоритм роботи системи керування мікрокліматом з урахуванням принципів нечіткої логіки. Він демонструє, як система адаптується до змін параметрів середовища, забезпечуючи точне та надійне регулювання мікроклімату у приміщенні.

В представленому алгоритмі продемонстровано процес визначення відповідності поточного значення параметра мікроклімату певному терму лінгвістичної змінної. Після цього, відповідно до наперед складеної бази правил, приймається рішення щодо активації керуючого пристрою з певною інтенсивністю.

На основі аналізу наукових досліджень і літературних джерел було розроблено правила, що забезпечують досягнення заданих параметрів мікроклімату з мінімальними енергетичними витратами та плавним переходом між станами системи.

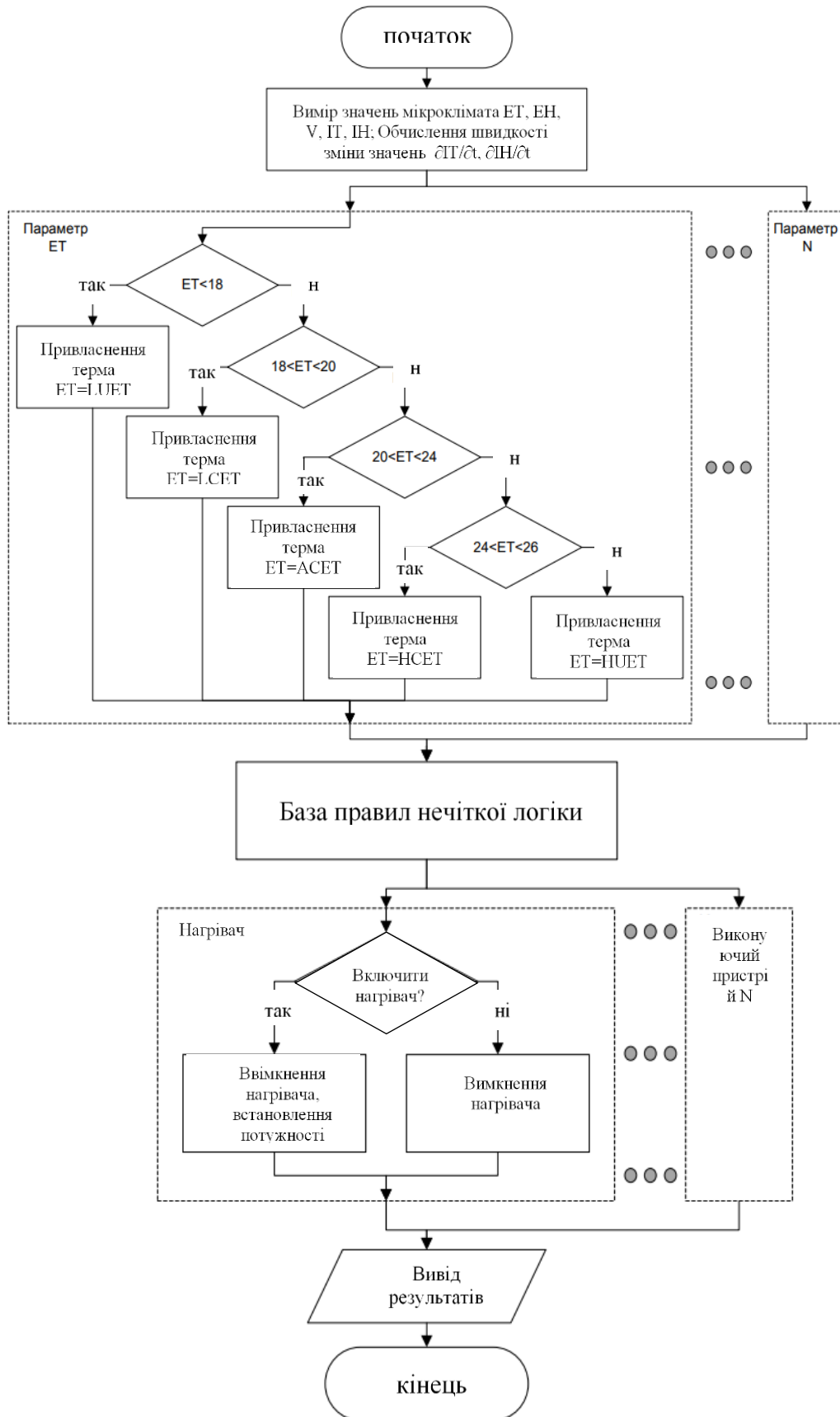


Рисунок 2.26 – Алгоритм роботи системи керування мікрокліматом із застосуванням апарату нечіткої логіки

Для агрегування було запропоновано використовувати нечітку логічну операцію "І", що дозволяє системі враховувати кілька умов одночасно. На етапі активізації підсумовування результатів відбувається за допомогою операції "min", що вибирає мінімальне значення, тоді як акумуляція виконується за принципом "max", де система бере до уваги максимальні значення. Таким чином, реалізується максимінний підхід із використанням логічної операції "І" для об'єднання умов.

У загальному вигляді математичний вираз функції приналежності матиме вигляд:

$$\mu_{OUT}(C) = \max\{\min[\mu_{IN}(P), \mu_{INOUT}(PC)]\}$$

де $(C) OUT \mu$ – керуючий вплив C для терму вихідний лінгвістичної змінної; $(P) IN \mu$ – вхідне значення P для терму лінгвістичної змінної, що описує вхідні дані протікання процесу; $(PC) INOUT \mu$ – консеквент ядра підключення PC для керуючого впливу C у разі отримання вхідного параметра P .

Метод центру тяжіння був обраний для процедури дефазифікації, яка є ключовою для формування точних керуючих сигналів на виконавчі пристрої. Це обґрунтовано тим, що метод центру тяжіння забезпечує баланс між різними можливими значеннями керуючого впливу, дозволяючи системі діяти плавно та точно.

На рисунку 2.27 зображено структуру системи керування на основі нечіткої логіки, що ілюструє процес прийняття рішень і передачі керуючих сигналів на виконавчі пристрої для підтримання оптимальних умов мікроклімату.

