

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”  
Теплоенергетичний факультет  
Кафедра автоматизації теплоенергетичних процесів

«На правах рукопису»  
УДК \_\_\_\_\_

«До захисту допущено»  
В.о.завідувача кафедри

\_\_\_\_\_ / **Володимир ВОЛОЩУК** /  
“ ” \_\_\_\_\_ 2020 р.

**Магістерська дисертація**  
на здобуття ступеня магістра

за освітньо-професійною програмою  
**“Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології  
кібер-енергетичних систем”**  
зі спеціальності  
**151“Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані  
технології”**

на тему: Автоматизована система керування параметрами мікроклімату в приміщенні з басейном з використанням вбудованого холоду

**Виконав:** студент ІІ курсу, групи ТА-391мп  
Шеремет Данило Віталійович  
(прізвище ім’я, по батькові)

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Науковий керівник** Асистент, к.т.н., Новіков Павло Валерійович  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали )

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Рецензент**

головний інженер Венгер Дмитро Володимирович  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали )

  
\_\_\_\_\_ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_

Київ – 2020 року

Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського”

Факультет Теплоенергетичний  
Кафедра Автоматизації теплоенергетичних процесів  
Рівень вищої освіти – другий(магістерський)

Спеціальність 151 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”

Освітньо-професійна програма (“Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології кібер-енергетичних систем”)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о.завідувача кафедри

\_\_\_\_\_  
(підпис) /Володимир ВОЛОЩУК/  
(імя, ПРІЗВИЩЕ)  
“ “ \_\_\_\_\_ 2020 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на магістерську дисертацію студенту**

**Шеремета Данила Віталійовича**

(прізвище, ім’я, по-батькові)

1. Тема дисертації Автоматизована система керування параметрами мікроклімату в приміщенні з басейном з використанням вбудованого холоду

науковий керівник дисертації Новіков Павло Валерійович, к.т.н.

(прізвище, ім’я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «6» грудня 2020 р. № 3248-с

2. Термін подання студентом дисертації «10» грудня 2020 р.

3. Об’єкт дослідження Припливно-витяжна система вентиляції з рекуперацією, рециркуляцією тепла і вбудованим холодом для приміщення з басейном

4. Вихідні дані

Система керування вентиляційною установкою з вбудованим холодом, стартап-проект даного рішення, оптимальні параметри ПІ регулятора для керування параметрами мікроклімату

5. Перелік завдань, які потрібно розробити

Огляд системи вентиляції як об’єкту дослідження. Розрахунок системи керування

для припливно-витяжної вентиляції з вбудованим холодом. Основні рішення з Автоматизації системи вентиляції. Розроблення стартап-проекту.

6. Орієнтований перелік графічного (ілюстративного) матеріалу  
Схема автоматизації функціональна.

7. Орієнтований перелік публікацій

8. Дата видачі завдання " 01 " вересня 2020 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	<i>Видача завдання</i>	01.09.2020	
2	<i>Розділ 1. Аналітичний огляд проблеми</i>	15.09.2020	
3	<i>Аркуш 1. Схема автоматизації функціональна</i>	21.09.2020	
4	<i>Розділ 2. Розрахунок системи регулювання (температура)</i>	05.10.2020	
5	<i>Розділ 2. Розрахунок системи регулювання (вологість)</i>	17.10.2020	
6	<i>Розділ 3. Розроблення системи нижнього рівня управління об'єктом</i>	24.10.2020	
7	<i>Розділ 3. Розроблення системи верхнього рівня управління об'єктом</i>	11.11.2020	
8	<i>Стартап-проект</i>	22.11.2020	
9	<i>Підпис керівника магістерської дисертації</i>	09.12.2020	
10	<i>Попередній захист магістерської дисертації</i>	10.12.2020	
11	<i>Захист</i>	23.12.2020	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (імя, ПРІЗВИЩЕ)

Науковий керівник дисертації

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (імя, ПРІЗВИЩЕ)

## **РЕФЕРАТ**

Магістерська дисертація складається зі вступу, 4 розділів, 2 додатків, висновку, списку використаних джерел і містить 66 рисунків, 47 таблиць. Повний обсяг магістерської дисертації 101 сторінка.

### **Актуальність теми**

Впровадження автоматизації вентиляційних установок є вирішальним фактором в підвищенні ефективності і надійності роботи вентиляційної системи, якості повітря в приміщенні, економії енергоресурсів, що витрачаються.

### **Мета і завдання роботи**

Мета роботи є розробка автоматизованої системи керування параметрами мікроклімату приміщенні з басейном з використанням вбудованого холоду.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- Виконати аналіз принципу роботи припливно – витяжної системи з рекуперацією тепла
- Розробити систему автоматичного регулювання температури і вологості повітря шляхом керування подачею фреону у вигляді газу на конденсатори і подачею фреону у вигляді рідини на випаровувач (система вбудованого холоду).

### **Об'єкт досліджень**

Об'єктом автоматизації є припливно-витяжна вентиляційна система з рекуперацією, рециркуляцією тепла і вбудованим холодом, яка використовується в приміщеннях з басейном. Предметом в даній роботі є основні параметри приміщення, які необхідно контролювати, а саме: температура і вологість повітря в приміщенні.

### **Наукова новизна отриманих результатів**

В роботі було створено систему “вбудованого холоду” для отримання максимального КПД вентиляційної установки. Також розглянуто систему керування з моделлю предиктора Сміта.

### **Практичне значення отриманих результатів**

Застосування результатів роботи у впровадженні системи автоматизації вентиляційної установки MC-20POOL для басейного приміщення спортивного комплексу SportLife, компанією ТОВ “АСМ”.

## **ABSTRACT**

The master's dissertation consists of an introduction, 4 sections, a conclusion, a list of references from 11 titles, 2 appendices, a conclusion, a list of used sources. and contains 60 figures, 40 tables. The full volume of the master's dissertation is 100 pages.

### **Actuality of theme**

The introduction of automation of ventilation systems is a decisive factor in improving the efficiency and reliability of the ventilation system, indoor air quality, energy savings.

### **The purpose and objectives of the work**

The purpose of the work is to develop an automated control system for the microclimate parameters of the room with a swimming pool using the built-in cold.

To achieve this goal it is necessary to solve the following tasks:

-Perform the analysis of the principle of operation of the supply and exhaust system with heat recovery

-Develop a system of automatic regulation of temperature and humidity by controlling the supply of freon in the form of gas to the condensers and the supply of freon in the form of liquid to the evaporator (built-in cold system)

### **Object of research**

The object of automation is a supply and exhaust ventilation system with recuperation, heat recirculation and built-in cold, which is used in rooms with a swimming pool.

The subject in this work are the main parameters of the room that need to be controlled, namely: temperature and humidity in the room.

### **Scientific novelty of the obtained results**

The system of "built-in cold" was created to obtain the maximum efficiency of the ventilation system. A control system with a Smith predictor model is also considered.

### **The practical significance of the results**

Application of results of work in the implemented systems of automation of the MC-20POOL ventilation installation for the pool room of the SportLife sports complex by the ASM LLC company.

## ЗМІСТ

<b>РОЗДІЛ 1 .....</b>	<b>8</b>
<b>АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ПРОБЛЕМИ .....</b>	<b>8</b>
1.1 Загальна постановка задачі.....	8
1.2 Керування типовими теплообмінниками.....	2
1.3 Характеристика технологічного об'єкту управління .....	11
1.4 Основні технологічні параметри.....	15
1.5 Призначення і функції створюваної системи .....	16
1.6 Вимоги до реалізації функцій системи керування об'єктом .....	20
<b>РОЗДІЛ 2 .....</b>	<b>21</b>
<b>РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ .....</b>	<b>21</b>
2.1. Розрахунок каскадної системи регулювання.....	43
2.1.1 Розрахунок параметрів регулятора по температурі повітря .....	44
2.1.2 Розрахунок параметрів регулятора по вологості повітря .....	50
2.2 Розрахунок параметрів регулятора для одноконтурної системи.....	56
2.2.1 Розрахунок параметрів регулятора по температурі повітря .....	56
2.2.2 Розрахунок параметрів регулятора по вологості повітря .....	64
2.3 Модель об'єкта з Предиктором Сміта .....	71
2.4 Порівняння перехідних процесів .....	77
Висновки .....	79
<b>РОЗДІЛ 3 .....</b>	<b>21</b>
<b>РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТОМ.....</b>	<b>21</b>
3.1 Функціональна структура ПТКЗА .....	21
3.1.1 Формулювання вимог до ПТКЗА .....	21
3.1.2 Опис інформаційного забезпечення ПТКЗА .....	23
3.1.3 Розробка структури ПТКЗА .....	28
3.2 Розрахунок надійності реалізації функцій АСР .....	36
3.2.1 Вимоги до надійності реалізації функцій АСР.....	36
3.2.2 Структурні схеми надійності .....	36
3.2.3 Розрахунок надійності функціонування АСК .....	37
3.3 Опис програмно-технічних рішень нижнього і верхнього рівня ПТКЗА....	80

3.3.1 Взаємодія SCADA-системи з нижнім рівнем автоматизації.....	80
3.3.2 Опис програмного забезпечення локального рівня ПТКЗА .....	81
3.3.3 Робота з меню контролера через виносний дисплей.....	82
3.3.4 Опис програмного забезпечення супервізорного рівня ПТКЗА.....	84
<b>РОЗДІЛ 4.....</b>	<b>87</b>
<b>РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ .....</b>	<b>87</b>
4.1 Опис ідеї проекту .....	87
4.2 Технічний аудит ідеї проекту.....	88
4.3 Розробка ринкової стратегії проекту .....	95
4.4 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	97
<b>ВИСНОВОК.....</b>	<b>100</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....</b>	<b>101</b>

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ПРОБЛЕМИ

#### 1.1 Загальна постановка задачі

Життєвий досвід і наукові дослідження показують, що людський організм має великі потенційні резерви для фізичної і розумової діяльності. Для використання цих резервів необхідні благоприємні умови, а саме – чистота, температура і вологість повітря. Данні параметри можуть підтримуватись в необхідних межах системами вентиляції і кондиціонування (СКВ) повітря. Якісна робота системи вентиляції і кондиціонування, точність підтримання параметрів повітря, зниження експлуатаційних витрат і термінів окупності кліматичного обладнання в більшій мірі залежать від алгоритмів роботи і апаратурної реалізації системи автоматизації. Крім того, система автоматизації, виконуючи діагностичні та захисні функції, не допускають вихід з ладу дорогого обладнання.

Відомо, що найбільші складності в управлінні технологічними процесами виникають, коли регулюючі параметри обмежені багатомірною областю, наприклад “многокутником”. Саме таким чином виглядають вихідні вимоги до системи вентиляції та кондиціонування при представленні їх термодинамічними моделями. Алгоритми керування системами вентиляції і кондиціонування повинні передбачити порядок переміщення і зміни параметрів повітря в області, обмеженою цим многокутником, тобто здійснювати перехід вихідної множини цих параметрів (зовнішнє повітря) в нову множину параметрів (повітря, яке подається у приміщення). При цьому, такий процес повинен проходити оптимальним шляхом. Так, експлуатаційні витрати будуть мінімальні, якщо в холодний період року стан повітря, яке подається в приміщення, буде підтримуватись на рівні мінімально допустимої ентальпії, а в теплий період – на рівні максимально допустимої. Виходячи з цих та інших критеріїв, обирається технологічний процес стабілізації параметрів, алгоритмів і обладнання як в системі вентиляції та кондиціонування, так і в системі автоматизації.

В останній час з'явилися приципово нові методи управління вентиляційними установками. Одним із видів таких установок – вбудованого холоду. Принцип вбудованого холоду побудований на одночасному регулюванні температури і вологості повітря і забезпечення найвищого КПД вентиляційної установки. Зазвичай, для керування температурою і вологістю повітря використовують конденсатор (нагрів) і випаровувач (охолодження). Керування

здійснюється за допомогою компресорно-конденсаторного блоку з зовнішнім блоком для утилізації тепла з холодильного контуру. Вбудований холод дозволяє утилізувати тепло з холодильного контуру на потреби гарячого водопостачання приміщення з басейном.

Мета роботи полягає в тому, щоб розробити оптимальну систему керування для припливно – витяжної вентиляції з рекуперацією і рециркуляцією тепла, а також систему керування з вбудованим холодом.

## 1.2 Керування типовими теплообмінниками

Для регулювання температурою повітря використовуються два методи: плавне регулювання електричним нагрівачем або витратою теплоносія у вигляді гарячої води, що подається на калорифер

### Керування витратою теплоносія

На вхід контролера подається сигнал завдання температури повітря і поточний сигнал температури, отриманого з датчика ТЕ. Відбувається подальше регулювання шляхом зміни витрати теплоносія. Також в системі використовується насос для циркуляції теплоносія в калорифері. Використовуючи лінійний клапан, буде отримано лінійне управління калорифером. Основний недолік методу – загроза замерзання воли в трубах теплообмінника при малій вистраті теплоносія, що може призвести до руйнування калорифера.

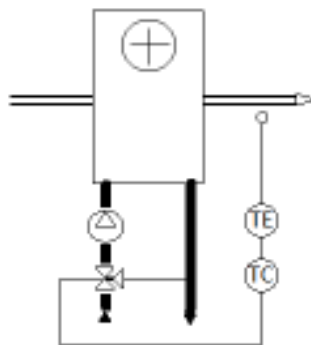


Рис.1.1 Регулювання за допомогою калорифера

### Керування теплообмінником з електричним нагрівом

Повітря у припливному каналі нагрівається за допомогою теплового електричного нагрівача (ТЕН), який може бути представлений декількома ступенями з різними значеннями потужності. Регулювання потужності здійснюється за рахунок плавної зміни потужності електронагріву шляхом

використання проміжного реле. Такий метод використовується при відсутності водопостачання.

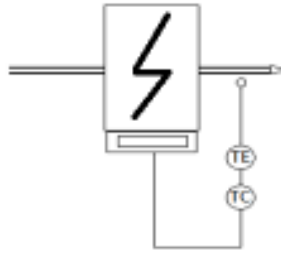


Рис.1.2 Регулювання за допомогою ТЕН

### 1.3 Характеристика технологічного об'єкту управління

Басейн - це приміщення для різних спортивних заходів і звичайного дозвілля. Основні вимоги до такого приміщення пред'являються, до чистоти і якості повітря. Першу проблему дуже легко вирішити, а з подоланням другої можуть виникнути значні питання.

Застій повітря в приміщенні може привести:

- До появи неприємних запахів;
- Можуть розвиватися хвороботворні бактерії і різні інфекції. Це збільшить ризик захворювань серед відвідувачів і персоналу;
- Спортсмен в таких умовах може відчувати слабкість, швидку стомлюваність, задишку;
- Результати спортсменів при тренуваннях в некомфортних умовах можуть істотно знизитися;
- Велика вологість може стати причиною утворення цвілі і призведе до псування спортивного інвентарю;
- Неправильно підібрана вентиляція басейну може стати причиною великих експлуатаційних витрат;
- В кінцевому підсумку, басейн можуть покинути частина її клієнтів.

Тому власникам приміщень з басейном слід врахувати, що створення оптимальної системи керування мікрокліматом - головне завдання. Основним завданням даного проекту є створення комфортної температури і вологості повітря для відвідувачів басейну через реалізацію припливно-витяжної вентиляція з рекуперацією, рециркуляцією тепла і вбудованим холодом.

Припливно-витяжна вентиляція має два канали, по яким рухається повітря: приплив і відтік.

Приплив - це поступання свіжого повітря з вулиці. Установа забирає свіже повітря для обробки, а саме: пропускає через повітряний вентиляційний фільтр для очищення, підігріває за допомогою перехресного рекуператора, калорифера або конденсатора, в разі потреби – охолоджує за допомогою випаровувача і направляє його в приміщення будинку.

Відтік - це відведення відпрацьованого повітря з приміщення басейну. Установа збирає повітря з приміщення, пропускає його через систему рекуперації, де забирає необхідну для підігріву вхідного повітря кількість тепла, фільтрує для запобігання забрудненню навколишнього середовища, а потім відводить відпрацьоване повітря на вулицю.

Обидва потоки повітря рухаються в системі одночасно, але при цьому вони не змішуються. Вони проходять через перехресний рекуператор, де відбувається теплообмін - тепле відпрацьоване повітря, виходячи з дому, віддає 50-60% свого тепла вхідному потоку. Таким чином можна економити на системі постачання гарячої води.

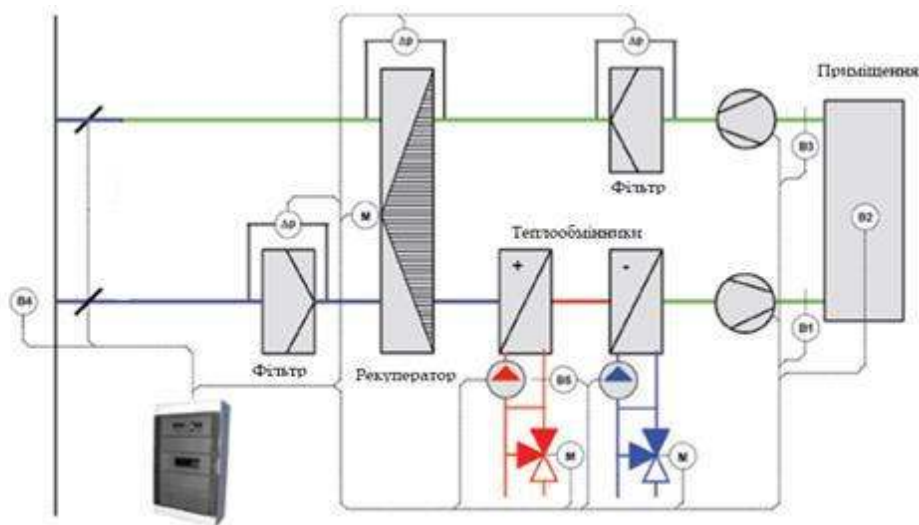


Рис.1.3. Схема припливно-витяжної вентиляції з рекуперацією тепла

Встановлений в припливному каналі теплообмінник складається з мідної труби і алюмінієвих ребер товщиною 0,1-0,2 мм. Коефіцієнт тепловіддачі теплообмінника залежить від швидкості руху повітря, теплообміну зі сторони повітря і зі сторони теплоносія, ефективності ребер та ін. При температурі поверхні теплообмінника нижче точки роси, частина пару води, яка міститься в повітрі, конденсується, осідаючи на його поверхню. Якщо температура

теплообмінника знижується до  $0^{\circ}\text{C}$ , на ньому утворюється іній. В результаті цього зменшується коефіцієнт тепловіддачі і процес утворення інію прискорюється. Для запобігання цьому при проектуванні необхідно правильно обирати відстань між пластинам і в процесі експлуатації періодично проводити відтанення інію. Саме відтанення відбувається автоматично. Теплоносієм нагрівального теплообмінника є гаряча вода, яка постачається від теплоносія або системи ГВП. Теплоносієм охолоджувального теплообмінника – холодна вода, яка постачається від холодоносія або системи ХВП. Автоматизація відповідних установок описується управлінням трьохходовим змішувальним клапаном, який управляє подачею теплоносія на теплообмінник.

Принцип роботи контуру вбудованого холоду заснований на фізичному законі перенесення енергії при переході речовини з одного агрегатного стану в інше. У трубопроводах вбудованого холоду знаходиться фреон в газоподібному і в рідкому стані. При зміні стану фреону або будь-якої речовини з рідкої стадії в інший агрегатний стан, відбувається поглинання теплової енергії. Контур вбудованого холоду, зображений на Рис. 1.4 складається з компресорів, де VS- основний, FS- резервний. Компресори створюють нагнітання, при якому зростає тиск і температура фреону. Потік фреону в вигляді газу регулюється трьохходовим клапаном, який здійснює подачу по каналу А – на конденсатор фреон-повітря, який встановлено в припливному каналі для нагріву повітря. По каналу В здійснюється подача фреону на конденсатор фреон-вода, який встановлюється для підігріву води, котра подається на систему ГВП будівлі з басейном. Клапан Уh здійснює

регулювання витрати цієї води. З конденсаторів фреон виходить у вигляді рідини, яка подається на випаровувач для охолодження повітря. Випаровувач встановлюється в витяжному каналі після рекуператора. Регулювання поддачі розпорошення води на випаровувач здійснюється за допомогою клапану ТС – електронний розширювальний вентиль. З випаровувача фреон виходить у вигляді газу і подається на компресора, після чого цикл повторюється. Також у даному контурі здійснюється контроль основних параметрів фреону – температура і тиск.

Конденсатори завжди працюють позмінно. Конденсатор фреон-повітря працює лише коли потрібно виконати нагрів повітря, при цьому подача фреону на інший конденсатор не здійснюється. Конденсатор фреон-вода зазвичай працює літом, коли немає необхідності виконувати нагрів повітря, а тільки охолодження у випаровувачі.

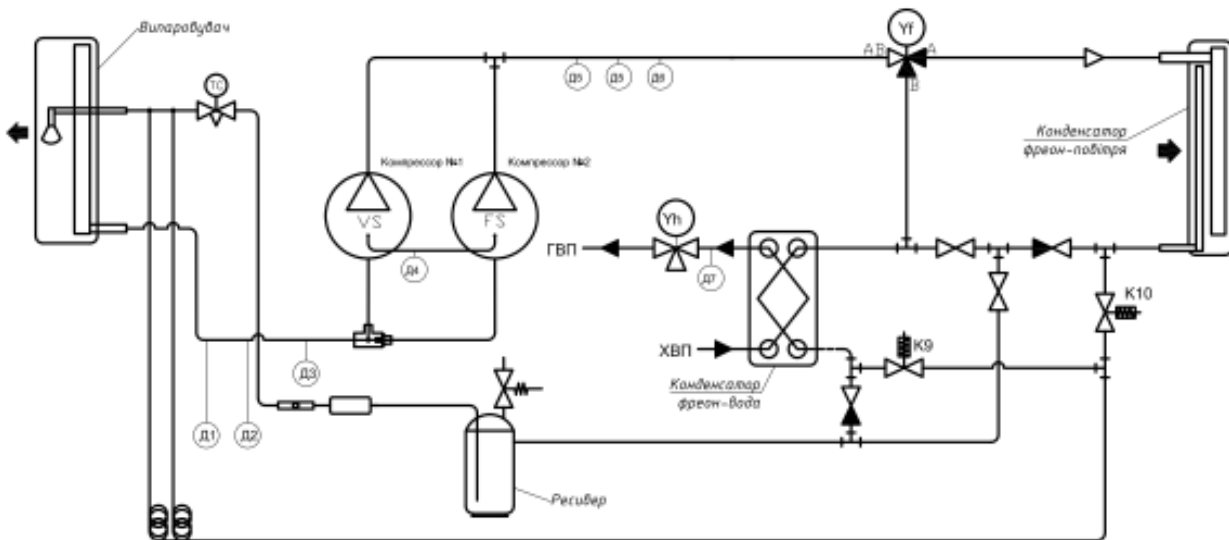


Рис 1.4 Схема контуру вбудованого холоду

Автоматизація процесу рекуперації повітря здійснюється за допомогою перехресного рекуператора. Перехресні рекуператори відносяться до класу регенеративних теплообмінників. У перехресному теплообміннику передача тепла від гарячого повітря до холодного здійснюється через теплообмінник, який встановлений між двома незалежними конурами припливного і витяжного повітря що складається з пакету тонких металевих пластин. Витяжне повітря нагріває пластини, після чого вони через теплообмінник передають тепло в потік припливного каналу. В приміщеннях з високим значенням вологості в основному використовується пластинчатий рекуператор. Один із його недоліків – в зимню пору року йому загрожує обмерзання, тому в припливному каналі встановлений байпас рекуператора і термостат для запобігання його обмерзання. Автоматизація роботи пристрою досягається керуванням заслінкою байпасу.

В даній системі рециркуляція повітря використовується з метою зменшення втрат тепла. Частина видаленого повітря поступає в камеру змішування, де змішується з припливним повітрям. Температура змішаного повітря визначається температурою зовнішнього і видаленого повітря, а також їх кількістю. Регулювання кількості змішаного і припливного повітря здійснюється за допомогою трьох заслінок: припливної, витяжної і рециркуляційної. Заслінки в припливних каналах повинні працювати синфазно, а в рециркуляційному каналі – протифазно, відносно витяжної і припливної. Це дозволяє реалізувати будь-яку степінь рециркуляції від 0% до 100%. В даній системі відношення положення припливної і витяжної заслінки до рециркуляційної має відношення 20% до 80%.

Обов'язкова складова системи вентиляції басейну це фільтри в припливному і витяжному каналах. Їх основне завдання полягає в тому, щоб

перешкоджати попадання пилу і бруду в приміщення, а також на вентиляційні установки (вентилятори, рекуператор, теплообмінники). У витяжному каналі установка фільтру обов'язкова для запобігання забрудненню рекуператора і навколишнього середовища.

Вентилятор це також обов'язкова складова будь-якої вентиляційної установки. Витрата повітря сягає до 20000 м<sup>3</sup>/год для приміщення об'ємом 2000 м<sup>3</sup>. Для високошвидкісних вентиляторів передбачені шумоглушники.

Сучасне приміщення повинно бути обладнаним протипожежною системою, яка має сповіщати людей про виникнення пожежі. Сама ж система вентиляції повинна реагувати на це і припиняти подачу повітря в приміщення для запобігання швидкого поширення вогню.

В систему додатково встановлюється термостат низьких температур для запобігання замерзання теплообмінника в холодний період року. В термостаті підтримується постійна температура теплоносія, яке заповнює термостат. Досліджуване тіло при цьому знаходиться в контакті з теплоносієм і має його температуру. В випадку системи цього проекту це калорифер.

#### 1.4 Основні технологічні параметри

В таблиці 1.1 представлено основні технологічні параметри, при дотриманні яких система привлівно-витяжної вентиляції буде працювати без перебою.

Таблиця 1.1 Технічні характеристики

№	Найменування показників	Одиниці	Величина
1	Температура повітря на вході в систему	°C	від -40 до +40
2	Вологість повітря на вході в систему	%	від 0 до 100
4	Перепад тиску на фільтрі припливного каналу	Па	від 30 до 50
5	Перепад тиску на фільтрі витяжного каналу	Па	від 0 до 100
6	Температура повітря в приміщенні	°C	від 25 до 28
7	Перепад тиску на вентиляторі припливного каналу	Па	від 0 до 150

8	Перепад тиску на вентиляторі витяжного каналу	Па	від 50 до 100
10	Вологість повітря в приміщенні	%	від 60 до 75
11	Протипожежна сигналізація	реле	0
12	Температура води на виході з калорифера	°С	від 50 до 65
13	Температура всмоктування фреону	°С	від -15 до -10
14	Тиск всмоктування фреону	мПа	0,3
15	Температура води на виході з конденсатора фреон-вода	°С	від 65 до 90
16	Тиск нагнітання фреону	мПа	30
17	Температура нагнітання фреону	°С	від 70 до 80
18	Аварійно низький тиск фреону	мПа	0.2
19	Аварійно високий тиск фреону	мПа	40

## 1.5 Призначення і функції створюваної системи

### Призначеннями розробленої системи є:

-Підтримання комфортної температури повітря в приміщенні з басейном у зимній та літній період року;

-Підтримання комфортної вологості повітря в приміщенні з басейном у зимній та літній період року;

-Керування регулюючим органом калорифера в автоматичному та ручному режимі;

-Реалізація функцій технологічного захисту і блокування, а також сигналізації;

-Здійснення обміну даними з верхнім рівнем SCADA АСУ ТП;

-Відображення інформації про роботу вентиляційної установки та можливість керування через WEB-сервер та на локальному сенсорному дисплеї - панелі керування;

Об'єктом автоматизації є вентиляційна установка MC-20POOL з вбудованим холодом. Основною вимогою є ефективність, надійність та безпечна робота. Автоматизація вентиляційної установки повинна забезпечувати такі функції:

### Функція контролю

Контролю підлягають такі параметри:

#### 1) Контроль засмічення фільтр

Для очищення припливного і витяжного повітря від пилу та сторонніх предметів встановлено фільтри. З часом фільтри засмічуються, після чого зростає навантаження на двигуни. Для

контролю засмічення фільтрів встановлюються пресостати (реле тиску), на яких задається аварійне значення перепаду тиску до і після фільтру. (встановлено критичне значення 150 Па). У разі спрацювання датчиків, його контакт замикається і передає сигнал на щит автоматизації.

#### 2) Контроль двигунів вентиляторів

Для контролю роботи двигуна використовується пресостат, на яких задається аварійне значення перепаду тиску до і після двигуна (встановлено критичне значення 100 Па та час розгону двигуна 10 секунд). У разі спрацювання датчиків, його контакт розмикається і передає сигнал на щит автоматизації

Також здійснюється контроль таких параметрів

- 1) Температура зовнішнього повітря;
- 2) Вологість зовнішнього повітря;
- 3) Температура повітря в припливному каналі;
- 4) Вологість повітря в припливному каналі
- 5) Температура води на виході з калорифера;
- 6) Температура води на виході з конденсатора фреон-вода;
- 7) Температура нагнітання фреону;
- 8) Тиск нагнітання фреону;
- 9) Температура всмоктування фреону;
- 10) Тиск всмоктування фреону;

### Функція регулювання

В даній системі регулюються два основних параметри:

1) Температура і вологість повітря в приміщенні;

Під час функціонування системи температура припливного повітря підтримується на рівні 25-28 ° С та вологістю 60-75%. Сигнал з датчика температури припливного повітря надходить на вхід ПІ регулятора контролера, який виробляє керуючі сигнали на клапани калорифера, конденсатора фреон-повітря і електронного розширювального клапану. У зимовий період роботи повітря підігрівается, а в літній – охолоджується. Вологість повітря регулюється шляхом охолодження у випаровувачі, а після – нагрівом у конденсаторі фреон-повітря до заданого значення.

Для досягнення значень цих параметрів також здійснюється регулювання:

- 1) Витрату теплоносія (води), яка подається на калорифер
- 2) Витрату теплоносія (води), яка подається на конденсатор фреон-вода;
- 3) Витрату повітря байпасу рекуператора;
- 4) Витрату повітря рециркуляції;
- 5) Витрату припливного повітря;
- 6) Витрату витяжного повітря;
- 7) Витрату газоподібного фреону, який подається на конденсатори
- 8) Витрату рідкого фреону, який подається на випаровувач;
- 9) Потужність припливного вентилятора;
- 10) Потужність витяжного вентилятора;
- 11) Потужність основного компресору.

#### Функція сигналізації

Технологічна сигналізація використовується для попередження оперативного персоналу про:

- Втрату напруги в системі живлення;
- Вихід фізичних величин за межі, які позначають надійність роботи технічного обладнання;
- Вихід фізичних величин за межі, які позначають безпеку роботи технічного обладнання (аварійна технологічна сигналізація);
- Відмову окремих частин вентиляційної установки
- Попередження на спрацювання технологічного захисту та блокування.

Відображення сигналізації забезпечується для таких параметрів:

- 1) Температура теплоносія на виході з конденсатору фреон-вода;
- 2) Температура теплоносія на виході з калорифера;
- 3) Перепад тиску на фільтрах;
- 4) Перепад тиску на вентиляторах;
- 5) Відображення сигналу “Пожежа” ;
- 6) Низька температура повітря після калорифера;
- 7) Низька температура повітря у витяжному каналі на виході з рекуператора;
- 8) Сигнал аварії від частотного перетворювача компресора;
- 9) Сигнал аварії клапану електронного розширювального вентиляю;
- 10) Аварійно низький тиск фреону перед компресорами;
- 11) Аварійно високий тиск фреону після компресорів.

#### Функція блокування та захисту

Технологічний захист та блокування передбачений для запобігання аварії обладнання у випадку відхилення параметрів від допустимих, або при відмові окремих елементів автоматизації. Технологічний захист також служить для безпечної праці обслуговуючого персоналу та запобігання аварій.

В данній системі представлено такі функції блокування та захисту:

- Відключення вентиляційної установки при замиканні контакту “Пожежа”, який надійшов з пульта пожежної сигналізації;
- Закриття повітряного клапану і зменшення потужності вентиляторів у разі низької температури на виході з калорифера і в разі спрацювання термостату в припливному каналі для запобігання його обмерзання
- Відкриття заслінки байпасу рекуператора в максимальне положення при спрацюванні термостату в витяжному каналі для запобігання його обмерзання
- Захист двигуна від перегріву статора і ротора за допомогою частотного перетворювача, в наявності якого близько 10 захисних елементів для двигунів.

- Захист перехресного рекуператора від обмерзання за допомогою датчика-реле тиску, після спрацювання якого буде спрацьовувати алгоритм розмороження рекуператора

## **1.6 Вимоги до реалізації функцій системи керування об'єктом**

Для нормальної безаварійної роботи вентиляційної установки в процесі експлуатації необхідно дотримуватись певних вимог до керування технологічним процесом і вибору параметрів, які описують стан об'єкта керування.

Контроль і сигналізація параметрів, при відхиленні яких досягається аварійний стан обладнання, необхідно контролювати і відображати в системах візуалізації технологічних параметрів в мікропроцесорних програмно-логічних контролерах.

Керування системою автоматизації повинно здійснюватися повністю у двох режимах – автоматичному і ручному (частково). Ручний режим керування повинен здійснюватись з виносного дисплею з візуалізацією технологічного процесу.

## РОЗДІЛ 2

### РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ

#### 2.1 Розрахунок каскадної системи регулювання

Для більш оптимального ведення економічності процесу подачі теплого повітря в приміщення з басейном на заданому рівні, можливо реалізувати каскадну схему управління. Каскадна система регулювання є однією з поширених систем регулювання з однією величиною, що регулюється в якій вводиться додаткова стабілізація деякої проміжної величини додатковим регулятором. Така система складається з двох контурів (внутрішній контур – стабілізуючий, зовнішній – коригуючий).

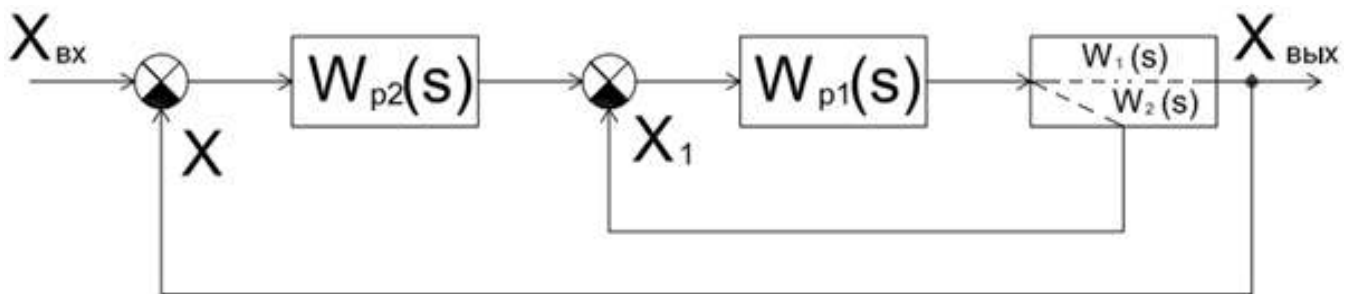


Рис. 2.1. Структурна схема каскадної АСР

де:

$W(S) P1$  - Передавальна функція стабілізуючого регулятора;

$W(S) P2$  - Передавальна функція корегуючого регулятора;

$W(S) 1$  - Передавальна функція об'єкта за інерційним контуром;

$W(S) 2$  - Передавальна функція об'єкта за випереджаючим контуром.

Регулятор P2 контролює основну величину  $X$  і при її відхиленні впливає не на регулюючий орган, а на завдання регулятора P1. Регулятор P1, підтримує на заданому значенні допоміжну величину  $X_1$ . Така система є двоконтурною. Внутрішній контур, створений  $W(S) P1$  і  $W(S) 2$  є стабілізуючим. Зовнішній контур, створений  $W(S) P2$  і  $W(S) 1$  є коригувальним. Розрахунок оптимальних налаштувань регуляторів по температурі і вологості повітря для каскадної АСР будемо проводити в наступній послідовності:

- 1) Визначаємо налаштування регулятора випереджаючого контуру.
- 2) Визначаємо передавальну функцію для еквівалентного об'єкта, за якою визначаємо налаштування регулятора для зовнішнього контуру

### 2.1.1 Розрахунок каскадної системи регулювання по температурі повітря

Передаточні функції об'єктів для роботи:

Для регулятора температури повітря:

1) Випереджаючий контур

$$W_{\text{ін}}(p) = \frac{0.4}{20p + 1} e^{-12p}$$

2) Інерційна частина

$$W_{\text{вип}}(p) = \frac{0.4}{100p + 1} e^{-12p}$$

Для регулятора вологості повітря:

3) Інерційна частина

$$W_{\text{ін}}(p) = \frac{0.75}{50p + 1} e^{-15p}$$

4) Випереджаючий контур

$$W_{\text{вип}}(p) = \frac{1.05}{10p + 1} e^{-17p}$$

Розрахунок стабілізуючого регулятора методом РАФХ

Задамо степінь коливання  $\psi = 0,95$  , тоді  $m = 0,495$  ( $\psi = 1 - e^{-2pm}$ )

m-файл Matlab:

```
clear, clc;
```

```
m=0.495;
```

```

w=0:0.001:0.14;
p=w.*(-m+1i);
Wo=(0.4./(20.*p+1)).*exp(-12.*p);
Re=real(Wo);
Im=imag(Wo);
A=(Re.^2+Im.^2);
Ku=-(w.*(m.^2+1).*Im)./A;
Kp=(-m*Im-Re)./A;
figure
plot(Kp,Ku);
grid on;
hold on;
xlabel('Kp');
ylabel('Ku');

```

Результат роботи коду:

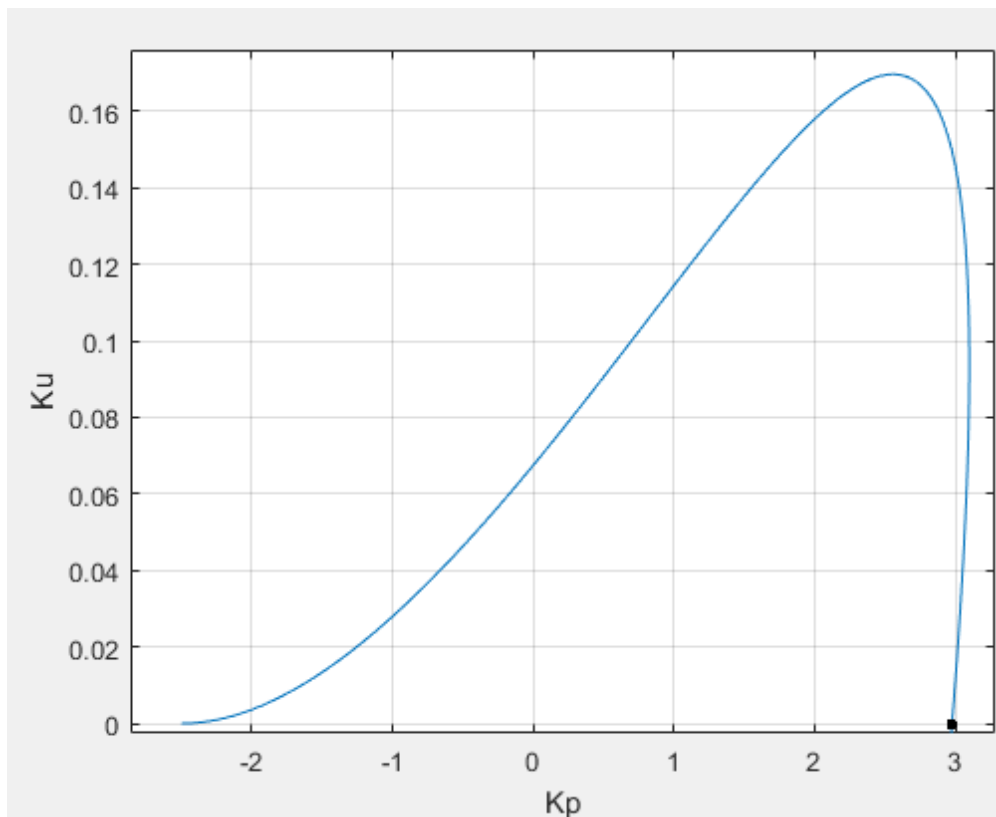


Рис 2.2 Визначення параметрів стабілізуючого регулятора методом РАФХ

На рисунку 2.2 показана границя ступеню коливальності для  $m=0,495$ . Літературні джерела рекомендують для даної САР використовувати каскадну систему із внутрішнім П-регулятором. Отже, оберемо на кривій точку на перетині з віссю  $K_p$ , саме у ній відсутні Т-складова.

Параметри для П-регулятора:

$$K_{p\_opt} = 2.977$$

Розрахуємо параметри налаштувань зовнішнього регулятора:

$$W_{екв} = \frac{W_{p\_ст} * W_{ин}}{1 + W_{p\_ст} * W_{оп}}, \text{ де } W_{p\_ст} - \text{ передаточна функція випереджаючого регулятора}$$

Побудуємо границю заданого ступеню коливальності. Для цього за допомогою середовища Matlab напишемо програму:

m-файл Matlab:

```
clear, clc;
m=0.495;
w=0:0.0001:0.3;
p=w.*(-m+1i);
Wun=(0.4./(100.*p+1)).*exp(-12.*p);
Won=(0.4./(20.*p+1)).*exp(-12.*p);
Wp_stab=2.977;
We=(Wp_stab.*Wun)./(1+Wp_stab.*Won);
Re=real(We);
Im=imag(We);
A=(Re.^2+Im.^2);
Ku=-(w.*(m.^2+1).*Im)./A;
Kp=(-m*Im-Re)./A;
figure
plot(Kp, Ku);
```

```

grid on;
hold on;
xlabel('Kp');
ylabel('Ku');
Ku_max=0;
Kp_opt=0;
for i=1:length(Ku)
    if Ku(i)>Ku_max
        Ku_max=Ku(i);
    end
    if Ku(i)<Ku_max && abs(0.95*Ku_max-Ku(i))<0.0001
        Kp_opt=Kp(i);
    end
end
Ku_opt=0.95*Ku_max;
plot(Kp_opt,Ku_opt,'*r');

```

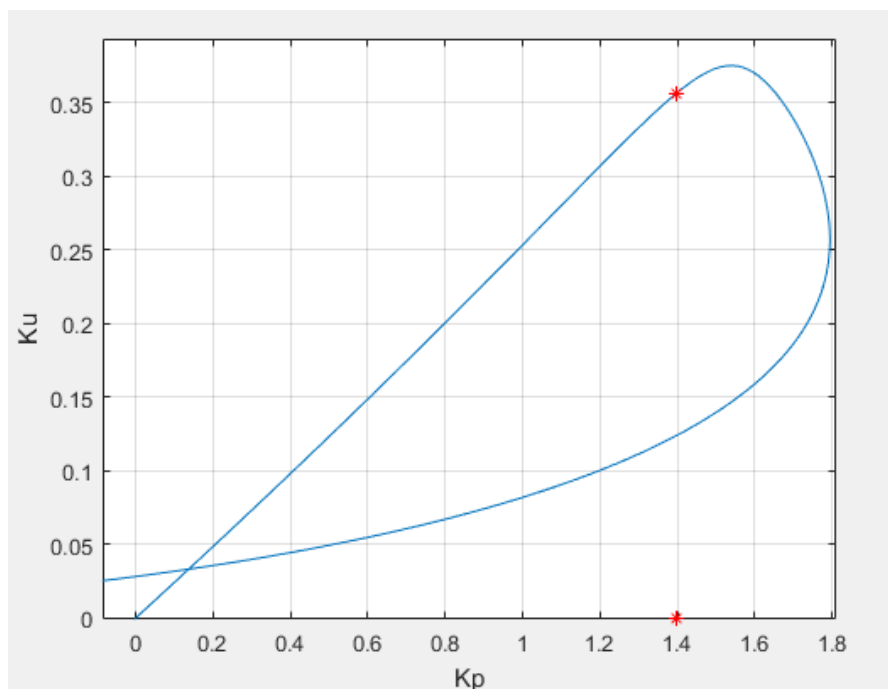


Рис 2.3 Визначення параметрів коригуючого ПІ регулятора методом РАФХ

Параметри коригуючого ПІ-регулятора:

$Kp_{opt} = 1.397$

$$K_{u\_opt} = 0.3561$$

$$T_{u\_opt} = 3.92$$

$$W_{per}(p) = 1.397 \left( 1 + \frac{1}{3.92p} \right)$$

Перехідні процеси в системі з отриманими налаштуваннями регуляторів:

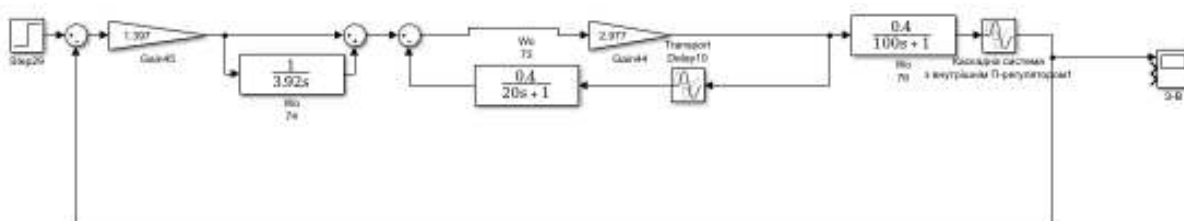


Рис 2.4 Структурна схема по каналу завдання – вихід (температура)

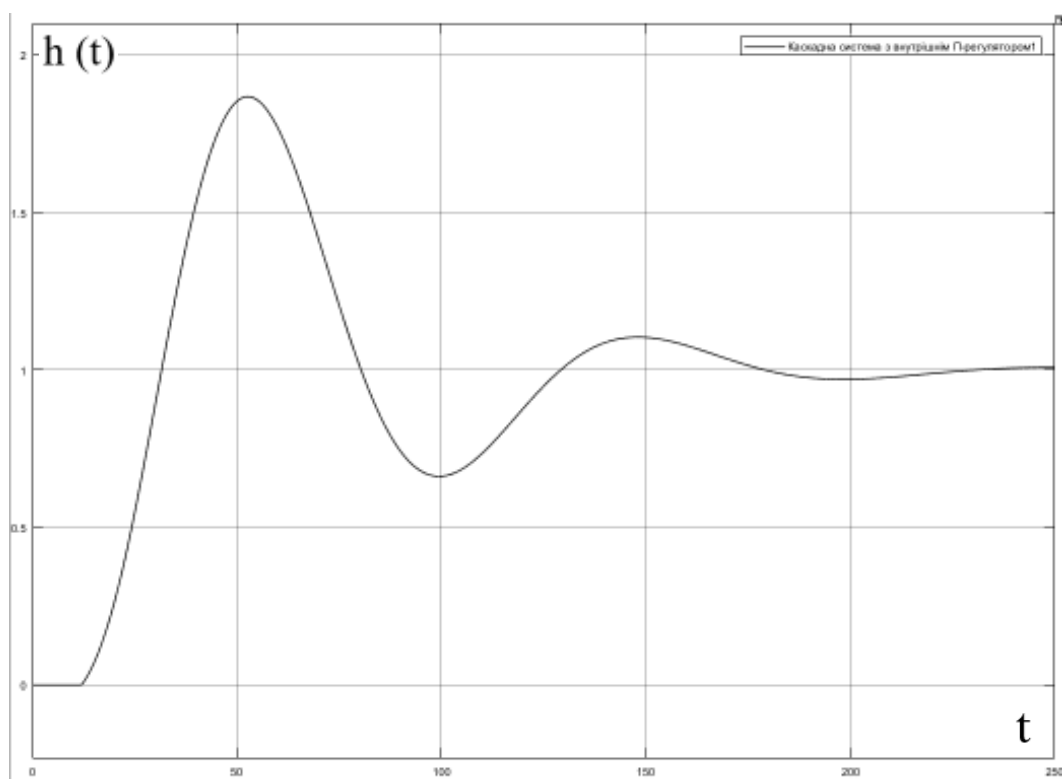


Рис 2.5 Перехідна характеристика по каналу завдання-вихід

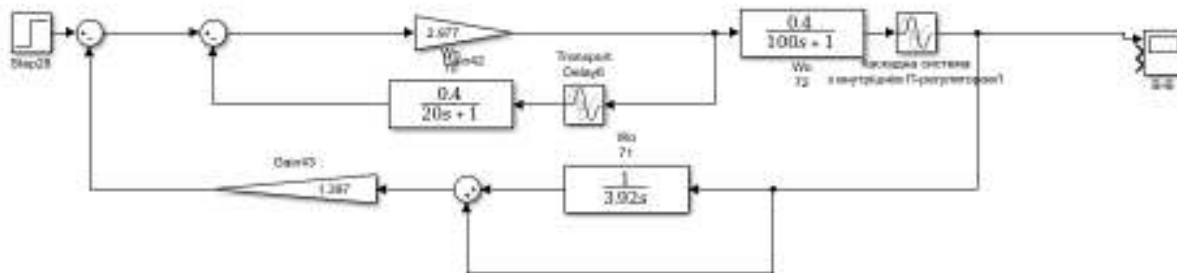


Рис 2.6 Структурна схема по каналу збурення – вихід (температура)

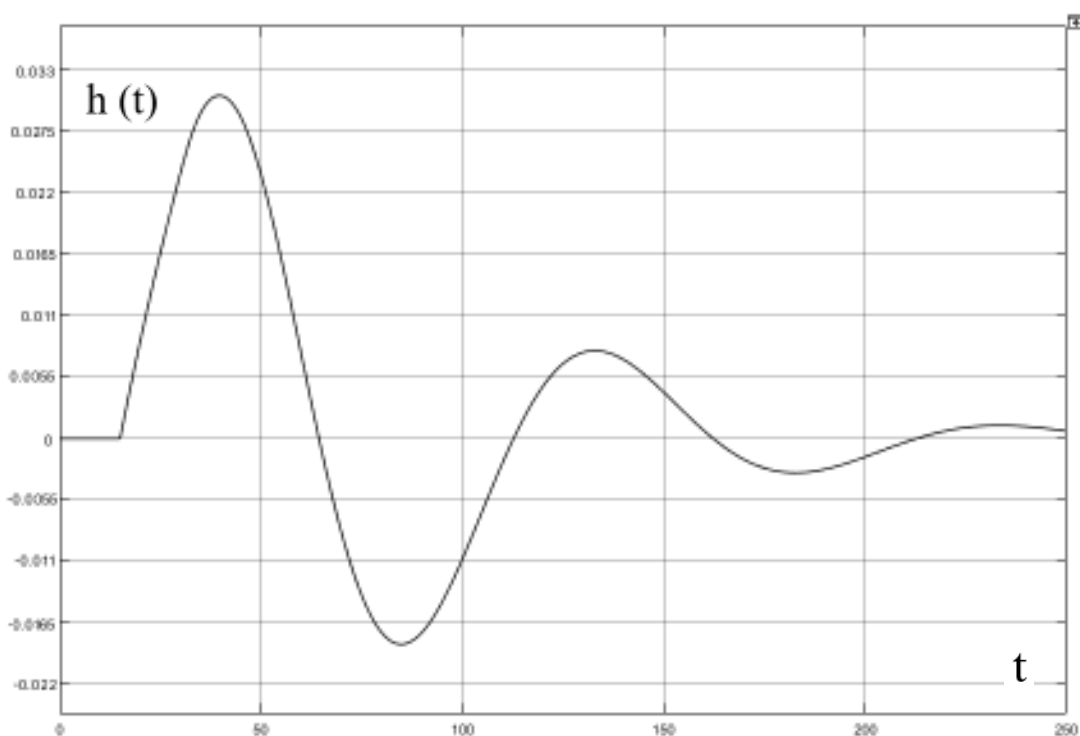


Рис 2.7 Перехідна характеристика по каналу збурення-вихід

Порахуємо прямі показники якості перехідного процесу по каналам завдання-вихід і збурення-вихід за формулами:

Канал збурення- вихід

$$\Delta_{ст} = y_{уст} - y_{зад}$$

$$y_{дин} = y_{max} - y_{уст}$$

$$t_p (\varepsilon = 0.05 * y_{max})$$

$$\psi = \frac{(y_1 - y_3)}{y_1}$$

Канал завдання-вихід

$$\Delta_{ст} = y_{уст} - y_{зад}$$

$$y_{дин} = y_{max} - y_{уст}$$

$$t_p (\varepsilon = 0.05 * y_{уст})$$

$$\psi = \frac{(y_1 - y_3)}{y_1}$$

$$\sigma = \frac{y_2}{y_1} * 100\%$$

$$\sigma = \frac{y_{\text{дин}}}{y(\infty)} * 100\%$$

Результати розрахунків представлені в таблиці 3.8

Таблиця 3.8 Показники якості по каналам

Показники якості	Канал	
	Завдання-вихід	Збурення-вихід
Статична похибка	0	0
Динамічна похибка	0,867	0,03
Час регулювання	165	152
Показник затухання	0,885	0.789
Перерегулювання, %	86,7	59,5

### 2.1.2 Розрахунок каскадної системи регулювання по вологості повітря

Розрахунок стабілізуючого регулятора методом РАФХ

Задамо степінь коливання  $\psi = 0,95$ , тоді  $m = 0,495$  ( $\psi = 1 - e^{-2\pi m}$ )

m-файл Matlab:

```
clear, clc;
m=0.495;
w=0:0.001:0.21;
p=w.*(-m+1i);
Wo=(1.05./(10.*p+1)).*exp(-17.*p);
Re=real(Wo);
Im=imag(Wo);
A=(Re.^2+Im.^2);
Ku=-(w.*(m.^2+1).*Im)./A;
Kp=(-m*Im-Re)./A;
figure
plot(Kp, Ku);
grid on;
hold on;
xlabel('Kp');
ylabel('Ku');
```

Результат роботи коду:

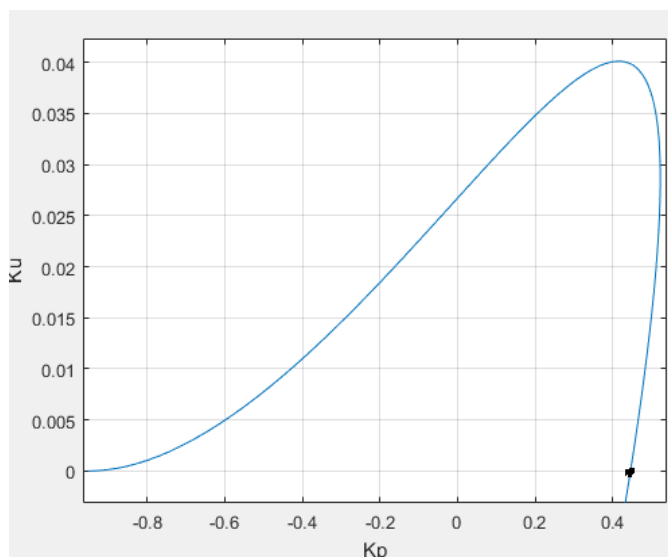


Рис 2.8 Визначення параметрів стабілізуючого регулятора методом РАФХ

На рисунку 2.8 показана границя ступеню коливальності для  $m=0,495$ . Літературні джерела рекомендують для даної САР використовувати каскадну систему із внутрішнім П-регулятором. Отже, оберемо на кривій точку на перетині з віссю  $K_p$ , саме у ній відсутні Т-складова.

Параметри для П-регулятора:

$$K_{p\_opt} = 0.445$$

Розрахуємо параметри налаштувань зовнішнього регулятора:

$$W_{екв} = \frac{W_{р\ ст} * W_{ин}}{1 + W_{р\ ст} * W_{оп}}, \text{ де } W_{р\ ст} - \text{ передаточна функція випереджаючого регулятора}$$

Побудуємо границю заданого ступеню коливальності. Для цього за допомогою середовища Matlab напишемо програму

### m-файл Matlab:

```

clear, clc;
m=0.495;
w=0:0.0001:0.3;
p=w.*(-m+1i);
Wun=(0.75./(50.*p+1)).*exp(-15.*p);
Won=(1.05./(10.*p+1)).*exp(-17.*p);
Wp_stab=0.445;
We=(Wp_stab.*Wun)./(1+Wp_stab.*Won);
Re=real(We);
Im=imag(We);
A=(Re.^2+Im.^2);
Ku=-(w.*(m.^2+1).*Im)./A;
Kp=(-m*Im-Re)./A;
figure
plot(Kp, Ku);
grid on;
hold on;
xlabel('Kp');
ylabel('Ku');
Ku_max=0;
Kp_opt=0;
for i=1:length(Ku)
    if Ku(i)>Ku_max
        Ku_max=Ku(i);
    end
    if Ku(i)<Ku_max && abs(0.95*Ku_max-Ku(i))<0.001
        Kp_opt=Kp(i);
    end
end
Ku_opt=0.95*Ku_max;
plot(Kp_opt, Ku_opt, '*r');

```

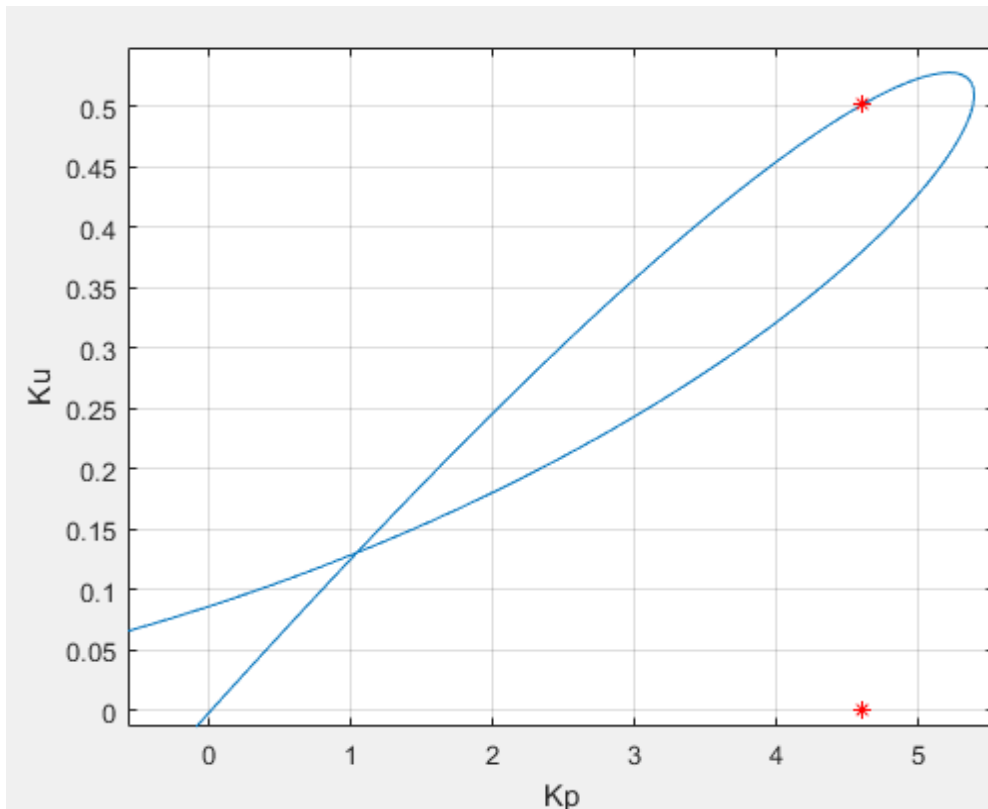


Рис 2.9 Визначення параметрів коригуючого ПІ регулятора методом РАФХ

Параметри коригуючого ПІ-регулятора:

$$K_p_{opt} = 4.6$$

$$T_u_{opt} = 9.2$$

Перехідні процеси в системі з отриманими налаштуваннями регуляторів:

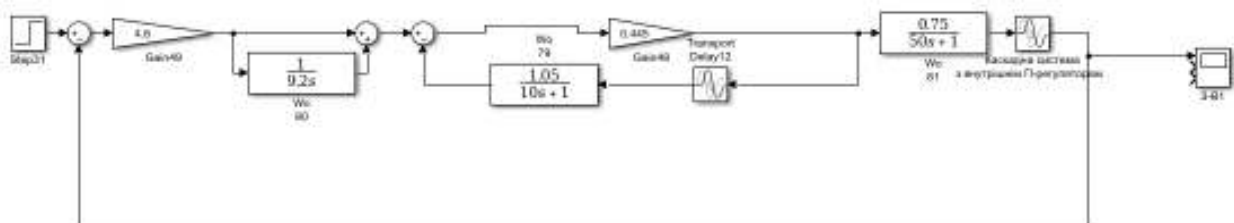


Рис 2.10 Структурна схема по каналу завдання – вихід (вологість)

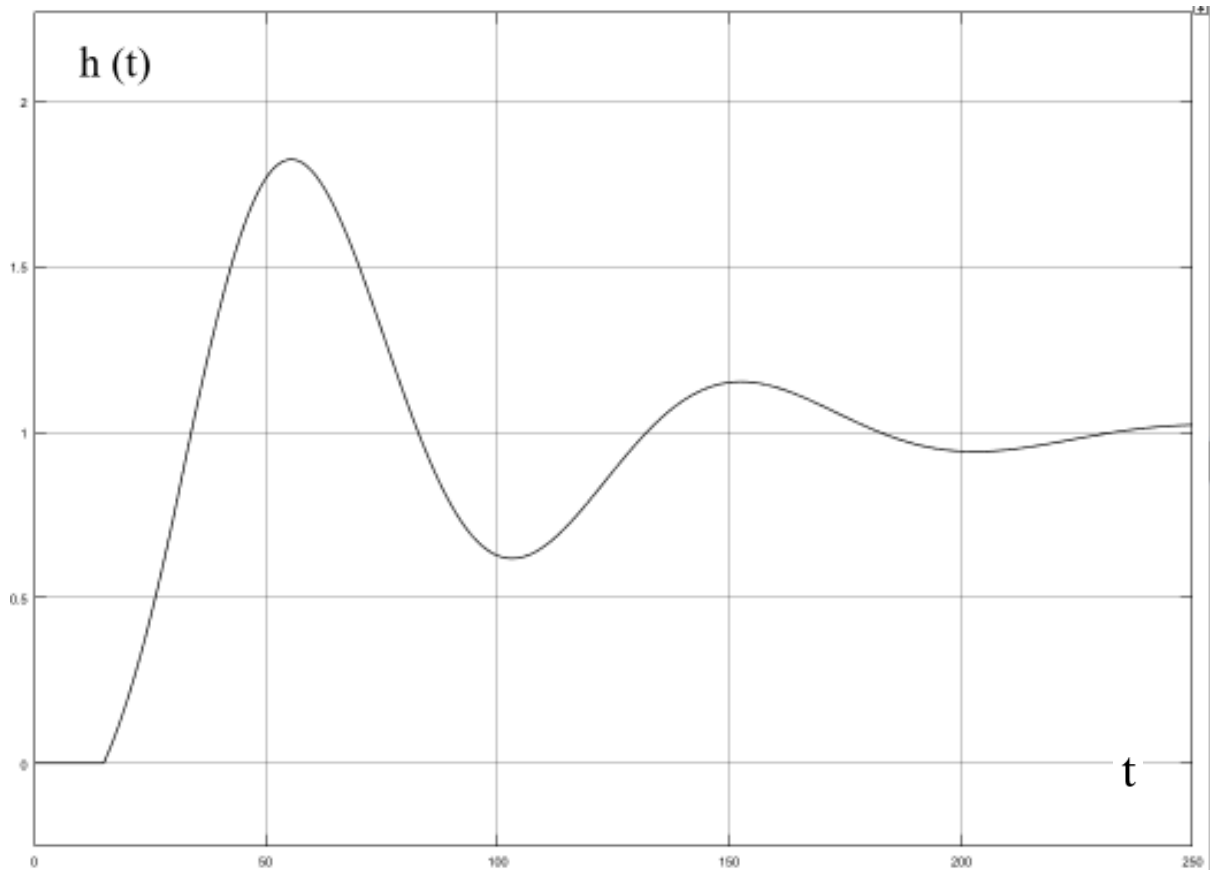


Рис 2.11 Перехідна характеристика по каналу завдання-вихід

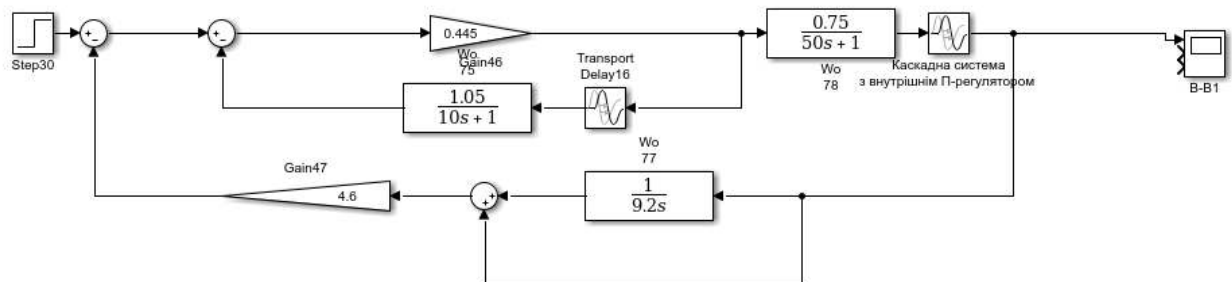


Рис 2.12 Структурна схема по каналу збурення – вихід (вологість)

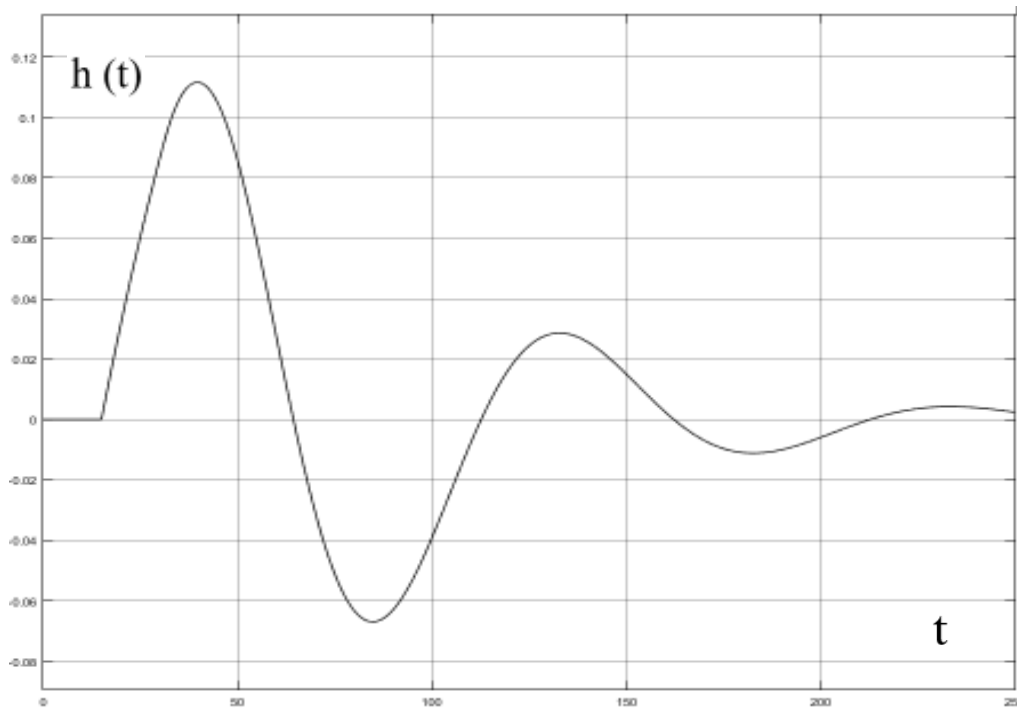


Рис 2.13 Перехідна характеристика по каналу збурення-вихід

Порахуємо прямі показники якості перехідного процесу по каналам завдання-вихід і збурення-вихід. Результати розрахунків представлені в таблиці 3.9

Таблиця 3.9 Показники якості по каналам

Показники якості	Канал	
	Завдання-вихід	Збурення-вихід
Статична похибка	0	0
Динамічна похибка	0,82	0,18
Час регулювання	195	174
Показник затухання	0,815	0.84
Перерегулювання ,%	82	39

### 3.2 Розрахунок параметрів регулятора для одноконтурної системи

Для розрахунку параметрів ПІ регулятора необхідно провести розрахунок для одноконтурної САУ інерційного об'єкту.