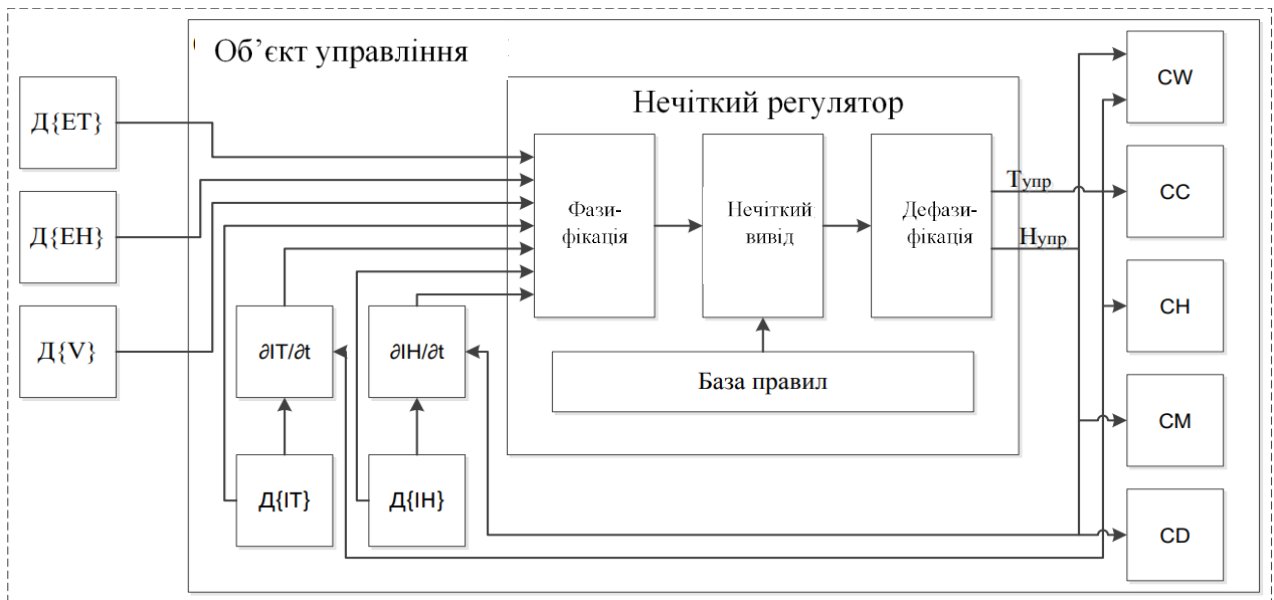


Рисунок 2.27 – Схема системи управління технологічними параметрами приміщення з використанням регулятора на базі нечіткої логіки

У середовищі Matlab була розроблена модель нечіткого регулятора, яка базується на методах, запропонованих у даній роботі. Для її створення використовувався пакет Fuzzy Logic Designer, що надає потужний інструментарій для побудови інтелектуальних систем керування. Модель включає детальний опис функцій лінгвістичних змінних, методів нечіткого виведення, а також процедури дефазифікації. Крім того, була сформована база правил для прийняття рішень, яка є ключовим елементом роботи нечіткого регулятора, що дозволяє системі ефективно реагувати на зміни вхідних даних та генерувати точні керуючі сигнали (Рис. 2.28).

Розроблена модель дозволяє гнучко налаштовувати параметри регулятора та адаптувати систему під різні умови роботи, забезпечуючи високу точність і стабільність керування. Завдяки використанню нечіткої логіки система має здатність працювати з розмитими даними та невизначеними обмеженнями, що є важливою перевагою для задач, пов'язаних із керуванням складними процесами.

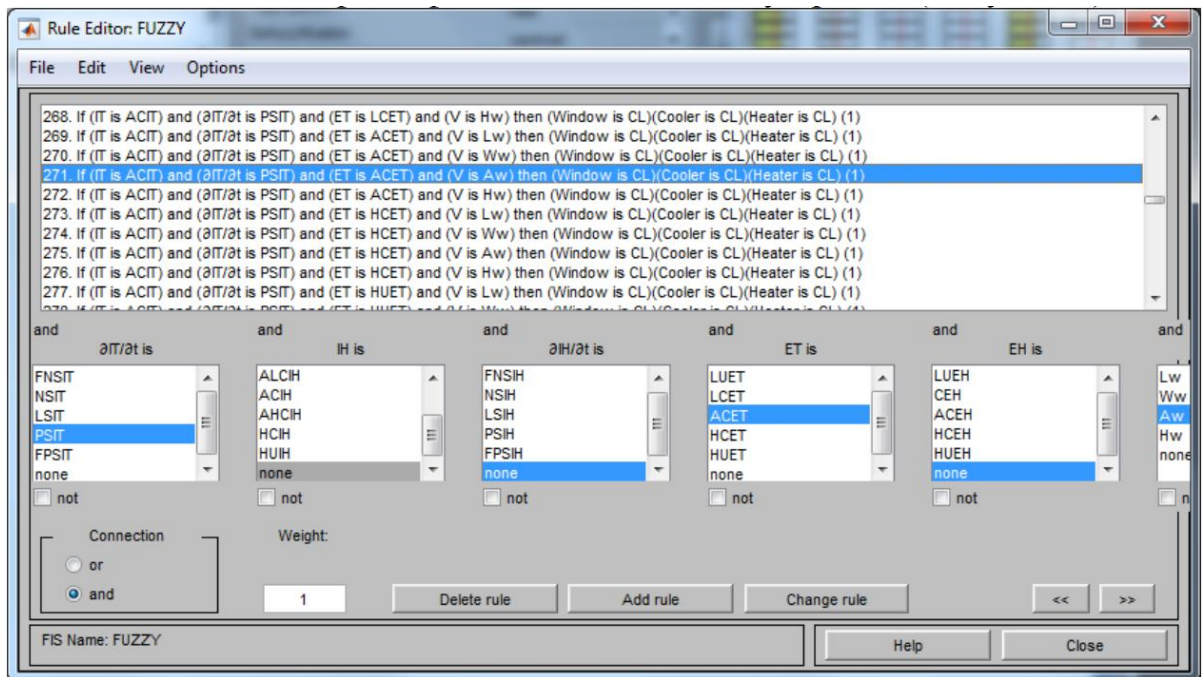


Рисунок 2.28 – Фрагмент складання бази правил для нечіткого регулятора

Було проведено моделювання системи керування технологічним процесом у середовищі Simulink, з урахуванням взаємного впливу як керуючих сигналів, що формуються нечіткими регуляторами, так і зовнішніх параметрів сусідніх зон (Рис. 2.29). У моделі відображені взаємодії між різними параметрами системи, що дозволило оцінити їхній вплив на загальний процес керування.

Результати моделювання підтвердили ефективність запропонованих підходів для підтримання необхідних умов мікроклімату навіть за наявності зовнішніх збурень, які змінюються з часом (Рис. 2.30). Система продемонструвала стабільність у відповідь на непостійні зовнішні впливи, що свідчить про її високу адаптивність і здатність забезпечувати задані параметри з мінімальними відхиленнями від цільових значень.

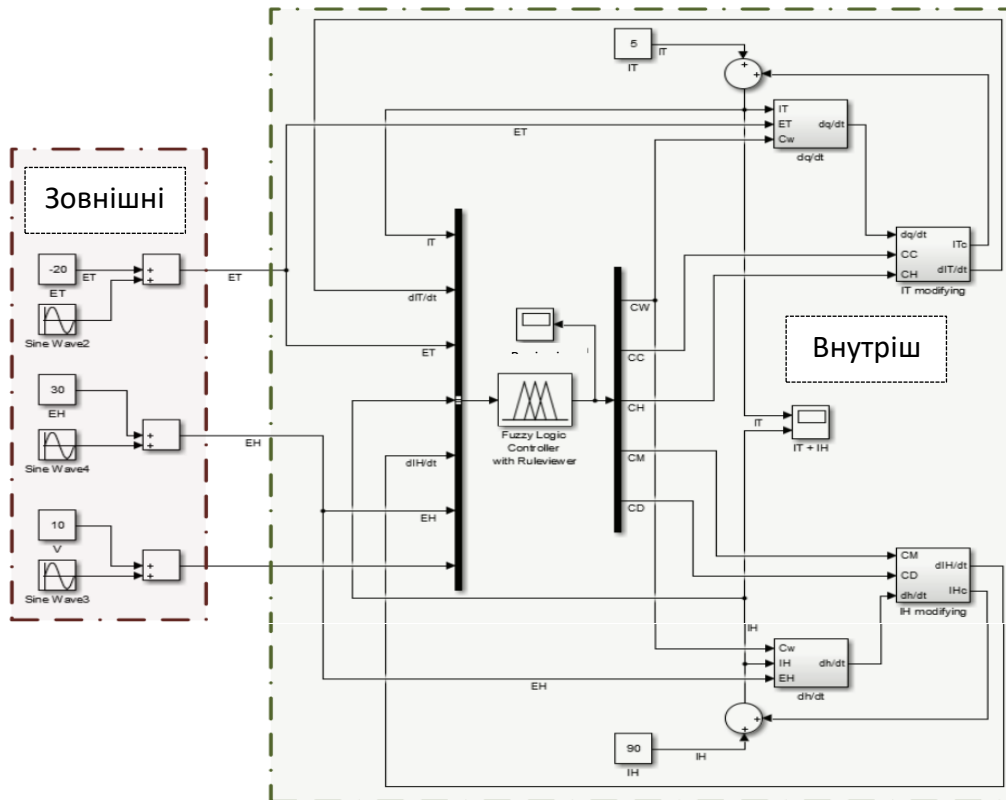


Рисунок 2.29 – Структура системи управління параметрами мікроклімату за допомогою регулятора на базі нечіткої логіки пакету Simulink

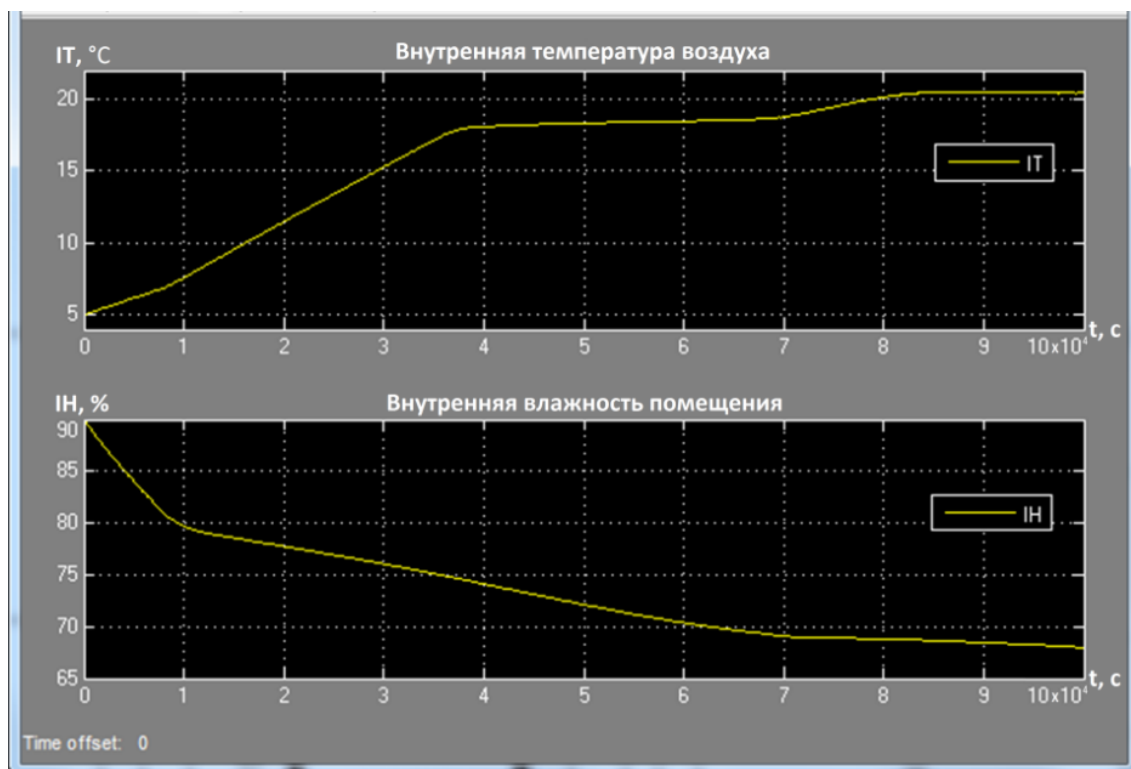


Рисунок 2.30 – Зміна внутрішньої температури повітря та внутрішньої вологості приміщення

Висновки до розділу

1. Розроблено структурну схему системи керування для підтримання мікроклімату в приміщенні багатоцільового складу.

2. Визначені основні елементи системи керування: складське приміщення, датчик температури, електрокалорифер та вітропровідник.

3. Розроблена динамічна модель складського приміщення. Система рівнянь, яка описує теплові процеси, дозволяє змоделювати кожен елемент динамічної моделі в просторі Лапласа.