#### 2.2.1 Розрахунок параметрів регулятора по температури повітря

Розрахунок регулятора методом РАФХ (температура)

Задамо степінь коливання  $\psi = 0,95$ , тоді  $m = 0,495(\psi = 1 - e^{-2\pi m})$

m-файл Matlab:

```
clear, clc;
m=0.495;
w=0:0.001:0.12;
p=w.*(-m+1i);
Wo=(0.4./(100.*p+1)).*exp(-12.*p);
Re=real(Wo);
Im=imag(Wo);
A=(Re.^2+Im.^2);
Ku=-(w.*(m.^2+1).*Im)./A;
Kp=(-m*Im-Re)./A;
figure
plot(Kp, Ku);
grid on;
hold on;
xlabel('Kp');
ylabel('Ku');
Ku_max=0;
Kp_opt=0;
for i=1:length(Ku)
    if Ku(i)>Ku_max
        Ku_max=Ku(i);
    end
    if Ku(i)<Ku_max && abs(0.95*Ku_max-Ku(i))<0.0001
        Kp_opt=Kp(i);
    end
end
```

```
end
Ku_opt=0.95*Ku_max;
Tu_opt=Kp_opt/Ku_opt;
plot(Kp_opt,Ku_opt,'*r');
plot(16.2225,0,'*g');
```

Результат роботи коду:

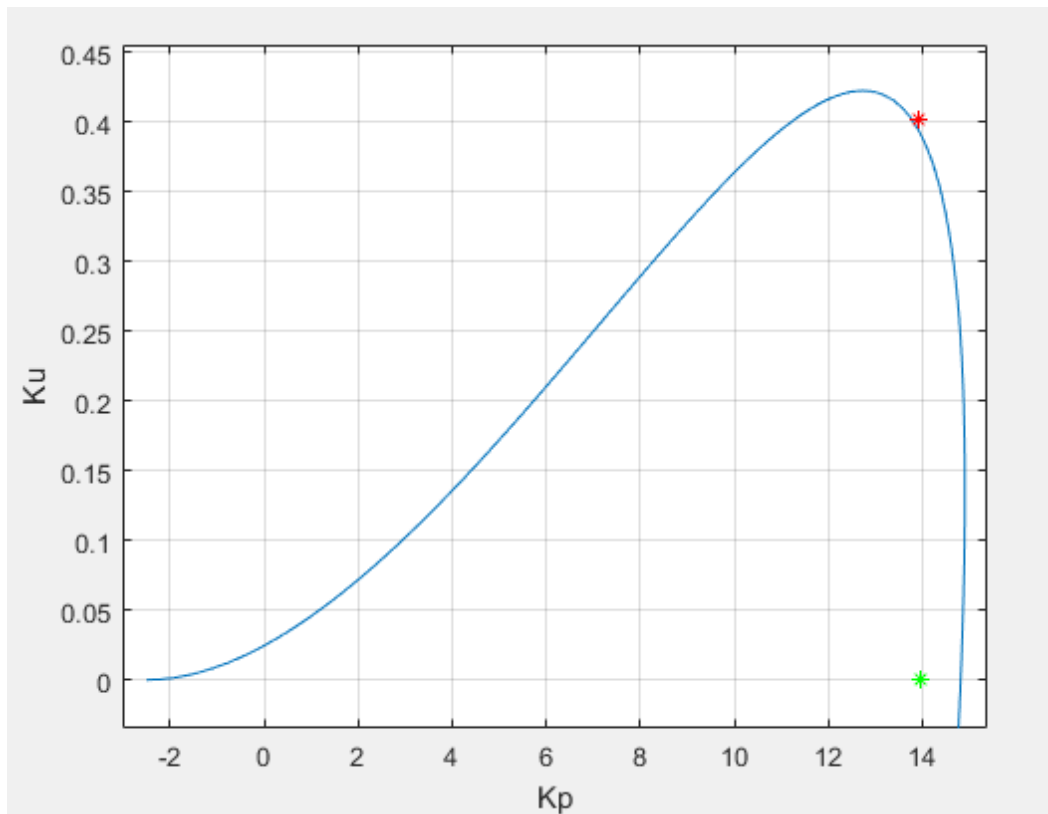


Рис 2.15 Визначення параметрів стабілізуючого регулятора методом РАФХ

На рисунку 2.14 показана границя ступеню коливальності для  $m=0,495$ .

Параметри для ПІ - регулятора:

$$K_p = 13.77$$

$$T_u = 34.34$$

Перехідні процеси в системі з отриманими налаштуваннями регуляторів:

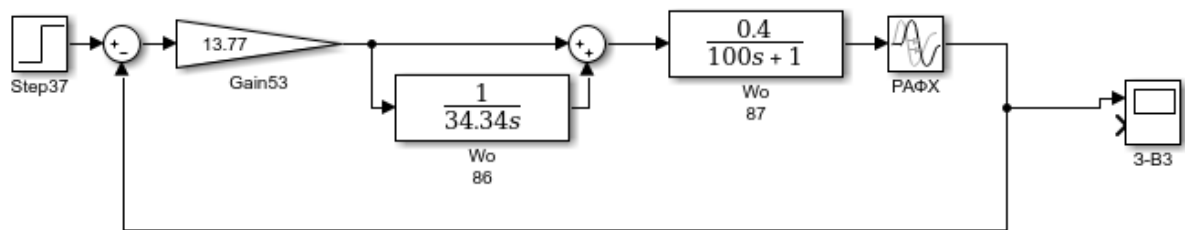


Рис 2.15 Структурна схема по каналу завдання – вихід (температура)

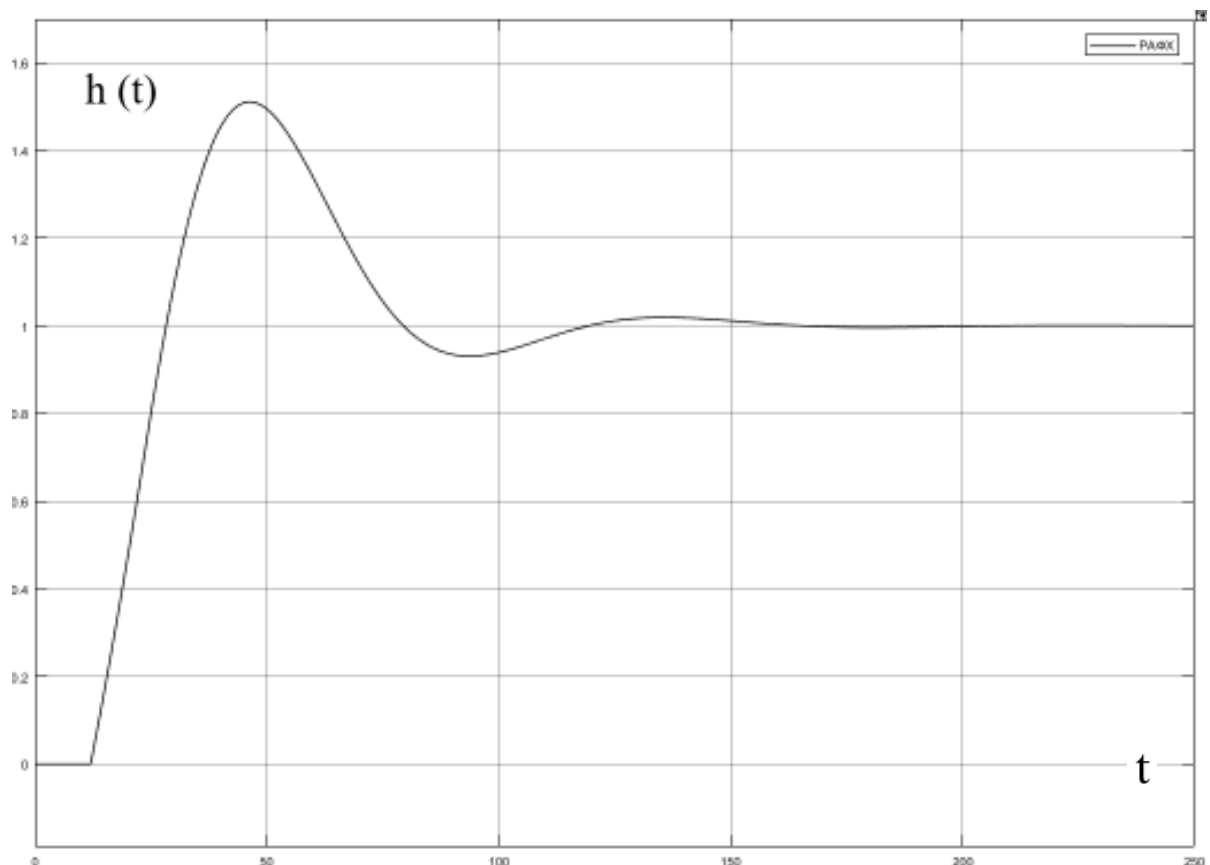


Рис 2.16 Перехідна характеристика по каналу завдання-вихід

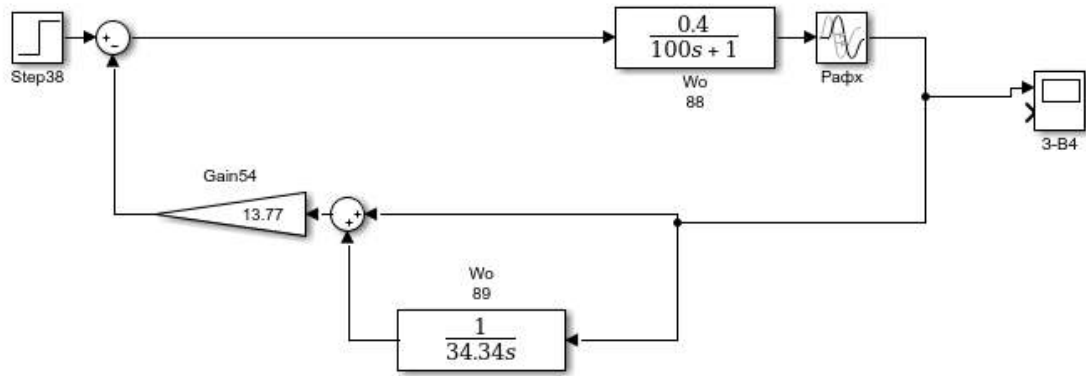


Рис 2.17 Структурна схема по каналу збурення – вихід (температура)

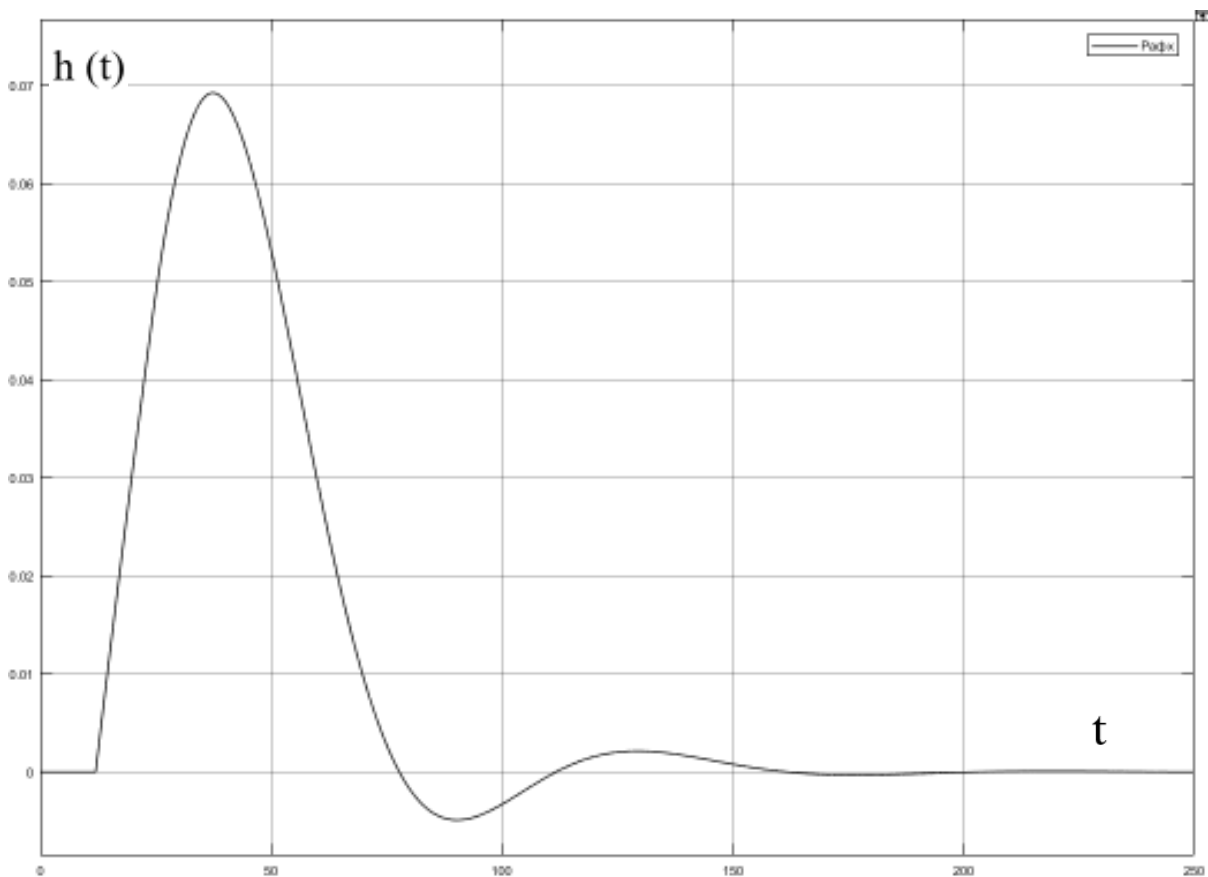


Рис 2.18 Перехідна характеристика по каналу збурення-вихід

Порахуємо прямі показники якості перехідного процесу по каналам завдання-вихід і збурення-вихід. Результати розрахунків представлені в таблиці 3.10

Таблиця 3.10 Показники якості по каналам

Показники якості	Канал	
	Завдання-вихід	Збурення-вихід
Статична похибка	0	0
Динамічна похибка	0,51	0,069
Час регулювання	104	100
Показник затухання	0,961	0.971
Перерегулювання ,%	51	7,3

Розрахунок регулятора методом експрес методом (ПІ-регулятор)

Метод з 20% перерегулюванням

$$K_p = \frac{0.7 * T_{об}}{K_{об} * \tau} = \frac{0.7 * 100}{0.4 * 12} = 14.58$$

$$T_u = 0.7 * T_{об} = 70$$

Перехідні процеси в системі з отриманими налаштуваннями регуляторів:

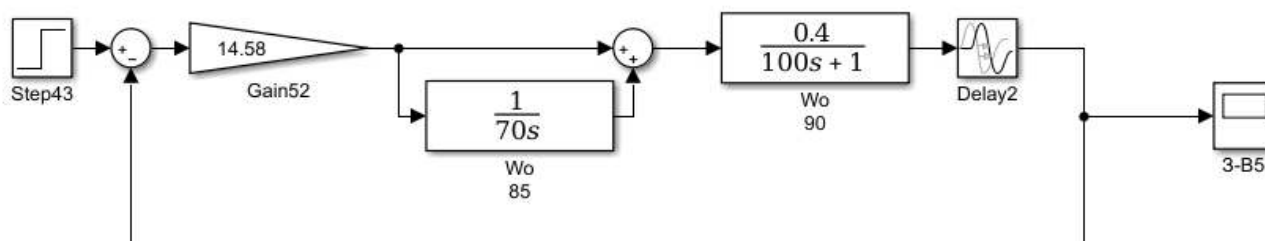


Рис 2.19 Структурна схема по каналу завдання – вихід (температура)

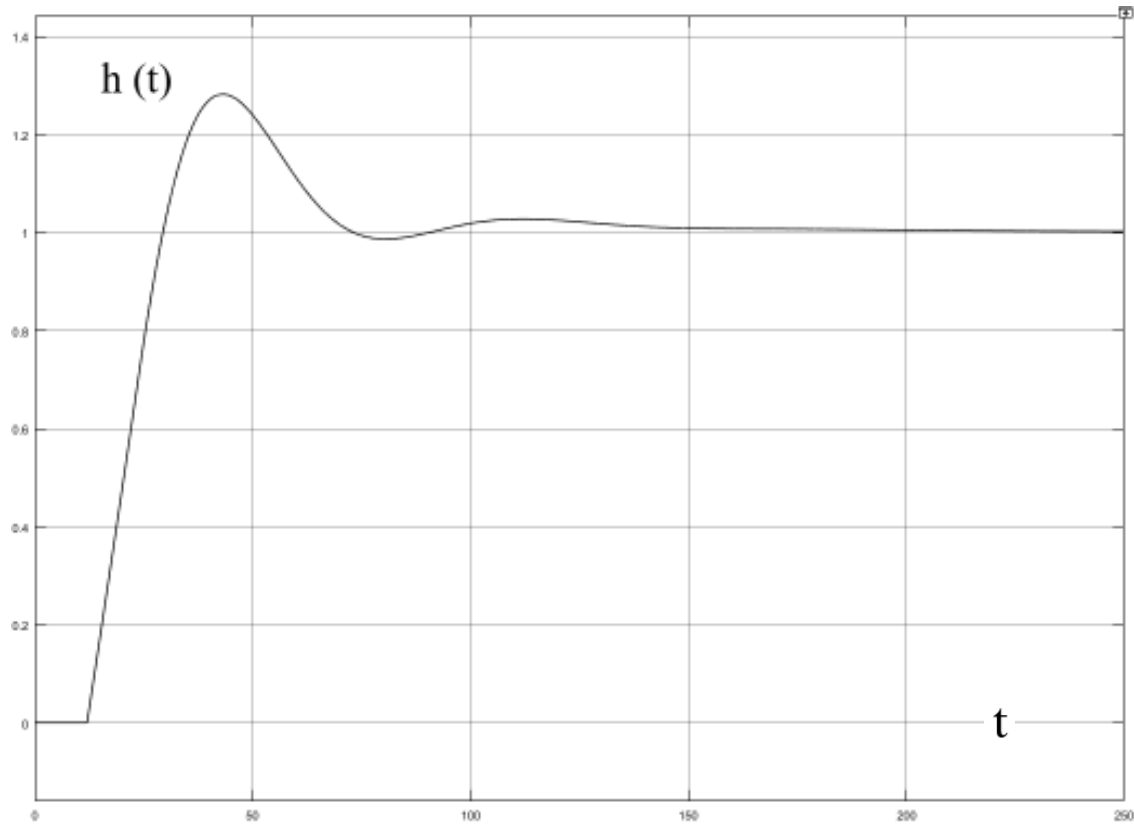


Рис 2.20 Перехідна характеристика по каналу завдання-вихід

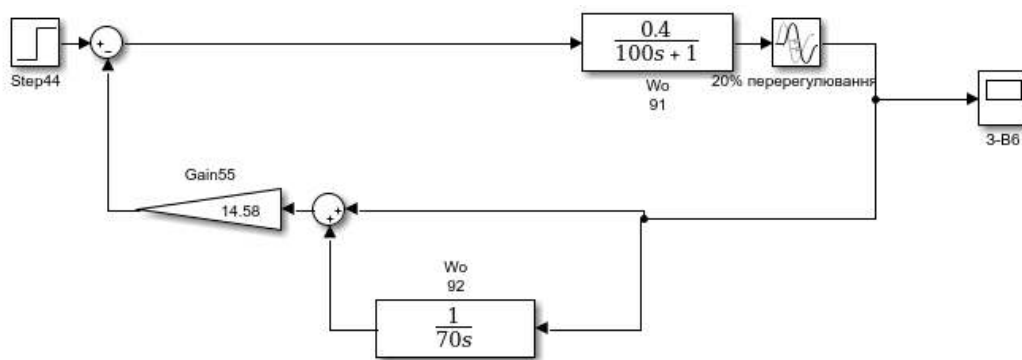


Рис 2.21 Структурна схема по каналу збурення – вихід (температура)

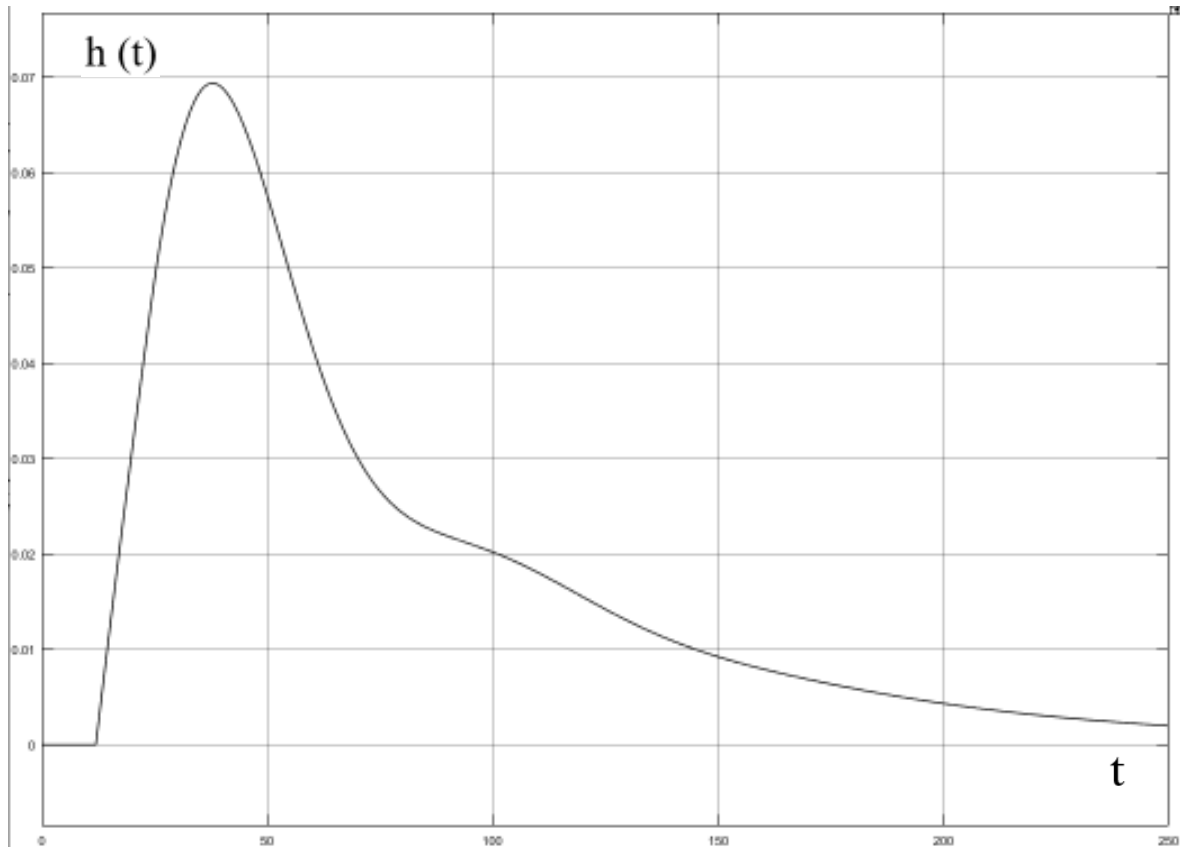


Рис 2.22 Перехідна характеристика по каналу збурення-вихід

Порахуємо прямі показники якості перехідного процесу з параметрами кожного методу . Результати розрахунків представлені в таблиці 3.11

Таблиця 3.11 Показники якості по каналам

Показники якості	Канал	
	Завдання-вихід	Збурення-вихід
Статична похибка	0	0
Динамічна похибка	0,3	0,069
Час регулювання	65	212
Показник затухання	0,9	1
Перерегулювання ,%	30	0

Порівняння перехідних процесів методу з 20% перерегулюванням і методу РАФХ

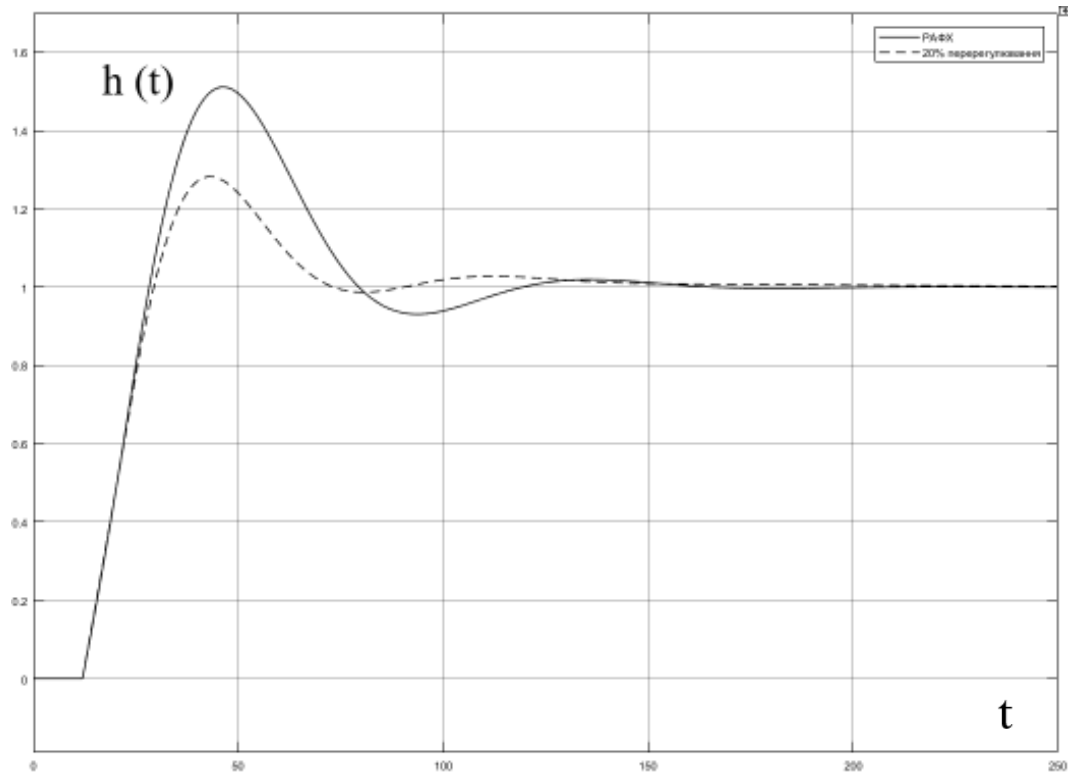


Рис 2.23 Порівняльні перехідні характеристики по каналу завдання-вихід

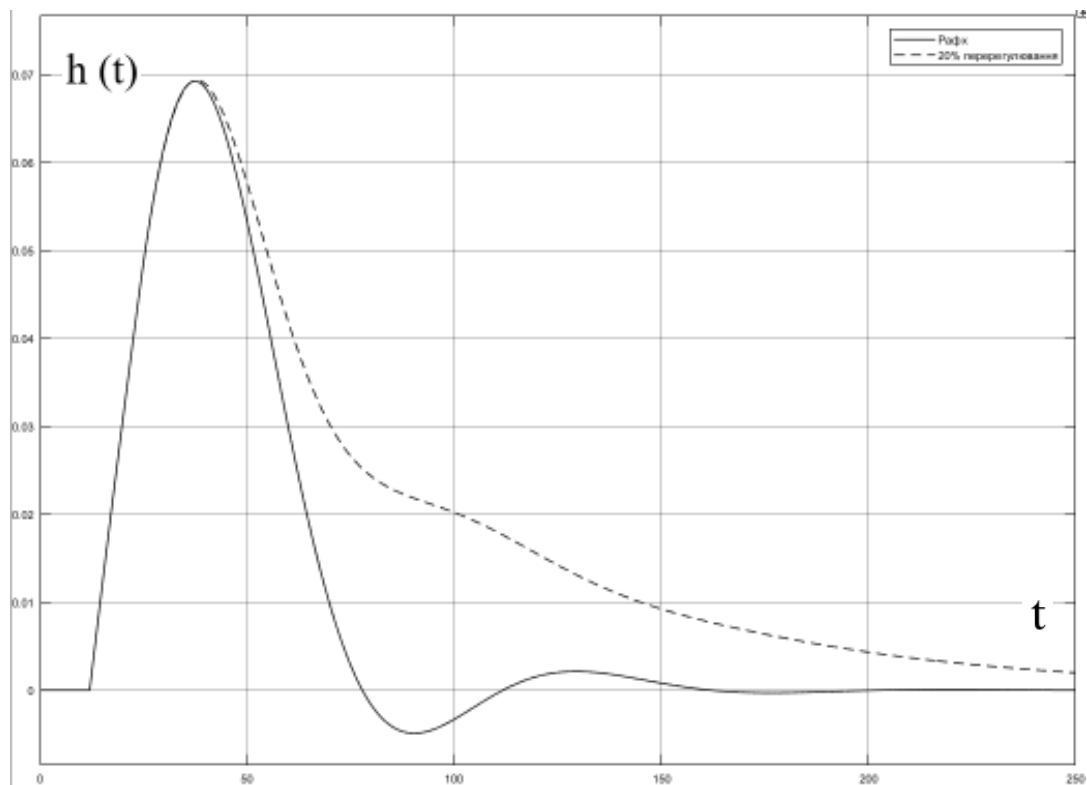


Рис 2.24 Порівняльні перехідні характеристики по каналу збурення-вихід

Найбільш важливими показниками якості для регулювання температури в приміщенні з басейном це час регулювання і мінімальна динамічна похибка по каналу завдання-вихід. Тому за оптимальні налаштування отримаємо ті, які були отримані за допомогою методу РАФХ, так як метод з 20% перерегулюванням має значний час регулювання по каналу збурення-вихід.

### 2.2.2 Розрахунок параметрів регулятора по вологості повітря

Розрахунок регулятора методом РАФХ (вологість)

Задамо степінь колювання  $\psi = 0,95$ , тоді  $m = 0,495$  ( $\psi = 1 - e^{-2pm}$ )

m-файл Matlab:

```
clear, clc;
m=0.495;
w=0:0.001:0.12;
p=w.*(-m+1i);
Wo=(0.75./(50.*p+1)).*exp(-15.*p);
Re=real(Wo);
Im=imag(Wo);
A=(Re.^2+Im.^2);
Ku=- (w.* (m.^2+1) .* Im) ./A;
Kp=(-m*Im-Re) ./A;
figure
plot(Kp, Ku);
grid on;
hold on;
xlabel('Kp');
ylabel('Ku');
Ku_max=0;
Kp_opt=0;
for i=1:length(Ku)
    if Ku(i)>Ku_max
        Ku_max=Ku(i);
    end
```

```

if Ku(i) < Ku_max && abs(0.95*Ku_max - Ku(i)) < 0.001
    Kp_opt = Kp(i);
end

end

Ku_opt = 0.95 * Ku_max;
Tu_opt = Kp_opt / Ku_opt;
plot(Kp_opt, Ku_opt, '*r');
plot(0.6165, 0, '*g');

```

Результат роботи коду:

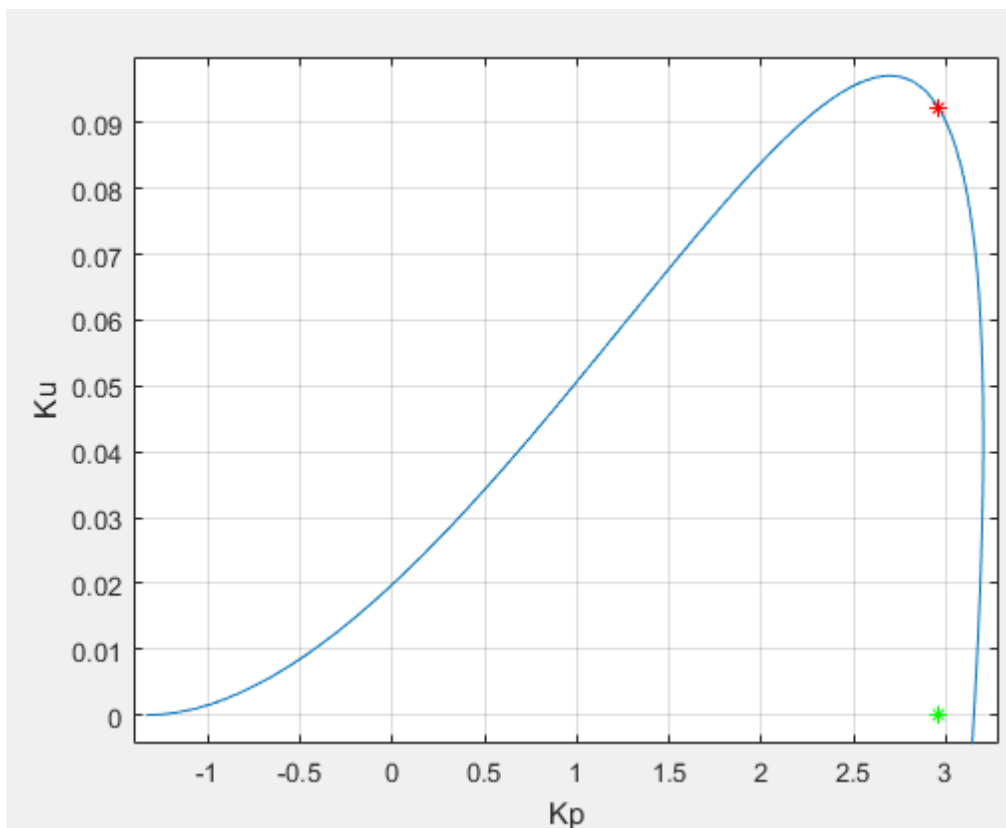


Рис 2.25 Визначення параметрів стабілізуючого регулятора методом РАФХ

На рисунку 2.25 показана границя ступеню коливальності для  $m=0,495$ .

Параметри для ПІ - регулятора:

$$K_p = 2.957$$

$$T_u = 32.04$$

Перехідні процеси в системі з отриманими налаштуваннями регуляторів:

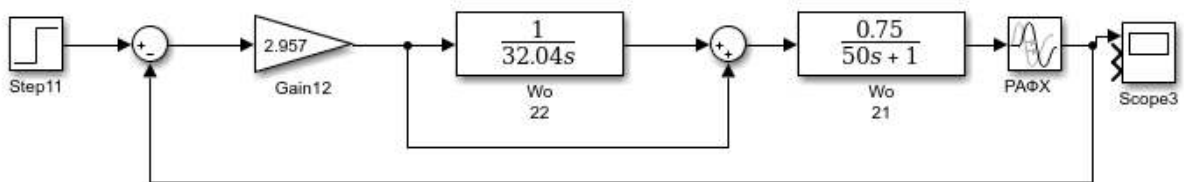


Рис 2.26 Структурна схема по каналу завдання – вихід (вологість)

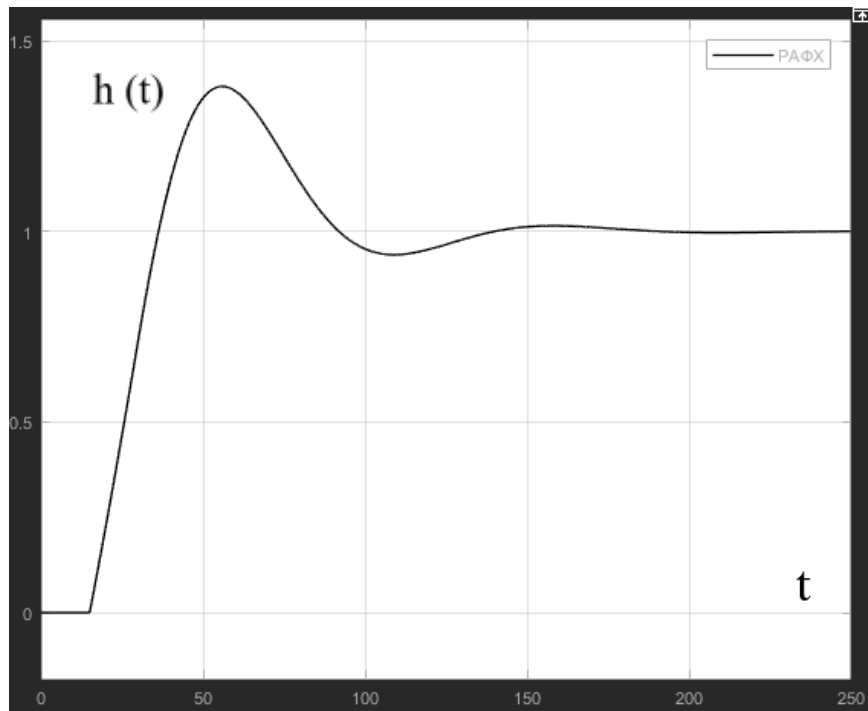


Рис 2.27 Перехідна характеристика по каналу завдання-вихід

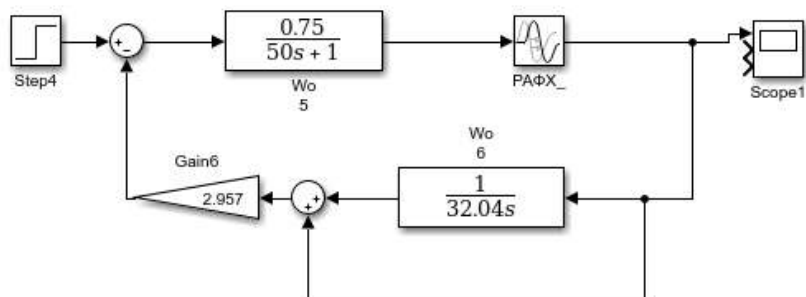


Рис 2.28 Структурна схема по каналу збурення – вихід (вологість)

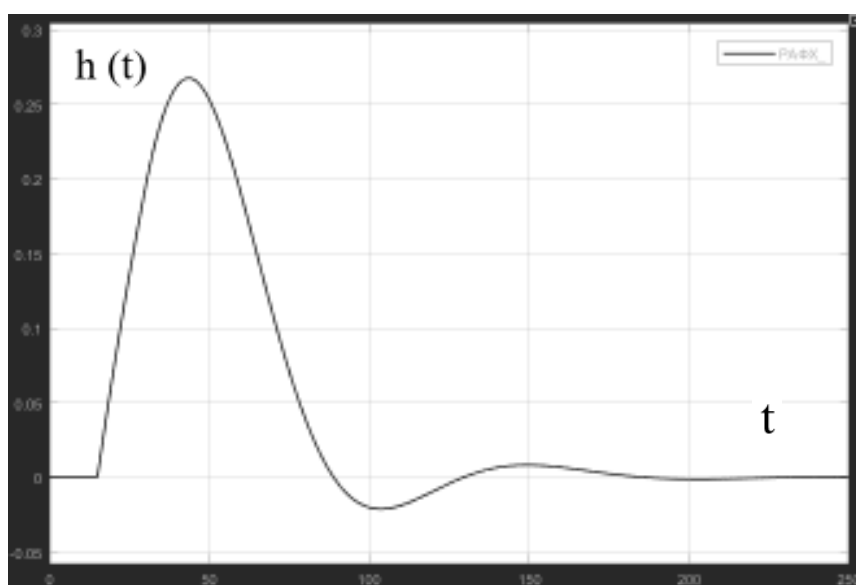


Рис 2.29 Перехідна характеристика по каналу збурення-вихід

Порахуємо прямі показники якості перехідного процесу по каналам завдання-вихід і збурення-вихід. Результати розрахунків представлені в таблиці 3.12

Таблиця 3.12 Показники якості по каналам

Показники якості	Канал	
	Завдання-вихід	Збурення-вихід
Статична похибка	0	0
Динамічна похибка	0,38	0,27
Час регулювання	100	115
Показник затухання	0,961	0,97
Перерегулювання, %	38	11

Розрахунок регулятора методом експрес методом (ПІ-регулятор)

Метод з 20% перерегулюванням

$$K_p = \frac{0.7 * T_{об}}{K_{об} * \tau} = \frac{0.7 * 50}{0.75 * 15} = 3.1$$

$$T_u = 0.7 * T_{об} = 35$$

Перехідні процеси в системі з отриманими налаштуваннями регуляторів:

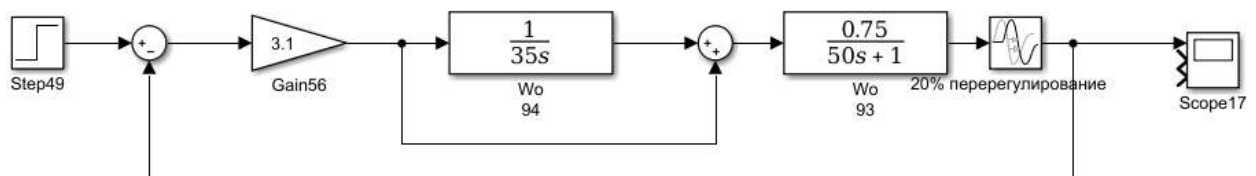


Рис 2.30 Структурна схема по каналу завдання – вихід (вологість)

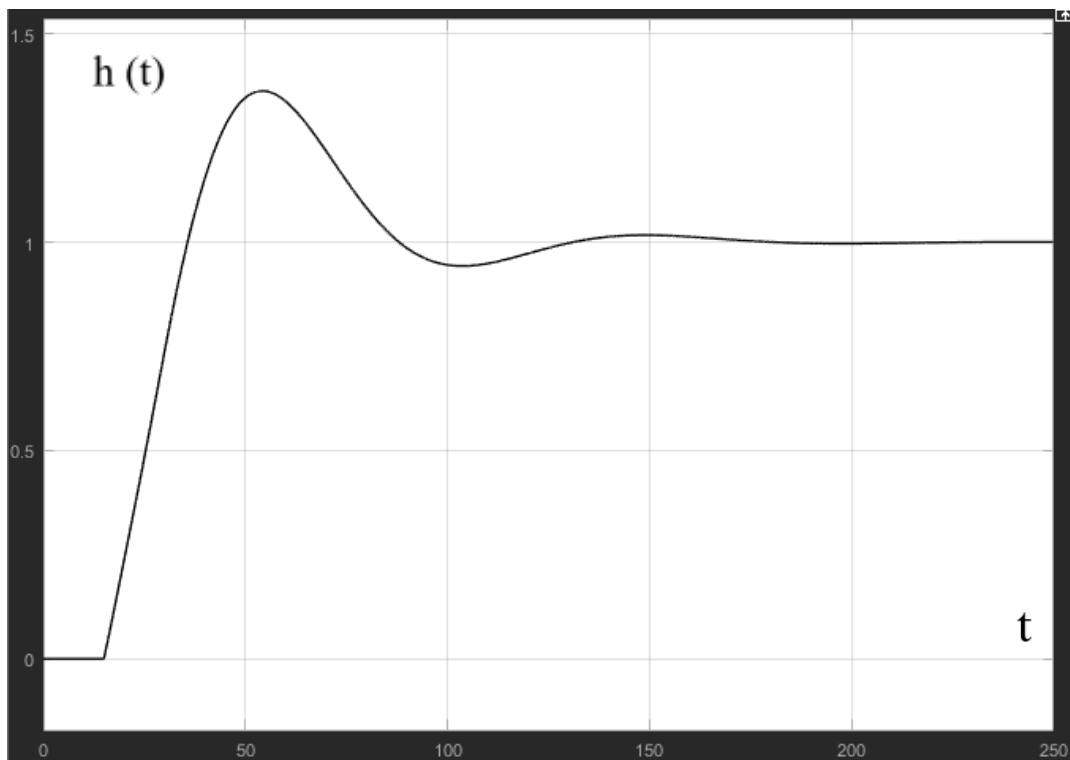


Рис 2.31 Перехідна характеристика по каналу завдання-вихід

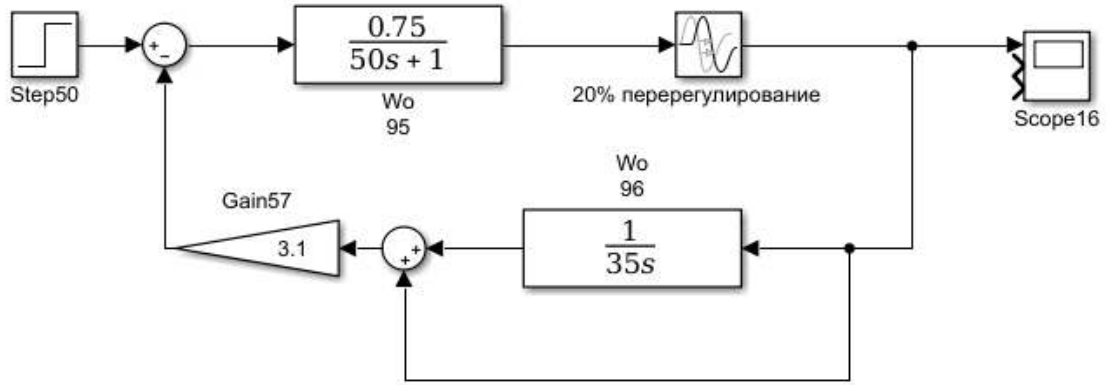


Рис 2.32 Структурна схема по каналу збурення – вихід (вологість)