4. Розроблено моделі та виконано моделювання процесів керування температурним режимом у приміщенні складу. В процесі виконання моделювання всі графіки наочно показують, як система реагує на різні фактори та дозволяють оцінити її ефективність у підтриманні стабільної температури у складському приміщенні.

5. Найбільш вагомим збуренням в системі підтримання температурного режиму є зміна вхідної температури повітря до електрокалорифера. Розроблено детальну схему прецизійного регулювання, яка забезпечує підтримання необхідного температурного режиму в багатоцільовому складському приміщенні.

6. Для виконання розрахунків дискретної системи регулювання необхідно, щоб час дискретизації регулятора перевищував мінімально допустимий, при якому систему ще можна вважати аналоговою. Це забезпечує коректну роботу системи і запобігає втраті інформації при цифровій обробці сигналів.

7. З метою оцінки стійкості та точності системи, було проведено розрахунок апроксимованої моделі прецизійної системи регулювання температурного режиму відповідності на стійкість (грубість).

8. Використання технології заснованої на принципах нечіткої логіки є доцільним, тому що вона дозволяє вирішувати багатокритеріальні завдання, що містять низку невизначених або нечітких обмежень і цільових значень.

9. Розроблено алгоритм роботи системи керування мікрокліматом з урахуванням принципів нечіткої логіки. Він демонструє, як система адаптується до змін параметрів середовища, забезпечуючи точне та надійне регулювання мікроклімату у приміщенні.

10. Розроблено структуру і модель системи керування на основі нечіткої логіки. Розроблена модель дозволяє гнучко налаштовувати параметри регулятора та адаптувати систему під різні умови роботи, забезпечуючи високу точність і стабільність керування.

РОЗДІЛ 3

ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ

3.1 Обґрунтування вибору та розробка програмного забезпечення для для автоматизованої системи керування

Таблиця 3.1 – Значення змінних

Ім'я змінної	Адреса	Найменування
Pusk	%IO.0	Запуск програми
Pressure_filter	%IO.0	Реле тиску фільтра
Pressure_vent_in	%IO.0	Реле тиску приливної вентилятора
Pressure_vent_out	%IO.0	Реле тиску витяжного вентилятора
Kl_voda	%QW64	Клапан подачі води в теплообмінник
Heat	%QW66	Нагрівач
Flap_in	%QW96	Заслонка приточної вентиляції
Flap_out	%QW98	Заслонка витяжної вентиляції
flap_baipas	%QW100	Заслонка байпасу
flap_room	%QW102	Заслонка притоку на кімнату
Temperature	%IW112	Температура повітря
CO2_room	%IW114	Вміст CO2 в кімнаті
CO2_vent_out	%IW116	Вміст CO2 в витяжній вентиляції
Pressure	%IW118	Тиск в системі
Vent_in	%QW112	Частотний перетворювач приливної вентилятора
Vent_out	%QW114	Частотний перетворювач витяжного вентилятора

Опис алгоритму:

При натисканні кнопки "Пуск" розпочинається процес запуску системи вентиляції. Спочатку відбувається відкриття припливних і витяжних заслонок, після чого двигуни системи запускаються на повну потужність, забезпечуючи максимальну подачу і відведення повітря. Паралельно з цим стартує таймер на одну хвилину, після закінчення якого починається опитування датчиків перепаду тиску для виявлення можливих відхилень у системі.

Якщо під час цього опитування датчики фіксують відхилення за перепадом тиску, система автоматично подає сигнал про виникнення проблеми з запуском і вимикає всі механізми. Після цього оператору необхідно повторно запустити систему для продовження роботи. У разі відсутності відхилень програма переходить до наступного етапу, формуючи вихідні сигнали для виконавчих механізмів, які діють відповідно до заданих алгоритмів регулювання.

Якщо під час роботи системи вентиляції виявляється перевищення допустимого рівня вмісту CO₂ у витяжній системі, система переходить в аварійний режим. У цьому стані припливна вентиляція зупиняється для запобігання подальшого потрапляння забрудненого повітря в приміщення, тоді як витяжна система починає працювати на максимальній потужності, щоб швидко видалити забруднене повітря і усунути задимленість або інші небезпечні концентрації газів.

Такий сценарій аварійного стану забезпечує швидку реакцію на критичні ситуації, запобігаючи поширенню шкідливих речовин і забезпечуючи безпеку в приміщеннях, де працює система вентиляції.

ГІА Portal V14 — це потужне інтегроване середовище розробки програмного забезпечення для програмованих логічних контролерів (ПЛК), створене для автоматизації технологічних процесів на різних рівнях. Від польового рівня, де контролюються приводи та сенсори, до верхнього рівня, де здійснюється централізоване управління та візуалізація процесів. Основою для

роботи TIA Portal є обладнання компанії SIEMENS, що робить це середовище універсальним інструментом для промислової автоматизації.

Огляд можливостей TIA Portal V14

Інженерні опції:

Однією з ключових переваг TIA Portal V14 є підтримка функції Multiuser Engineering, яка дозволяє кільком інженерам одночасно працювати над одним проектом. Це значно скорочує час на розробку та налаштування, прискорюючи введення проектів в експлуатацію. Завдяки такій кооперації користувачі можуть швидше тестувати рішення, виправляти помилки та впроваджувати нові ідеї без переривання робочого процесу.

Додаткові функції

Версія TIA Portal V14 також має нові функції, що розширюють можливості управління проектами. Наприклад, TIA Portal Teamcenter Gateway дозволяє не тільки зберігати та керувати проектами, але й інтегрувати глобальні бібліотеки в середовищі Teamcenter. Це створює зручну платформу для централізованого управління даними, що дозволяє інженерам легко обмінюватися проектними рішеннями та повторно використовувати компоненти в різних проектах.

Управління оператором

Ще однією важливою опцією є інтеграція управління оператором безпосередньо в середовище TIA Portal. Це забезпечує більш зручний інтерфейс для конфігурування та моніторингу систем автоматизації. За допомогою TIA Portal Cloud Connector користувачі можуть отримати доступ до своїх локальних проектів і обладнання SIMATIC через віддалений робочий стіл у приватній хмарі. Це означає, що робота в TIA Portal більше не обмежується лише локальними комп'ютерами — тепер можна здійснювати віддалене налаштування, моніторинг та управління обладнанням, що значно підвищує гнучкість та зручність використання.