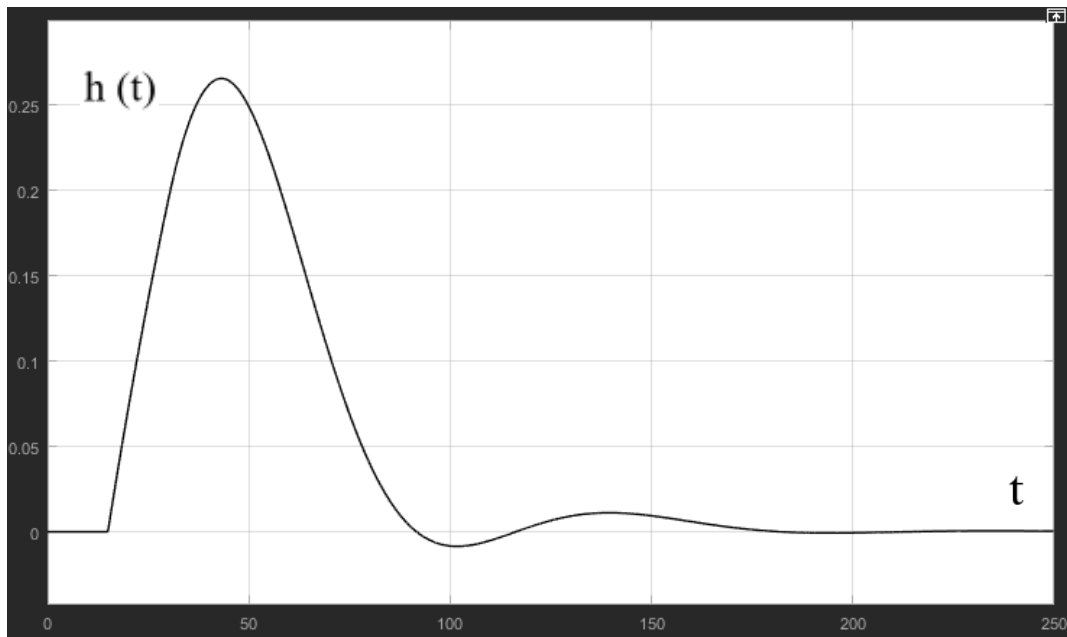


Рис 2.33 Перехідна характеристика по каналу збурення-вихід

Порахуємо прямі показники якості перехідного процесу з параметрами кожного методу. Результати розрахунків представлені в таблиці 3.13

Таблиця 3.13 Показники якості по каналам

Показники якості	Канал	
	Завдання-вихід	Збурення-вихід
Статична похибка	0	0
Динамічна похибка	0,36	0,27
Час регулювання	95	86
Показник затухання	0,944	0,996
Перерегулювання ,%	36	3

Далі виконаємо порівняння перехідних процесів методу з 20% перерегулюванням і методу РАФХ

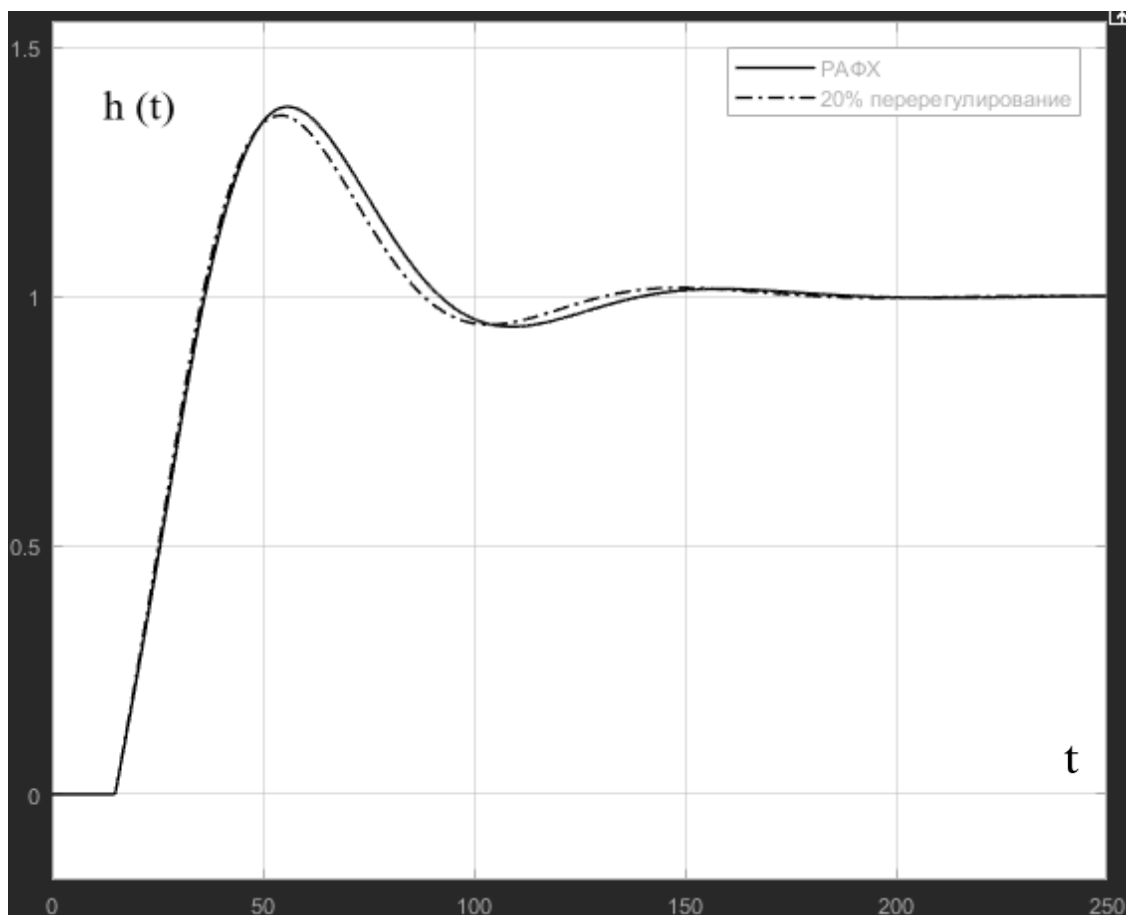


Рис 2.34 Порівняльні перехідні характеристики по каналу завдання-вихід

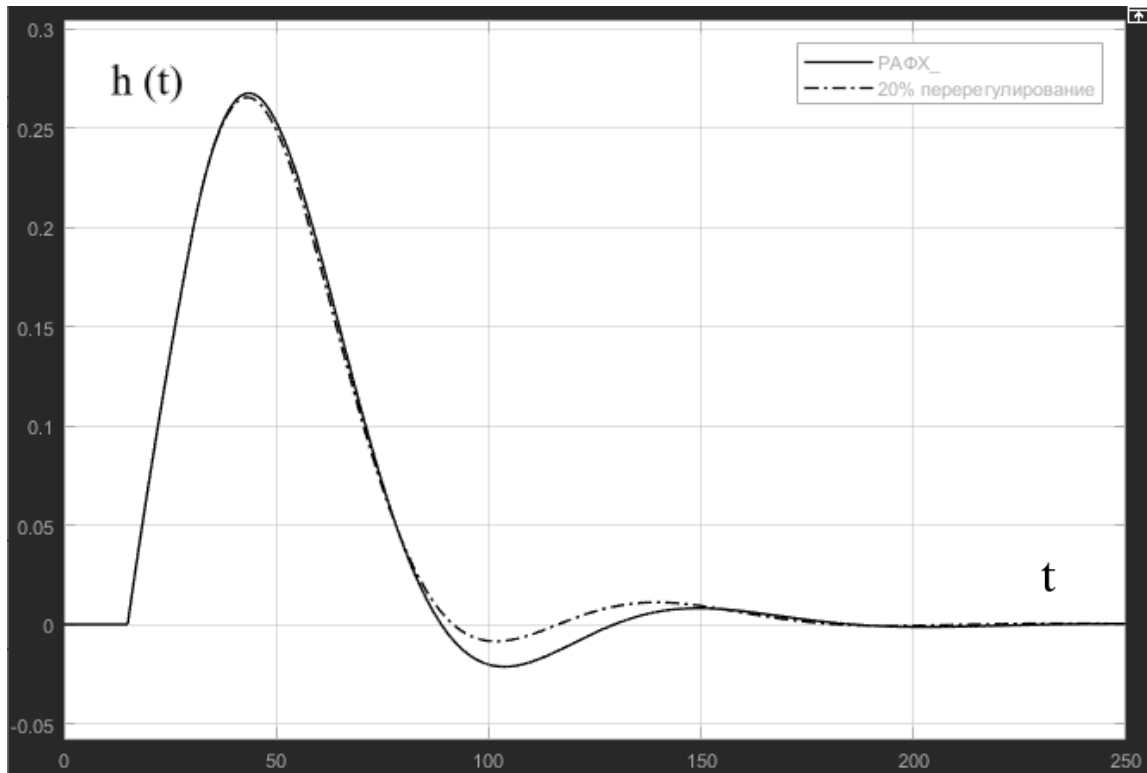


Рис 2.35 Порівняльні перехідні характеристики по каналу збурення-вихід

Найбільш важливими показниками якості для регулювання вологості в приміщенні з басейном це час регулювання і мінімальна динамічна похибка по каналу завдання-вихід. Тому за оптимальні налаштування отримаємо ті, які були отримані за допомогою методу РАФХ

### 2.3 Модель об'єкта з Предиктором Сміта

Предиктор Сміта – модель об'єкта управління, яка дозволяє передбачити поведінку об'єкта з транспортною затримкою. Його рекомендують застосовувати при співвідношенні величини запізнювання до постійної часу об'єкту:

$$\frac{\tau}{\tau + T} > (0.2 \dots 0.5)$$

Модель складається з двох частин: з моделі затримки і динамічної моделі об'єкта без затримки. Якщо модель правильно ідентифікована, то з  
іі

допомогою можна передбачити вихідну змінну, вирішуючи рівняння моделі, тобто не чекаючи реакції об'єкта на керуючий вплив.

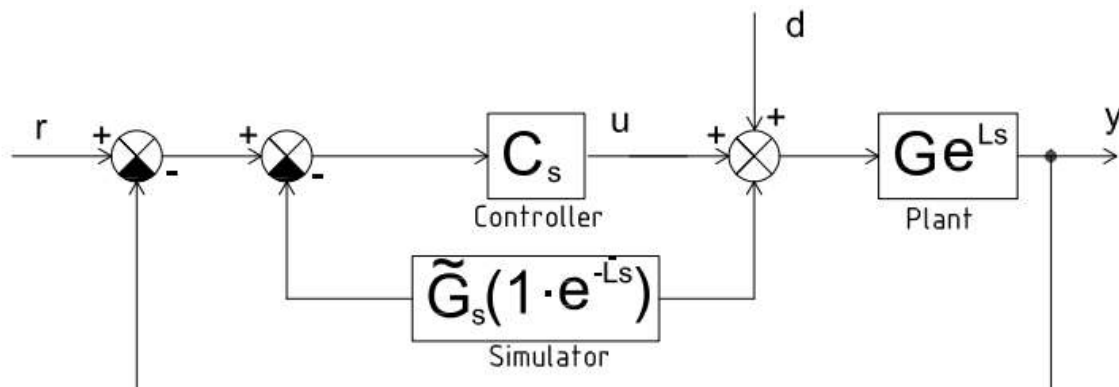


Рис.2.36. Схема з предиктором Сміта

Схема керування з предиктором Сміта являє собою систему із зворотним зв'язком, яка має в собі внутрішній зворотний зв'язок.  $G$  позначає технологічний об'єкт без затримки.  $L$  позначає час затримки.  $\bar{G}$  і  $\bar{L}$  є номінальними версія  $G$  і  $L$  відповідно, які отримуються за допомогою моделювання процесу.  $C_s$  позначає раціональну функцію, що характеризує компенсатор, який ще називають первинним контролером. Внутрішній зворотний зв'язок фактично працює без часу затримки, тим самим надаючи компенсатору прогнозне значення вихідної величини. Як компенсатор може успішно застосовуватися ПІД-регулятор разом з класичними методами налаштування. Якщо  $\bar{G}=G$  і  $\bar{L}=L$ , то вихідна величина  $y$  залежить від завдання  $r$  і від збурення  $d$  наступним чином:

$$y = \frac{GC_s}{1+GC_s} e^{-Ls} r + \frac{G}{1+GC_s} e^{-Ls} d + \frac{GC_s}{1+GC_s} e^{-Ls} G(1-e^{-Ls}) d$$

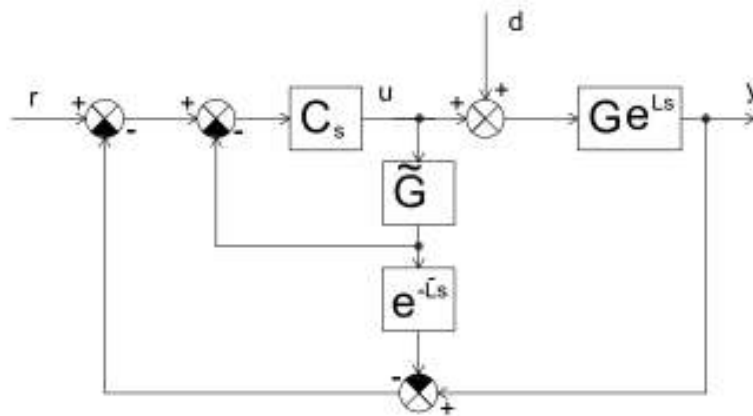


Рис.2.37 Практичне застосування предиктора Сміта

На Рис. 2.37 приведена інша схема, яка є повністю еквівалентною схемі з предиктором Сміта, але є більш зручною для практичного використання.

#### Дослідження роботи предиктора Сміта

Дослідження роботи схем з предиктором Сміта проводиться на моделях температури і вологості повітря в приміщенні з басейном:

- 1) Температура повітря

$$W_t(p) = \frac{0.4}{100p + 1} e^{-12p}$$

- 2) Вологість повітря

$$W_{\%}(p) = \frac{0,75}{50p + 1} e^{-15p}$$

При розрахованих раніше оптимальних параметрах ПІ регулятора ( для температури

$K_p = 13.77$   $T_i = 34.34$  , для вологості  $K_p = 3.1$   $T_i = 35$ ) класичної

одноконтурної схеми керування (Рис. 2.37) маємо наступні перехідні процеси:

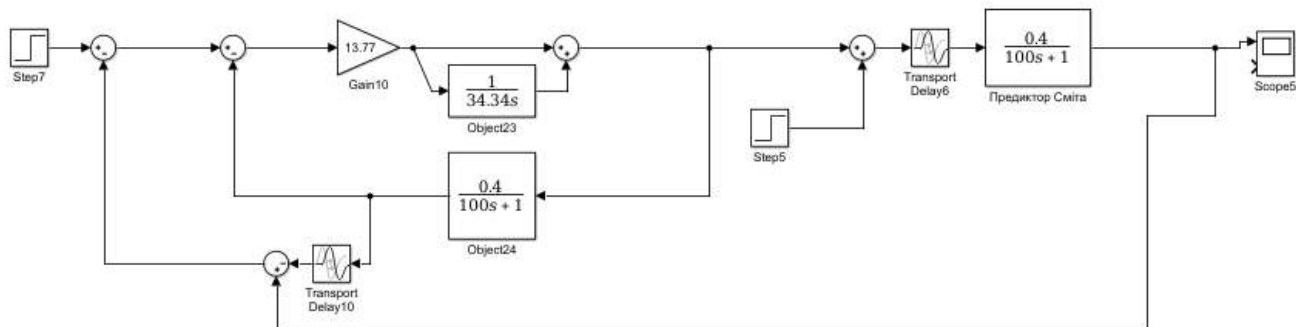


Рис.2.38 Структурна схема (температура) предиктора Сміта

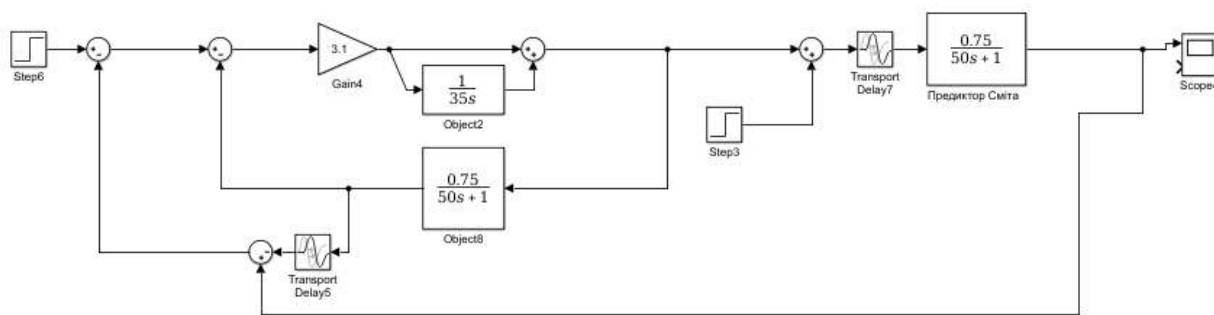


Рис. 2.39 Структурна схема (вологість) предиктора Сміта

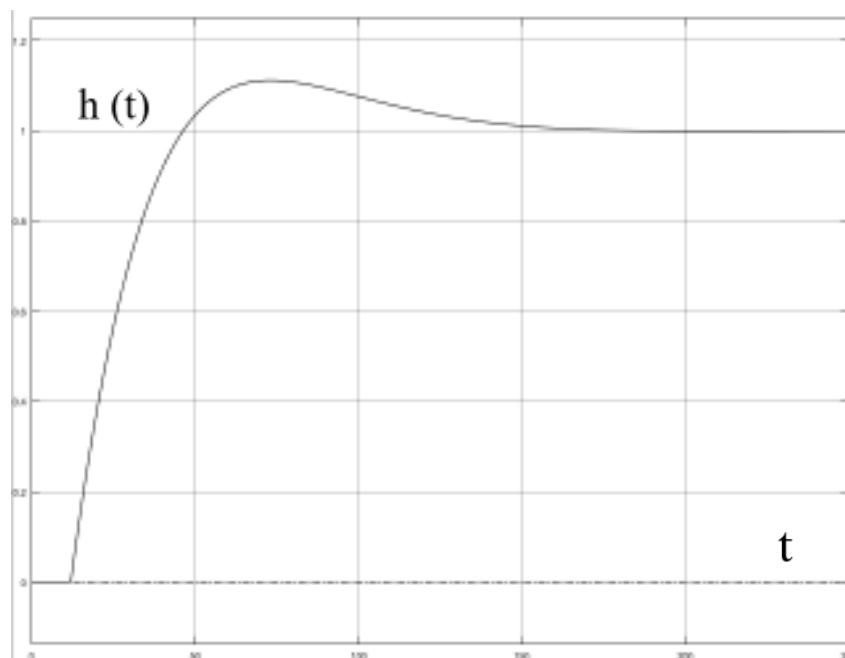


Рис.2.40 Перехідна характеристика по каналу завдання-вихід (температура) з предиктором Сміта

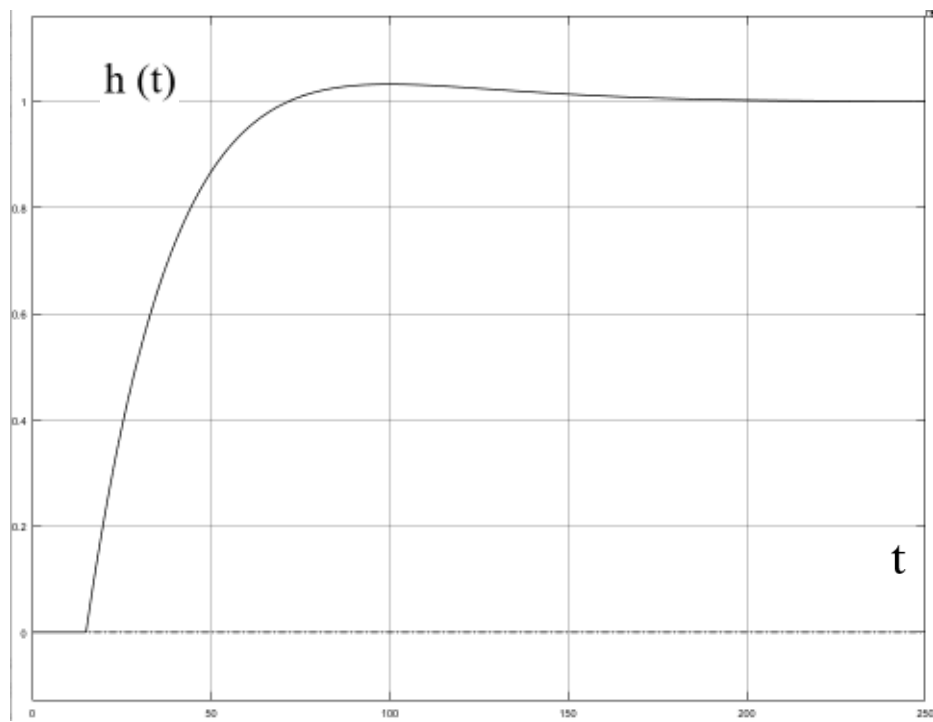


Рис.2.41 Перехідна характеристика по каналу завдання-вихід (вологість) з предиктором Сміта

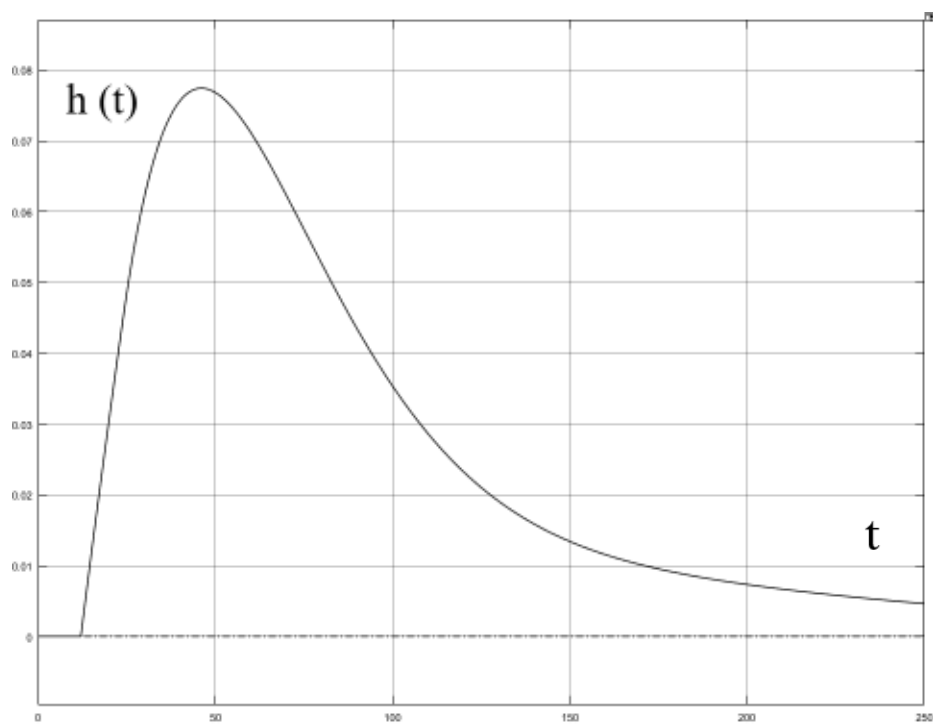


Рис.2.42 Перехідна характеристика по каналу збурення-вихід (температура) з предиктором Сміта

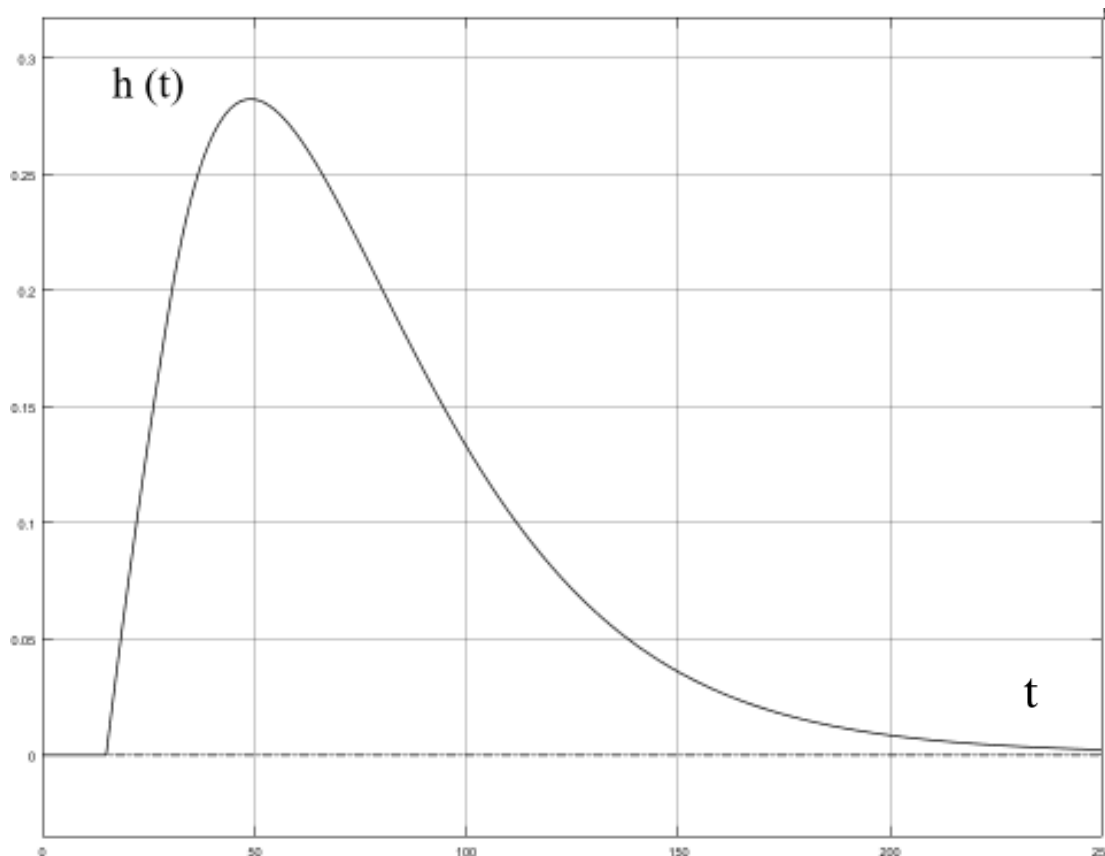


Рис.2.43 Перехідна характеристика по каналу збурення-вихід (вологість) з предиктором Сміта

Виконаємо розрахунок прямих показників якості перехідного процесу з параметрами для вологості і температури. Результати розрахунків представлені в таблиці 3.14

Таблиця 3.14 Показники якості по каналам з предиктором Сміта

Показники якості	Параметри			
	Температура		Вологість	
	Канал Завдання-вихід	Канал Збурення-вихід	Канал Завдання-вихід	Канал Збурення-вихід
Статична похибка	0	0	0	0
Динамічна похибка	0,1	0,077	0,033	0,28
Час регулювання	115	270	61	182
Показник затухання	1	1	1	1
Перерегулювання, %	10	0	3,3	0

## 2.4 Порівняння перехідних процесів

Далі виконаємо порівняння перехідних процесів з моделі предиктора Сміта, одноконтурної і каскадної систем:

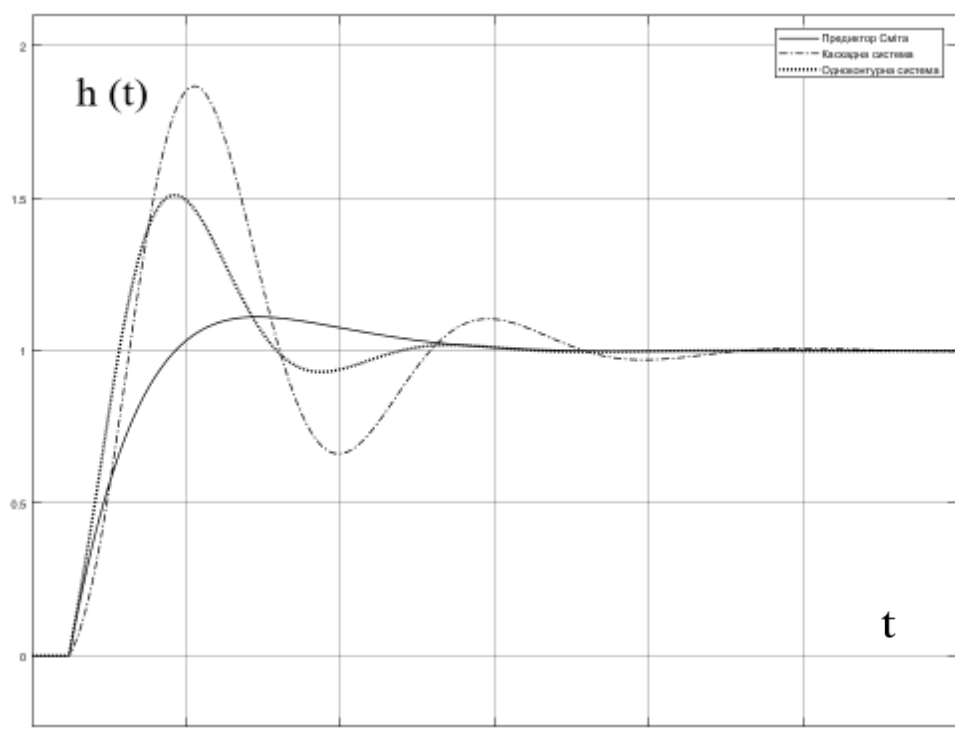


Рис 2.44 Порівняльні перехідні характеристики (температура) по каналу завдання-вихід

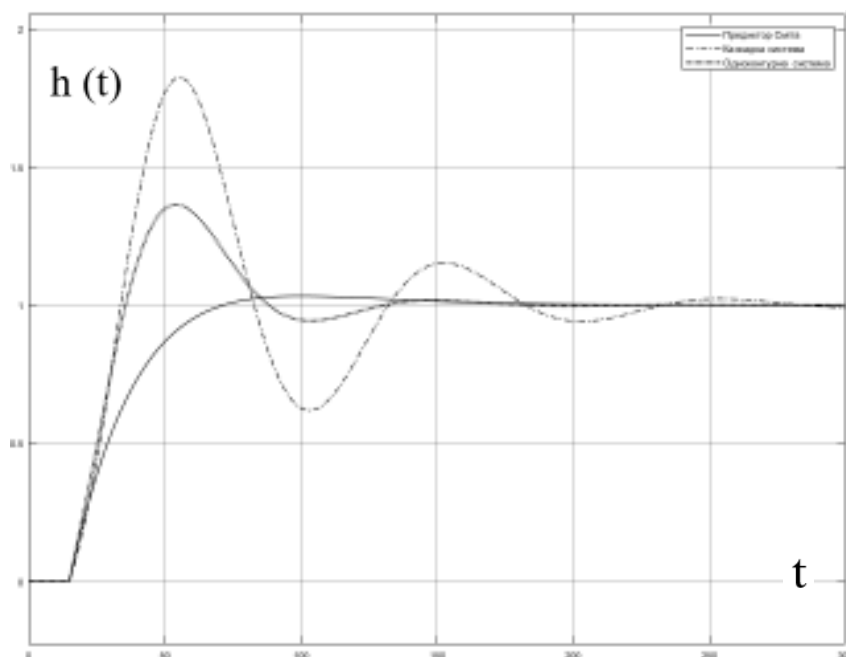


Рис 2.45 Порівняльні перехідні характеристики (вологість) по каналу завдання-вихід

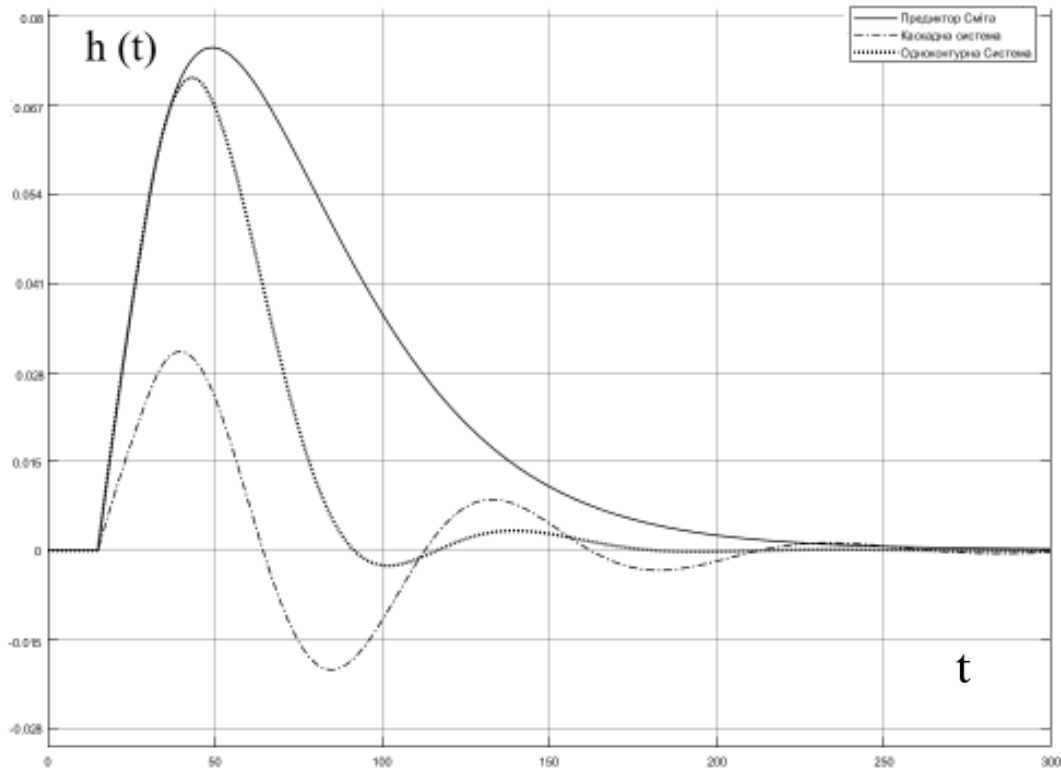


Рис 2.46 Порівняльні перехідні характеристики (температура) по каналу збурення-вихід

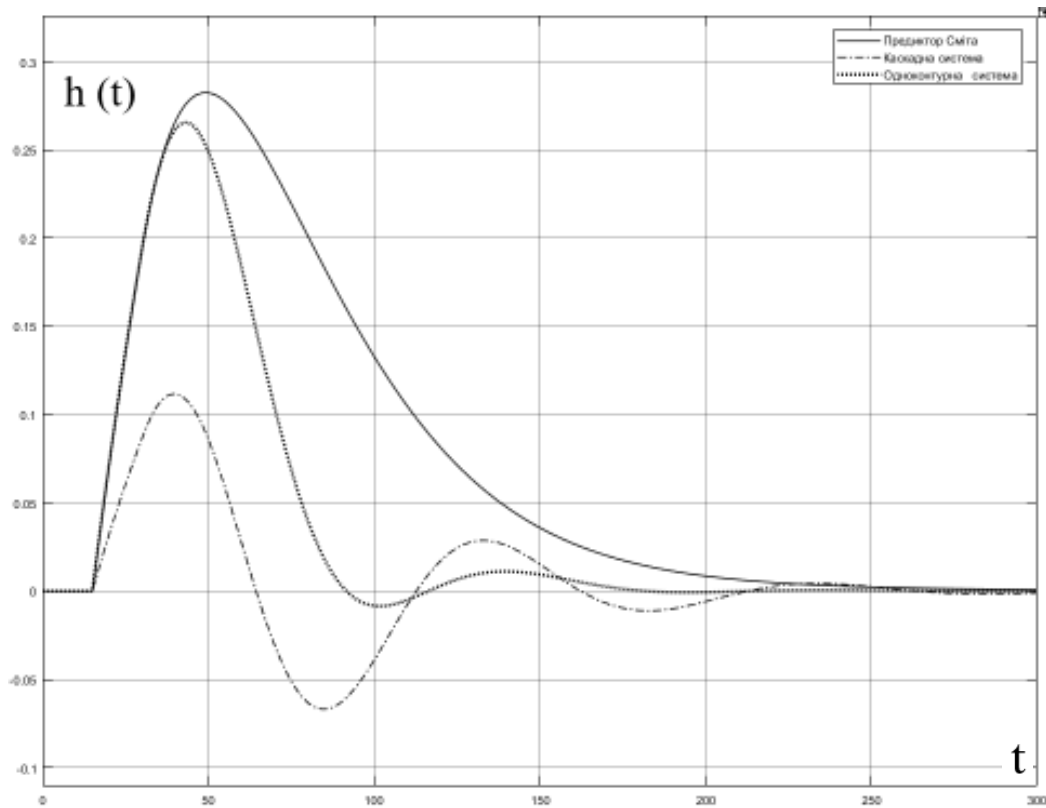


Рис 2.47 Порівняльні перехідні характеристики (вологість) по каналу збурення-вихід

## Висновки

Найбільш важливими показниками якості для регулювання вологості і температури в приміщенні з басейном це час регулювання і мінімальна динамічна похибка. При порівнянні перехідних характеристик каскадної системи і моделі предиктора Сміта, найкращі показники якості має саме предиктор. Предиктор Сміта застосовується тоді, коли класичні закони регулювання (наприклад ПІ) не забезпечують заданих вимог якості, чи то за часом регулювання, чи за максимальною динамічною похибкою, що було видно в каскадній системі регулювання. Як правило причиною цього є велика інерційність такого об'єкту як вентиляційна установка. Особливістю даної схеми є те, що в своєму алгоритмі роботи вона використовує математичні моделі своїх об'єктів керування і виступає як надбудова над класичним ПІ регулятором.

## РОЗДІЛ 3

### РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТОМ

#### 3.1 Функціональна структура ПТКЗА

##### 3.1.1 Формулювання вимог до ПТКЗА

Системи вентиляції та кондиціонування характеризують себе як об'єкти з великою інертністю технологічних процесів. Навантаження повинно відповідати затратам електричної енергії. Перехідні процеси в СВК розвиваються швидко, чим можна пояснити високий рівень розвитку автоматизації взагалі.

При розробці програмно-технічного комплексу засобів автоматизації (далі ПТКЗА) основною метою є:

- забезпечення зменшення кількості обслуговуючого персоналу;
- спрощення праці обслуговуючого персоналу;
- підвищення точності вимірюваних та керуючих параметрів;
- підвищення безпеки праці на об'єкті та надійності роботи обладнання;
- підвищення коефіцієнта корисної дії установки.

Основною задачею спроектованого ПТКЗА буде високий рівень якісної, надійної, ефективної роботи об'єкту управління .

Даний ПТКЗА розроблюється як модернізація для існуючої АСР. Метою розробки даного комплексу є:

1. забезпечувати стійке і надійне управління технологічним процесом у всьому діапазоні навантажень;
2. забезпечувати в районі робочої точки задану якість процесів управління (час перехідного процесу, перерегулювання і коливання);
3. забезпечувати в сталому режимі задану точність регулювання технологічного параметра. Бажано забезпечити нульову статичну помилку регулювання;
4. забезпечити відображення інформації про хід технологічного процесу на робочій станції оператора;
5. забезпечити керування регулюючим органом в ручному та автоматичному режимах;
6. ведення бази даних та звіту подій і тривоги;

7. забезпечити функції сигналізації та технологічного захисту;
8. підвищення ресурсу роботи всіх технологічних агрегатів;
9. надання можливості обміну інформацією з верхнім рівнем АСУ;

Основними вимогами до програмно-технічного комплексу засобів автоматизації, що розроблюється, є:

1. використання стандартних апаратних модулів ПЛК провідних фірм-виробників з добре налагодженою системою сервісного обслуговування
2. використання стандартних інтерфейсів передачі інформації на базі відкритих протоколів обміну даними
3. використання спеціалізованих пакетів SCADA провідних виробників таких систем, які підтримують протоколи, що використовуються в даній системі

Вимоги, які висуваються до ПТКЗА щодо:

1. Відповідності державним і міжнародним стандартам:

- Використання контролерів та супутнього обладнання, що відповідають стандарту ІЕС 61131-2 (визначають вимоги щодо обслуговування, експлуатації, безпеки, зберігання ПЛК та супутнього обладнання);

- ПТКЗА повинен відповідати вимогам стандарту ДСТУ 3481-96 «Локальна мережа введення - виведення для розподілених автоматизованих систем керування. Загальні технічні вимоги»;

- Мови програмування ПЛК повинні відповідати вимогам стандарту ІЕС 61131-3;

- Використання базових програмних засобів реального часу (операційні системи) згідно зі стандартами Міжнародної електротехнічної комісії;

- Використання інструментального ПЗ (LCADA- конфігуратора), що відповідає вимогам стандарту ІЕС-61131.

2. Реалізації функцій автоматизації

Нормальний режим роботи об'єкту керування забезпечується за допомогою виконання таких функцій як: функція контролю, функція регулювання, функція сигналізації та функція захисту та блокування. Якість виконання функцій системи автоматизації буде залежати від якості інформації, що надходить від вимірювальних приладів, можливості реалізації законів керування та якості виконавчої апаратури. Тому

необхідно обирати якісний надійний швидкодіючий контролер , що дозволить реалізувати необхідні закони керування та забезпечити вчасне спрацювання приладів технологічної сигналізації та блокування. Надійні датчики, допустима похибка вимірювання яких не перевищує: датчики температури  $\pm 0,25\%$ , датчик вологості  $\pm 0,5\%$ .

На верхньому рівні необхідно реалізувати SCADA-систему, яка буде відслідковувати значення всіх технологічних параметрів та їх зміну в часі (показання всіх датчиків та положень виконавчих механізмів); відображати повідомлення про досягнення аварійних значень певних параметрів; проводити архівацію даних; здійснювати керування в ручному та автоматичному режимі.

#### 4. Забезпечення показників якості регулювання

В даній системі реалізовано два контури регулювання з вимогою, щоб час регулювання температури і вологості не перевищував 200 секунд.

### 3.1.2 Опис інформаційного забезпечення ПТКЗА

Перелік інформаційних каналів з зазначенням вимог до точності отримання значень параметрів, типів використовуваних параметрів сигналів і функцій наведені у таблицях 3.1, 3.2.