TIA User Management Component — це нова опція в TIA Portal V14, яка

забезпечує можливість централізованого управління користувачами та групами користувачів на глобальному рівні. Завдяки цій функції адміністратори можуть легко визначати, створювати та керувати доступом користувачів до різних проектів. Важливою особливістю є те, що користувачі та групи можуть бути інтегровані з Microsoft Active Directory, що дозволяє використовувати існуючі корпоративні облікові записи для доступу до проектів TIA Portal, спрощуючи процес аутентифікації та управління доступом.

TIA Portal Openness відкриває нові можливості для користувачів через використання API-інтерфейсу для продуктів WinCC і STEP 7 у середовищі TIA Portal. Ця функція дозволяє інтегрувати TIA Portal у зовнішні середовища розробки, що особливо корисно для автоматизації інженерно-технічних завдань. Користувачі можуть писати власні програми та скрипти для роботи з НМІ-панелями або ПЛК-блоками, використовуючи зовнішні середовища програмування. Наприклад, створення генераторів коду для інтерфейсів або автоматизованого налаштування ПЛК тепер стає простішим і зручнішим.

SIMATIC Energy Suite — це інструмент, розроблений для інтеграції управління споживанням електроенергії в загальну систему автоматизації підприємства. Цей модуль дозволяє напряду з'єднувати систему контролю енергоспоживання з автоматиками управління, що надає повну прозорість даних щодо споживання енергії на підприємстві. Крім того, прозора інтеграція забезпечує можливість швидкої і точної оцінки ефективності використання енергоресурсів на різних рівнях виробничого процесу.

Окремо варто відзначити, що SIMATIC Energy Suite [30] значно спрощує програмування вимірювального обладнання. Це дозволяє зменшити час, необхідний для конфігурації, що особливо важливо при розгортанні нових проектів або внесенні змін у поточні. Таким чином, досягається не лише скорочення часу на налаштування, але й підвищується загальна ефективність управління енергоспоживанням, що позитивно впливає на економічні показники підприємства.

В сукупності ці нові функції TIA Portal V14 покращують продуктивність і зручність роботи з системами автоматизації, надаючи користувачам більше інструментів для адаптації середовища під конкретні потреби, а також для ефективного управління ресурсами на всіх рівнях виробництва.

Додані нові функції в TIA Portal V14 роблять його ще більш гнучким та зручним для автоматизації і моделювання промислових процесів. Однією з таких функцій є SIMATIC PLCSIM Advanced, яка призначена для створення віртуальних контролерів. Це дозволяє інженерам моделювати роботу контролерів SIMATIC S7-1200, що є важливим для проведення комплексних тестів і перевірки програмного забезпечення перед реальним запуском на виробництві. Використання віртуальних контролерів для моделювання значно спрощує процес перевірки функціональності систем і зменшує ризик помилок при запуску.

Ще одна нова функція — це SIMATIC Visualization Architect (SiVArc), яка спрощує створення графічних інтерфейсів для HMI-панелей. Ця функція автоматично генерує вміст HMI-проектів на основі логіки та даних, створених у програмі STEP 7, що дозволяє швидко і гнучко налаштовувати інтерфейси для операторів. Інженери можуть заощадити значний час, оскільки немає необхідності вручну створювати і налаштовувати елементи інтерфейсу – SiVArc робить це автоматично, з урахуванням усіх вимог і параметрів проекту.

S7-SCL (Standard Control Language) — це високорівнева мова програмування, подібна до PASCAL, яка призначена для створення складних алгоритмів керування та обробки даних в системах автоматизації SIMATIC [30]. Завдяки використанню S7-SCL, програмісти можуть легко описувати комплексні процеси, що дозволяє ефективніше програмувати системи управління такими контролерами, як SIMATIC S7-300, SIMATIC S7-400, SIMATIC C7 і навіть комп'ютерні системи керування SIMATIC WinAC. Ця мова особливо корисна для тих випадків, коли необхідно реалізувати алгоритми, що вимагають складної логіки або обробки великої кількості даних.

Для реалізації процесу керування системою вентиляції та кондиціонування на базі ПЛК Siemens S7-1200, використовується мова Structured Text (ST), яка є частиною стандарту ІЕС 61131-3. Ця мова дає можливість описати логіку регулювання, враховуючи всі вимоги до системи: контроль за витратами повітря, моніторинг температури, регулювання тиску в системі, а також автоматичне управління клапанами, вентиляторами та іншими виконавчими механізмами. Завдяки використанню ST для програмування ПЛК, процес регулювання може бути оптимізований і адаптований до конкретних умов експлуатації, що забезпечує надійне функціонування системи вентиляції та кондиціонування в різних сценаріях.

Програма «Процес регулювання системи кондиціонування та вентиляції» на мові ST для ПЛК Siemens S7-1200:

```

IF "pusk" THEN
  IF NOT #allert THEN
    #work := FALSE;
    #start_allert := false;
    #start_pus_system := 1;
    IF NOT #work THEN
      CASE #start_pus_system OF
        1:
          "flap_in" := 10000;
          "flap_out" := "flap_in";
          "flap_baipas" := 0;
          "flap_room" := 10000;
          "Vent_in" := 10000;
          "Vent_out" := 10000;
          "timer_for_start".TON(IN := "pusk",
            PT := T#1m,

```

```

        Q => #timer_for_start_out,
        ET =>);
    IF #timer_for_start_out THEN
        #start_pus_system := 2;
    END_IF;
2:
    IF "Pressure_vent_in" OR "Pressure_vent_out" THEN
        #start_pus_system := 3;
    ELSE
        #work := true;
    END_IF;
ELSE
    "Vent_in" := 0;
    "Vent_out" := 0;
    "flap_in" := 0;
    "flap_out" := "flap_in";
    "flap_baipas" := 0;
    "flap_room" := 0;
    #start_allert := TRUE;
END_CASE;

ELSE
    IF "CO2_vent_out" > 8000 THEN
        #allert := true;
    END_IF;
//pressure input control
"PID_Compact_1"(Setpoint := #pressure_setpoint,
    Input := "Pressure",
    Output_PER => "Vent_in");
//temperature controll

```

```

    "PID_Temp_1"(Setpoint := #temperature_setpoint,
        Input_PER := "Temperature",
        OutputCool_PER => "Kl_voda",
        OutputHeat_PER => "Heat");
    "PID_vent_out"(Input_PER := "CO2_vent_out",
        Output_PER=>"Vent_out");
//baipas mode
IF #baipas THEN
    "PID_baipas"(Input_PER := "CO2_vent_out",
        Output_PER => #baipas_pid_out);
    "flap_in" := 10000 - #baipas_pid_out;
    "flap_out" := 10000 - #baipas_pid_out;
    "flap_baipas" := #baipas_pid_out;
ELSE
    "flap_in" := 10000;
    "flap_out" := 10000;
    "flap_baipas" := 0;
    END_IF;
END_IF;
ELSE
    // when allert disable all input system
    "Vent_in" := 0;
    "flap_in" := 0;
    "flap_baipas" := 0;
    "Heat" := 0;
    "Kl_voda" := 0;
    "flap_room" := 0;
    END_IF;
END_IF;

```


3.2 Розробка людино-машинного інтерфейсу оператора технолога

Таблиця 3.2 - Переліки вхідних та вихідних сигналів та даних SCADA/HMI

Ім'я змінної	Адреса	Мін. вихідне значення	Мін. вихідне значення	Мін. значення в од. виміру	Макс. значення в од. виміру	Тип даних
PLCPLCPusk	PLC.PLC.Pusk	0	1	0	1	BOOL
PLCPLCPressure_filter	PLC.PLC.Pressure_filter	0	1	0	1	BOOL
PLCPLCPressure_vent_in	PLC.PLC.Pressure_vent_in	0	1	0	1	BOOL
PLCPLCPressure_vent_out	PLC.PLC.Pres_sure_vent_o ut	0	1	0	1	BOOL
PLCPLCKI_voda	PLC.PLC.KI_voda	0	27648	0	100	INT
PLCPLCHeat	PLC.PLC.Heat	0	27648	0	100	INT
PLCPLCFlap_in	PLC.PLC.Flap_in	0	27648	0	100	INT
PLCPLCFlap_out	PLC.PLC.Flap_out	0	27648	0	100	INT
PLCPLCflap_baipas	PLC.PLC.flap_baipas	0	27648	0	100	INT
PLCPLCflap_room	PLC.PLC.flap_room	0	27648	0	100	INT

Ім'я змінної	Адреса	Мін. вихідне значення	Мін. вихідне значення	Мін. значення в од. виміру	Макс. значення в од. виміру	Тип даних
PLCPLCTemperature	PLC.PLC.Temperature	0	27648	-50	50	INT
PLCPLCCO2_room	PLC.PLC.CO2_room	0	27648	0	2000	INT
PLCPLCCO2_vent_out	PLC.PLC.CO2_vent_out	0	27648	0	2000	INT
PLCPLCPressure	PLC.PLC.Pressure	0	27648	0	500	INT
PLCPLCVent_in	PLC.PLC.Vent_in	0	27648	0	100	INT
PLCPLCVent_out	PLC.PLC.Vent_out	0	27648	0	100	INT

3.3 Відеокадри дисплейних мнемосхем оператора

Екранна мнемосхема процесу вентиляції та кондиціонування є важливим інструментом для оператора, який дозволяє не лише контролювати поточний стан технологічного процесу, але й вчасно реагувати на зміни. Вона забезпечує можливість візуалізації ключових параметрів, таких як температура, тиск, швидкість повітряних потоків та стан обладнання. Оператор може спостерігати за змінами цих параметрів у реальному часі, що дозволяє оцінювати ефективність роботи системи.

Мнемосхема також дає можливість коригувати управляючі дії, коли це необхідно. Наприклад, можна віддалено налаштовувати положення клапанів і

заслонок, регулювати роботу нагрівачів або змінювати швидкість обертання вентиляторів, щоб забезпечити оптимальні умови в приміщеннях або виробничих зонах. Це особливо важливо в умовах динамічних змін навколишнього середовища або вимог до температурного режиму.

На рисунку 3.1 показана дисплейна мнемосхема процесу вентиляції та кондиціонування, де відображено всі основні елементи системи. Вона демонструє стан вентиляційних установок, положення заслонок, температуру на вході і виході з теплообмінників, а також поточний рівень споживання енергії. Завдяки цим даним оператор може оперативнo втручатися у процес, запобігаючи перегріванню або переохолодженню, а також підтримуючи енергетичну ефективність системи.

Додатково, мнемосхема включає аварійні індикатори та сигнали, які інформують про несправності або відхилення від заданих параметрів. Це дозволяє швидко вжити необхідних заходів для усунення проблем і підтримання безперебійної роботи системи.

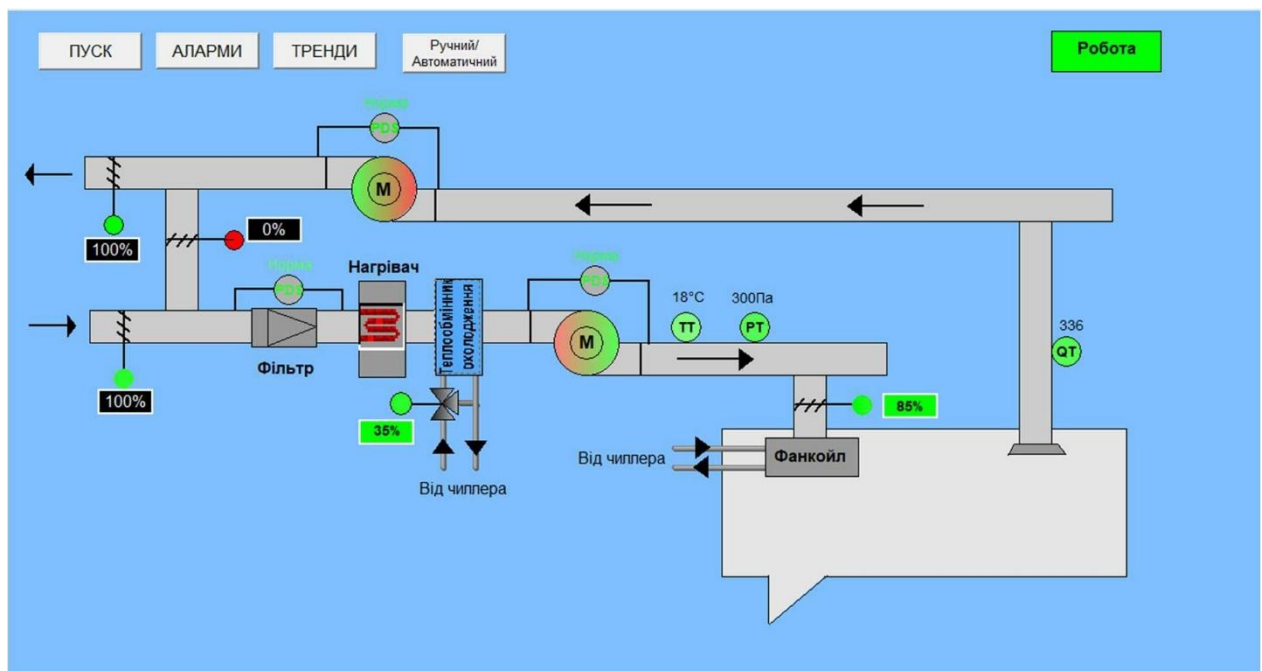


Рисунок 3.1 - Дисплейна мнемосхема

Аларми в системі Citect поділяються на кілька типів залежно від їхньої природи та способу конфігурування:

1. Конфігуровані аларми: виникають у результаті відхилення технологічних параметрів за допустимі межі або при несправності технологічного обладнання. Такі аларми потребують попереднього налаштування та можуть бути конфігуровані для окремих змінних, груп змінних, виразів або результатів розрахунків.

Таблиця 3.3 – Типи конфігурованих алармів

дискретні аларми
Спрацьовують при зміні стану дискретної змінної (наприклад, зміна з "0" на "1"). Це найбільш простий тип аларму, який часто використовується для моніторингу двійкових параметрів.
аналогові аларми
ґрунтуються на аналізі виходу значень змінної за встановлені межі (Hi, HiHi, Low, LoLo, Dev, ROC). Аларм активується, якщо значення параметра перевищує або опускається нижче зазначених меж.
аларми з міткою часу
Подібні до дискретних алармів, але з додатковою функцією точної прив'язки до часу події з роздільною здатністю до 1 мс. Це дозволяє встановити точний час активації аларму та допомагає виявити причинно-наслідкові зв'язки між подіями. Таймер зазвичай зчитує час із пристроїв введення/виведення.
складові аларми
Спрацьовують, коли результат виразу на мові програмування Cicode змінюється з FALSE на TRUE. Цей тип алармів є більш складним і вимагає більше часу на обробку. Велика кількість складових алармів може негативно вплинути на продуктивність системи, тому рекомендується їх використовувати лише тоді, коли інші типи не підходять.

2. Апаратні аларми: сигналізують оператору про несправності в обладнанні системи управління (СУ), таких як контролери, модулі введення/виведення, канали зв'язку тощо. Система Citect постійно проводить самодіагностику свого стану та стану периферійного обладнання. Якщо виявлено несправності, інформація про це автоматично виводиться на екран оператора. Ця функція є вбудованою і не потребує попереднього налаштування або конфігурації. Усі апаратні аларми відображаються на спеціальній сторінці під назвою "Hardware Alarm Page", що полегшує оператору контроль за станом системи.

Таким чином, система Citect забезпечує гнучкі можливості для моніторингу та діагностики різних типів несправностей і технологічних відхилень.

Висновки до розділу

1. Виконано обґрунтування вибору програмного забезпечення для для автоматизованої системи керування.

2. Обґрунтовано вибір ПЛК для системи керування.

3. Для реалізації процесу керування системою вентиляції та кондиціонування на базі ПЛК Siemens S7-1200, використовується мова Structured Text (ST).

4. Розроблена програма «Процес регулювання системи кондиціонування та вентиляції» на мові ST для ПЛК Siemens S7-1200.

5. Розроблена дисплейна мнемосхема процесу вентиляції та кондиціонування, де відображено всі основні елементи системи. Вона демонструє стан вентиляційних установок, положення заслонок, температуру на вході і виході з теплообмінників, а також поточний рівень споживання енергії.

ВИСНОВКИ

Автоматизовані системи керування мікрокліматом повинні виконувати: підігрів припливного повітря, його охолодження, а також забезпечення необхідної кількості повітря для підтримання комфортних умов у приміщенні.

Виконано аналіз основних системи вентиляції, які є найбільш поширеними: припливна система вентиляції, припливно-витяжна система вентиляції, та припливно-витяжна система з рекуперацією тепла.

Для багатозональних прецизійних вентиляційних систем найкращим вибором є використання системи з загальною підготовкою повітря і локальними температурними доводчиками для кожної окремої зони. Така система дозволяє точно контролювати і підтримувати задану температуру в кожній зоні окремо, незалежно від інших зон, забезпечуючи при цьому стабільну якість повітря в приміщеннях.

Розроблено структурну схему системи керування для підтримання мікроклімату в приміщенні багатоцільового складу та визначені основні елементи системи керування: складське приміщення, датчик температури, електрокалорифер та вітропровідник.

Розроблена динамічна модель складського приміщення. Система рівнянь, яка описує теплові процеси, дозволяє змодельовати кожен елемент динамічної моделі в просторі Лапласа.

Розроблено моделі та виконано моделювання процесів керування температурним режимом у приміщенні складу. В процесі виконання моделювання всі графіки наочно показують, як система реагує на різні фактори та дозволяють оцінити її ефективність у підтриманні стабільної температури у складському приміщенні.

З метою оцінки стійкості та точності системи, було проведено розрахунок апроксимованої моделі прецизійної системи регулювання температурного режиму відповідності на стійкість (грубість).

Використання технології заснованої на принципах нечіткої логіки є доцільним, тому що вона дозволяє вирішувати багатокритеріальні завдання, що містять низку невизначених або нечітких обмежень і цільових значень.

Розроблено алгоритм роботи системи керування мікрокліматом з урахуванням принципів нечіткої логіки. Він демонструє, як система адаптується до змін параметрів середовища, забезпечуючи точне та надійне регулювання мікроклімату у приміщенні.

Розроблено структуру і модель системи керування на основі нечіткої логіки. Розроблена модель дозволяє гнучко налаштовувати параметри регулятора та адаптувати систему під різні умови роботи, забезпечуючи високу точність і стабільність керування.

Виконано обґрунтування вибору ПЛК та програмного забезпечення для автоматизованої системи керування.

Розроблена програма «Процес регулювання системи кондиціонування та вентиляції» на мові ST для ПЛК Siemens S7-1200 та дисплейна мнемосхема процесу вентиляції та кондиціонування, де відображено всі основні елементи системи. Вона демонструє стан вентиляційних установок, положення заслонок, температуру на вході і виході з теплообмінників, а також поточний рівень споживання енергії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Трегуб В.Г. Проектування систем автоматизації : навч. посібник. К.: Ліра-К, 2014.
2. Нестеров А.Л. Проектування АСУТП. Книга 1. 2006. 844 с.
3. Нестеров А.Л. Проектування АСУТП. Книга 2. 2009. 944 с.
4. Голінко І. М., Галицька І.Є. Динамічна модель теплообміну для водяного калорифера у просторі станів. *Інформаційні системи, механіка та керування*. Київ. 2016. № 15, С. 83–92.
5. Голінко І.М., Галицька І.Є. Промислове приміщення як динамічний елемент системи керування штучним мікрокліматом. *Інформаційні системи, механіка та керування*. Київ 2018. № 18, С. 30–38.
6. Бондарь Є.С., Гордієнко О.С. Автоматизація систем вентиляції та кондиціонування повітря. Київ: ТОВ «Видавничий будинок «Аванпост-Прим», 2005. 560 с.
7. Лігоцький А.О., Голінко І.М. Динамічна модель електрокалорифера для виробничого приміщення: тези XIX Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених та студентів, м. Київ, 20-23 квітня 2021 р. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2021. Т. 2 – 24 с.
8. Автоматизація систем вентиляції та кондиціонування повітря / Є.С. Бондар, А.С. Гордієнко, В.А. Михайлов, Г.В. Німіч. К.: ТОВ "Аванпост - Прим" 2005-560с.
9. Кудин В.Ф., Торопов А.В. Квазиоптимальне керування системою приточної вентиляції з використанням сучасних комп'ютерних технологій. *Вісник університету «Україна»*, №8, Київ, 2010. с. 174-178.
10. Краснов Ю.С., Борисоглібська А.П., Антіпов А.В. Системи вентиляції та кондиціонування. Рекомендації щодо проектування, випробувань, налагодження. Термокул, 2004. 373 с.
11. Ельперін І.В. Промислові контролери : навч. посіб. К.: НУХТ. 2003.

320 с.

12. Обладнання Siemens. URL: <https://mall.industry.siemens.com/>
13. СКУД U-Prox IP400. URL: <https://access.u-prox.systems/>
14. Автоматизація виробничих процесів: підручник / І.В. Ельперін, О.М. Пупена, В.М. Сідлецький, С.М. Швед. К. : Видавництво Ліра-К, 2015. 378 с.
15. Ладанюк А.П., Архангельська К.С., Власенко Л.О. Теорія автоматичного керування технологічними об'єктами : навч. посіб. К.: НУХТ, 2014. 274 с.
16. Трегуб В.Г. Основи комп'ютерно-інтегрованого управління : навч. посіб. К.: НУХТ, 2006 139 с.
17. Гончаренко Б.М., Ладанюк А.П. Автоматизація виробничих процесів харчових технологій: підручник. К. : НУХТ, 2014. 600 с.
18. Системний аналіз складних систем управління : навч. посіб. / А.П. Ладанюк та ін. К., НУХТ, 2013. 276 с.
19. Ладанюк А.П. Конспект лекцій з дисципліни «Теорія автоматичного керування», ч.1 К.: НУХТ, 2004. 184 с.
20. Гончаренко Б.М., Лобок О.П., Ладанюк А.П. Цифрові системи керування: навч. посіб. Вінниця: Нова книга, 2007. 160 с.
21. Автоматизоване управління технологічними процесами. Конспект лекцій до вивчення дисципліни для студентів спеціальності 6.08040 „Інформаційні управляючі системи та технології” напряму підготовки 0804 “Комп'ютерні науки” ден. та заоч. форм навчання/ Уклад.: І.В.Ельперін, С.М.Швед. К: НУХТ, 2007. 71 с.
22. Луцька Н.М., Ладанюк А.П. Оптимальні та робастні системи керування технологічними об'єктами : монографія. К.: Видавництво ЛіраК, 2015. 288 с.
23. Пупена О.М., Ельперін І.В. Контролери та їх програмне забезпечення. Курс лекцій для студ. напр. 6.50202 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" денної та заочної форм навчання. Частина

3. К.: НУХТ, 2011. 48 с.

24. Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах: навчальний посібник / А.М. Пупена, І.В. Ельперін, Н.М. Луцька, А.П. Ладанюк. К.: Вид-во «Ліра-К», 2011. 552 с.

25. Пупена О.М. Промислові мережі та інтеграційні технології: курс лекцій для студ. напряму 6.050202 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» денної та заочної форм навчання. К.: НУХТ, 2011. 67 с.

26. Ладанюк А.П., Заєць Н.А., Власенко Л.О. Сучасні технології конструювання систем автоматизації складних об'єктів (мережеві структури, адаптація, діагностика та прогнозування) : монографія. К. : Видавництво Ліра-К, 2016. 312 с.

27. Chochowski, I. Chernyshenko, V. Kozyrskyi, V. Kyshenko, A. Ladaniuk, V. Lysenko, V. Reshetiuk, I. Smitiukh, V. Shtepa, V. Shcherbatiuk. К.: Tsentr Uchbovoii Literatury, 2014. 240 p.

28. Пупена О. М. Програмування промислових контролерів у середовищі Unity Pro: навч. посіб. Київ : Ліра-К, 2015. 376 с.

29. Кишенько В.Д. Інтелектуальні системи. Практикум. Київ : НУХТ, 2017. 67 с.

30. SIMATIC S7-1200 - будьте гнучкими завдяки комунікаційним можливостям. URL: <https://www.siemens.com/ua/uk/produkty/avtomatyzatsiya-promyslovosti/systemy-avtomatyzatsiyi/systemy-promyslovoyi-avtomatyzatsiyi-simatic/plc-kontrolery-simatic/simatic-s7-1200.html>

31. Маринич І.А., Тронь В.В. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи магістра для студентів спеціальності 151 “Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології”. Кривий Ріг : Видавничий центр КНУ, 2022. 50 с.

32. ДСТУ 3008:2015. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. Київ, ДП «УкрННЦ», 2015. 26с. (Інформація та документація).

33. ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні вимоги та

правила складання Київ, ДП «УкрННЦ», 2016. 16 с. (Інформація та документація).

34. ДСТУ 3582:2013. Бібліографічний опис. Скорочення слів і словосполучень в українській мові. Загальні вимоги та правила. Київ, ДП «УкрННЦ», 2013. 23 с. (Інформація та документація).

35. ДСТУ 3651.0-97 Метрологія. Одиниці фізичних величин. Основні одиниці фізичних величин Міжнародної системи одиниць. Основні положення, назви та позначення Київ, Держстандарт України, 1998. 27 с. (Інформація та документація).