Таблиця 3.1 Опис вхідних каналів

№ п/п	Інформаційний канал	Датчик	Одиниці вимірювання	Діапазон	Тип сигналу	Вимоги до точності каналу	Функції АСУ ТП
1	Температура повітря на вході в систему	Перетворювач температури і вологості Regin HTDT2500	°C	(-40)÷(+40)	Аналоговий (4-20)mA	$\pm 0.25$ °C	Інформаційна

2	Вологість повітря на вході в систему	Перетворювач температури і вологості Regin HTDT2500	%	0÷100	Аналоговий (4-20)mA	±0.5 %	Інформаційна
3	Перепад тиску на фільтрі припливного каналу	Релетиску Regin DTV 500X	Па	0÷100	Дискретний (0-24В)	-	Інформаційна Захисна
4	Перепад тиску на фільтрі витяжного каналу	Релетиску Regin DTV 500X	Па	0÷100	Дискретний (0-24В)	-	Інформаційна Захисна
5	Температура повітря в приміщенні	Датчик відносної вологості та температури KFTF-SD-U	°C	25÷28	Аналоговий (0-10)В	±0.25 °C	Інформаційна Керуюча
6	Вологість повітря в приміщенні	Датчик відносної вологості та температури KFTF-SD-U	%	60÷75	Аналоговий (0-10)В	±0.5 %	Інформаційна Керуюча

7	Перепад тиску на припливному вентиляторі	Релетиску Regin DTV 300X	Па	0÷150	Дискретний (0-24В)	-	Інформаційна Захисна
8	Перепад тиску на витяжному вентиляторі	Релетиску Regin DTV 300X	Па	0÷150	Дискретний (0-24В)	-	Інформаційна Захисна
9	Протипожежна сигналізація	-	реле	0	Дискретний, (0-24В)	-	Захисна
10	Температура води на виході з калорифера	Датчик температури накладний Regin TG-A1	°С	50÷65	Аналоговий, (Pt1000)	±1 °С	Інформаційна Захисна
11	Температура всмоктування фреону	ECN-N60	°С	(-15)÷(-10)	Аналоговий (4-20)mA	±0.25 °С	Інформаційна Захисна
12	Тиск всмоктування фреону	ECN-N60	МПа	0.3	Аналоговий (4-20)mA	±1 Па	Інформаційна Захисна
13	Температура води на виході з конденсат	Датчик температури накладний	°С	65 до÷90	Аналоговий, (Pt1000)	±1 °С	Інформаційна Захисна

	ора фреон-вода	й Regin TG-A1					
14	Температура нагрівання фреону	Датчик температури накладний Regin TG-A1	°C	70 до÷80	Аналоговий, (Pt1000)		Інформаційна Захисна
15	Тиск нагнітання фреону	PT5-50M	МПа	30	Аналоговий (0-10)V		Інформаційна Захисна
16	Аварійно низький тиск фреону	-	реле	0	Дискретний, (0-24V)	-	Інформаційна Захисна
17	Аварійно високий тиск фреону	-	реле	0	Дискретний, (0-24V)	-	Інформаційна Захисна

Таблиця 3.2 Опис вихідних каналів

№ п/п	Вихідний канал	Датчик	Одиниці вимірювання	Діапазон	Тип сигналу	Вимоги до точності каналу	Функції АСУ ТП
1	Сигнал керування положення ВМ регулювання подачі води на калорифер	Belimo TR24-SR	%	0÷100	Аналоговий (0-10)V	-	Керуюча

2	Сигнал керування положення ВМ регулювання подачі води на конденсатор фреон-вода	Belimo о TR24-SR	%	0÷100	Аналоговий (0-10)V	-	Керуюча
3	Сигнал керування положенням клапанів припливного, витяжного каналів і рециркуляції	Belimo о SF24 A-SR	%	0÷100	Аналоговий (0-10)V	-	Керуюча
4	Сигнал частотних перетворювачів регулювання вентиляторів	Siemens Simatic cs V20	%	0÷100	Аналоговий (0-10)V	-	Керуюча
5	Сигнал частотного перетворювача регулювання основного фреонового компресора	Danfoss VLT CDS	%	0÷100	(0-10)V	-	Керуюча
6	Сигнал пуску резервного фреонового компресора	Пристрій плавного пуску Carlo Gavazzi RSBT	-	-	Дискретний, (0-24V)	-	Керуюча

Перелік всіх каналів керування із зазначенням типів використовуваних сигналів і функцій наведені у таблиці 3.3.

Таблиця 3.4 Опис каналів керування

№	Канал керування	Виконавчий механізм	Тип сигналу	Функції АСУ ТП
1	Подача фреону на конденсатор фреон-повітря або фреон-вода (Вихідний сигнал)	Електропривід 3х-ходового клапану Belimo TR24-SR	Аналоговий (0-10) В	Керування, захист та блокування
2	Подача фреону на випаровувач (Вихідний сигнал)	Електричний розширювальний вентиль FX6-109	Аналоговий (0-10) В	Керування, захист та блокування
3	Подача теплоносія на калорифер (Вихідний сигнал)	Електропривід 3х-ходового клапану Belimo TR24-SR	Аналоговий (0-10) В	Керування

Для забезпечення надійності роботи системи, а також можливості розширення та модернізації контролер повинен мати модульну структуру, підтримувати можливість підключення додаткових модулів вводу-виводу, мати мережевий інтерфейс обміну даними. Також повинні широко використовуватись уніфіковані схеми підключення датчиків та виконавчих механізмів.

### 3.1.3 Розробка структури ПТКЗА

Дана система автоматизації складається з двох рівнів. Верхній рівень - рівень супервізорного (SCADA) керування, нижній рівень – рівень локального (LCADA) керування та збору інформації.

Враховуючи різну складність задач керування і сфери використання ПЛК, компанії пропонують різноманітні модельні ряди контролерів, які розрізняються:

- Вартістю;

- Кількістю використовуваних модулів розширення;
- Швидкодії;
- Обсягом пам'яті для зберігання програм користувача;
- Конструктивного виконання;
- Підтримка міжнародних стандартів;
- Можливість організації мережі;
- Мови програмування;

Для автоматизації припливно-витяжної установки MC-20Pool потрібен ПЛК, який буде мати в наявності:

- 12 аналогових входи
- 13 дискретних входів
- 10 аналогових виходів
- 7 дискретних виходів

Якщо буде недостатня кількість входів виходів у процесорного модуля ПЛК, потрібно використовувати модулі розширення. Для вибору контролеру для даної системи автоматизації вентиляційної установки, розглянемо кілька провідних виробників контролерної техніки та виконаємо порівняльну характеристику .

Порівняльна характеристика контролерів різних виробників представлена в таблиці 3.5

Таблиця 3.5. Порівняльні характеристики контролерів

Фірма виробник	Процесорний модуль					Інтерфейси та протоколи	ПЗ	Ціна Euro
	Назва	AI	DI	AO	DO			
Siemens	Climati x POL63 6.00	8(Univers al)	5	2	6	Modbus RTU, Ethernet, RS- 485, USB	CLIMA TIX	575

Schneider Electric	Modicon TM172 PG28R	4	8	4	8	Modbus TCP, Profibus, CAN bus, RS-485, USB	Machine Expert HVAC	405
Regin	FG05-282-3	4(+4 UI)	8	5	7	Modbus RTU, Modbus TCP Ethernet, RS-485	ExoDesigner	320

**Контролери Siemens серії Climatix** застосовуються для потреб вентиляції і реалізації інженерних потреб будинків. ПЛК мають наступні властивості:

- Вільно програмовані с середовищі SAPRO
- Об'єктно-орієнтоване програмування за допомогою графічного інструменту SAPRO
- Можливість розширення за допомогою локальних або віддалених модулів розширення входів/виходів через периферійну шину .
- Живлення AC/DC 24 В
- 8 універсальних входів/виходів (конфігуровані входів/виходів для аналогових чи дискретних сигналів)
- 5 дискретних входів
- 2 аналогових виходи (DC 0...10 В)
- 6 релейних виходів (NO контакти)
- Інтерфейс RS-485 для Modbus RTU
- Модемний порт RS-232 для віддаленого сервісу
- Шина Process bus для підключення комнатного модуля і віддаленої панелі оператора HMI

- Підключення до 3-х комунікаційних модулів для інтеграції в систему автоматизації будівель
- Сервісний роз'єм RJ45 і USB для підключення сервісного програмного забезпечення
- SD-карта для оновлення додатків та операційної системи
- LON-шина
- Порт Ethernet для віддаленого чи локального сервісу , з використанням стандартного браузеру

Стандартна програма Climatix AHU містить всі стандартні для системи вентиляції і кондиціонування функції управління і нагляду, а також деякі спеціальні функції.

- програмних або апаратних інструментів не потрібно.

**Контролери компанії Schneider Electric серії Modicon TM172 мають наступні властивості:**

У порівнянні з SoMachine HVAC 2.4:

Покращення і ребрендинг програмного забезпечення:

EcoStruxure Machine Expert HVAC o

- Широкий вибір дискретних і аналогових входів/виходів, які налаштовуються програмно
- Протоколи зв'язку Modbus RTU, Modbus TCP, BACnet MS/TP, BACnet/IP, CAN, Profibus, ASCII
- Вбудовані можливості Web візуалізації дають можливість зчитувати і записувати данні в обладнання і робити необхідні налаштування із будь-якого місця;
- Живлення 12-24В/~24В/240В

Рішення на базі Modicon M171 / M172 використовують програмне забезпечення SoMachine HVAC. SoMachine HVAC пропонує інтуїтивні, готові до використання функціональні блоки. SoMachine HVAC дає можливість використання спеціальних алгоритмів для більш

енергоефективних рішень на базі Modicon M171 / M172. Спеціальні функціональні блоки включають управління енергоспоживанням, управління компресорами, управління вентиляторами, моніторинг коефіцієнта ефективності, управління насосними станціями. Додатково, вбудований USB порт у Modicon M172P робить програмування і налагодження ще простіше.

**Контролери компанії Regis серії EXOcompact** - це рішення як для автономного використання (наприклад, для регулювання мікроклімату в окремій зоні або управління приладами опалення та кондиціонування повітря), так і для інтеграції в систему. Вони оснащені високопродуктивним процесором і доступні в модифікаціях з 15, 20 і 28 I / O, різним набором комунікаційних портів а також з дисплеєм або без нього.

Основні властивості контролерів:

- Вільно програмовані контролери з фіксованим набором входів / виходів.
- Комунікаційні можливості: RS485 (EXOline, Modbus), TCP / IP (Exoline, Modbus, BACnet / IP), M-Bus (вбудований порт або за допомогою зовнішнього модуля сполучення X1176). Вбудований WEB-сервер
- Програмування нижнього і верхнього рівнів в середовищі EXOdesigner.
- Можливість використання моделей EXOcompact без вбудованого дисплея в якості модулів розширення.
- Можливість використання різних типів виносних дисплеїв.
- Можливість живлення від джерела постійної напруги.
- Високопродуктивний процесор.
- Цифрові виходи - МОП-транзистори з навантажувальною здатністю 24 В, 2 А змінного або постійного струму. » пропонує функціональність і надійність, які необхідні для оптимального використання вашого обладнання для опалення, вентиляції, кондиціонування та холодильних контурів (HVAC / R).

Знайдіть рішення для програмування, яке найкращим чином відповідає вашим потребам, і випробуйте гнучкість модульної конструкції MCX і його новітніх програм і варіантів підключення.

Завдяки лінійці МСХ управління компонентами вашої системи HVAC / R стало ще простіше.

Оскільки данна система автоматизації вентиляційної установки потребує надійності, великої кількості входів виходів та достатньо не дорогого рішення при підрахунку всіх додаткових модулів розширення, доцільно буде застосувати програмно логічний контролер Regin FG05-282-3 з достатніми параметрами для реалізації данної системи.

Також окремо для управління електричним розширювальним вентилем (EVP), який виконує подачу фреону в вигляді рідини на випаровувач в контурі вбудованого холоду окремо було обрано параметрований контролер перегріву і температури для холодильних систем Emerson EXD 807855, основні властивості якого:

- контроль температури або перегріву
- обмеження тиску кипіння , захист по низького тиску, захист від замерзання і ручне позиціонування клапана
- самоналаштування перегріву при роботі з клапанами EMERSON серій FX5-9, EX4-8 and CX4-7
- великий список холодоагентів, включаючи R23
- можливість комутації до мережі Modbus (RTU)
- вбудована клавіатура з дворядним дисплеєм
- моніторинг датчиків і визначення обривів проводів датчиків і крокових двигунів
- ключ завантаження / розвантаження, що дозволяє копіювати параметри налаштування з одного контролера на інший (опція)
- Сигнал аварії по високому / низькому перегріву та інші аварійні сигнали
- Монтаж на DIN – рейку

До контролера підключається датчики температури, тиску всмоктування фреону і виконавчий механізм EVP. Значення перегріву задається в діапазоні від 8 до 10.

На Рис 6.1 представлена структурна схема ПТКЗА вентиляційної установки

Перелік умовних позначень до рис. 3.1.

- ПС – протипожежна сигналізація;
- dP1-dP5 – пресостат перепаду тиску, дискретний;
- VS – сигнал роботи основного компресора з частотного перетворювача
- TS1 – термостат захисту калорифера від обмерзання по повітрю, дискретний;
- PS1 – датчик аварійно низького тиску фреону, дискретний;
- PS2 – датчик аварійно високого тиску фреону, дискретний;
- HT1 – датчик температури та вологи повітря зовнішній;
- HT2 – датчик температури та вологи повітря в приміщенні;
- HT3 – датчик температури та вологи повітря після випаровувача;
- Tзв – температура теплоносія на виході з калорифера
- Tпр – температура повітря в припливному каналі
- Tk – температура теплоносія на виході з конденсатора фреон-вода
- Tр – температура повітря перед випаровувачем
- Tf1 – температура всмоктування фреону
- PF1 – тиск всмоктування фреону
- Tf2 – температура нагнітання фреону
- Pf2 – тиск нагнітання фреону
- Tс – клапан ЕРВ
- M1-2 – приводи повітряних заслінок припливного і витяжного каналу;
- M3 – привід повітряної заслінки секції рециркуляції 1;
- M4 – привід повітряної заслінки байпаса рекуператора
- M5 – привід повітряної заслінки секції рециркуляції 2;
- Yh1 – привід 3х-ходового клапану калорифера;
- Yh2 – привід 2х-ходового клапану конденсатора фреон-вода;
- Yf – привід 3х-ходового клапану подачі фреону на конденсатори;
- NS1 – пускач циркуляційного насоса калорифера;
- NS2 – пускач резервного компресора ;
- K1 – клапан скидання фреону з конденсатора фреон-повітря;
- K2 – клапан скидання фреону з конденсатора фреон-вода;
- SC1 – сигнал керування з частотного перетворювача потужністю припливного вентилятора

- SC2 – сигнал керування з частотного перетворювача потужністю витяжного вентилятора
- SC3 – сигнал керування з частотного перетворювача потужністю основного компресора
- SC1.1 – сигнал запуску припливного вентилятора з частотного перетворювача
- SC2.1 – сигнал запуску витяжного вентилятора з частотного перетворювача
- SC3.1 – сигнал запуску основного компресора з частотного перетворювача

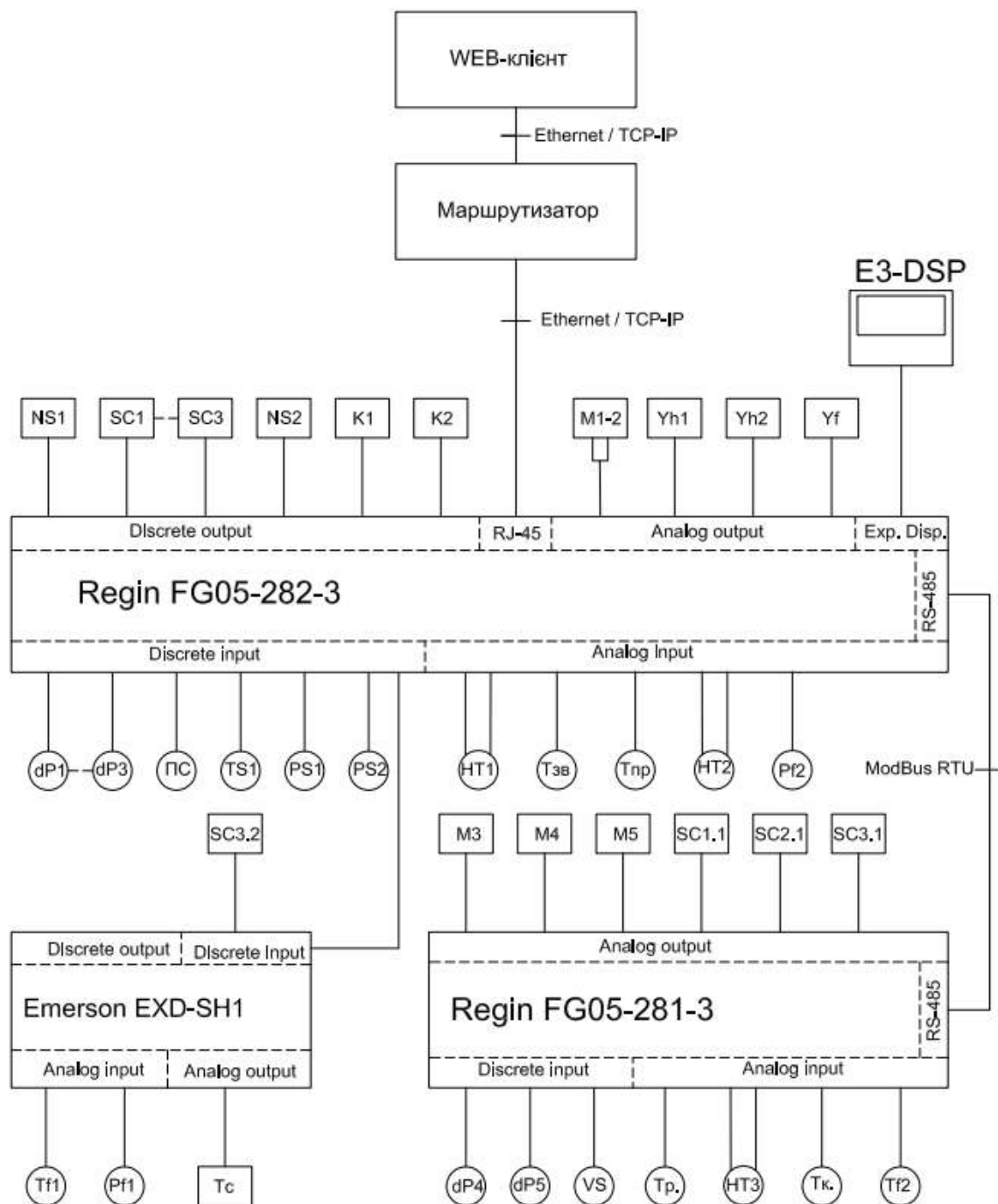


Рис. 3.1. Структурна схема ПТКЗА установки

Нижній рівень базується на ПЛК Regin FGA-282-3. Контролер FG05-281-3 виступає в якості модуля розширення, обмінюючись даними через інтерфейс RS-485 по протоколу ModBus RTU. Контролер Emerson передає сигнал аварії в разі виходу з ладу ЕРВ. Для реалізації НМІ було використано виносний дисплей Regin E3-DSP.

Спроекована система складається з двох рівнів. Нижній рівень виконує функції локального керування та збору інформації, а верхній рівень – функції супервізорного (SCADA) рівня керування. Локальна система буде реалізовуватись на базі програмно-логічного контролера і параметризованого контролера. Система супервізорного рівня буде здійснювати керування через WEB-клієнт на будь якому пристрої з браузером і виходом в глобальну мережу.

## 3.2 Розрахунок надійності реалізації функції ПТКЗА

### 3.2.1 Вимоги до надійності реалізації функцій АСР

Розрахунок надійності АСК складається з розрахунку надійності реалізації інформаційної, регулюючої та захисної функції. Завданням розрахунку заданого показника надійності функції . Якщо розрахований показник надійності менший від заданого, то треба зарезервувати найменш надійні елементи АСК.

Показником надійності інформаційної функції є середнє напрацювання на відмову  $T_{сер}$ , або ймовірність безвідмовної роботи  $P_o$ . Така умова є достатньо жорсткою, так як при відмові інформаційної функції інформація повністю втрачається .

Більш жорсткі вимоги ставляться до регулюючої функції, тому її надійність характеризується  $T_{сер}$ , середнім часом відновлення  $T_v$  та ймовірністю безвідмовної роботи за час  $\tau$  з урахуванням відновлення відмовляючої функції  $P_c(\tau)$ .

Вимоги до захисної функції більш жорсткі ніж до інформаційної та керуючої. При цьому працездатність захисної функції повинна бути забезпечена в момент аварії, а в проміжках між аваріями її відмови не впливають на працездатність АСК в цілому. Захисна функція характеризується  $T_{сер}$ , коефіцієнтом готовності  $K_{гот}$  або ймовірністю безвідмовної роботи при виконанні очікуваної задачі  $P_{оч}$ .

### 3.2.2 Структурні схеми надійності

На рис. 3.2 – 3.4 зображені структурні схеми надійності функцій для інформаційної, регулюючої та захисної функцій.



Рис. 3.2 Структурна схема надійності для інформаційної функції

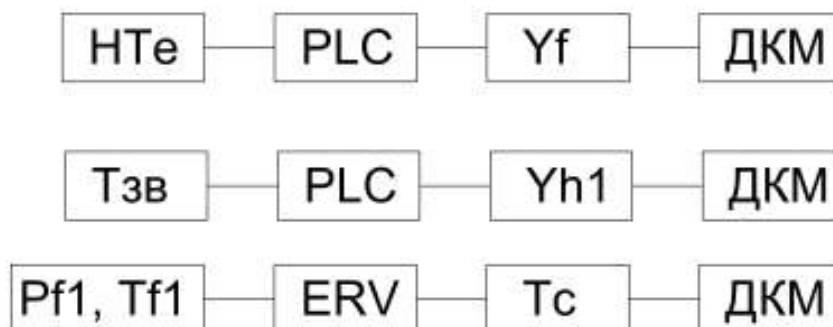


Рис. 3.3 Структурні схеми надійності для регулюючої функції



Рис. 3.4 Структурні схеми надійності для захисної функції

### 3.2.3 Розрахунок надійності функціонування АСК

Кожний елемент структурної схеми надійності характеризується інтенсивністю відмов  $\lambda, 1/\text{год}$  або середнім часом напрацювання на відмову

$$T_{\text{сер}} = \frac{1}{\lambda}, \text{год}.$$

Таблиця 3.6 Значення інтенсивності відмов і середнього часу напрацювання на відмову кожного елемента системи

Елемент	Позн.	$\lambda \cdot 10^{-6},$ 1/год	$T_{\text{сер}}, \text{год}$
Датчик температури зворотного теплоносія TG-K3-PT1000	Тзв	5	200000
Датчик температури і вологості KFTF-SD-U	НТе	10	100000

Захисний термостат Danfoss КР-61	TS1	5	200000
Програмно логічний контролер Regin FG05-282-3	PLC	10	100000
НМІ – панель оператора	HMI	4	250000
Водозмішувальний вузел(запірно-регулююча арматура, насос, клапан, привід)	Yh1	38	26280
Частотний перетворювач Siemens Simatic V20	SC	40	25000
Двигун вентилятора	M	11,4	87600
Параметризований контролер Emerson EXD-SH1	ERV	14	70000
Клапан ЕРВ FX6-109	Tc	71	14000
Датчик тиску всмоктування фреону ECN-N70	Pf1	8	120000
Датчик температури всмоктування фреону ECN-N60	Tf1	8	120000
Привід подачі фреону на конденсатори Belimo NR24-SR	Yf	67	15000
Реле перепаду тиску Regin DTV-500-OEM	dP1-dP5	5	200000
Деталі кріпильного монтажу	ДКМ	1,14	876000

Найменш жорсткі вимоги висуваються до інформаційної функції. Тому надійність виконання цієї функції характеризується параметром  $T_{cp}$ . Параметр  $T_{cp}$  розраховується за формулою (7.4).

$$T_{cp} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \quad . \quad (7.4)$$

$\lambda_i$ –інтенсивність потоку відмов  $i$ -го елемента ССН даної функції;

$n$ –кількість елементів у ССН.

Імовірність безвідмовної роботи за час  $\tau$  розраховується за формулою:

$$P(\tau) = e^{-\lambda\tau} = e^{-\frac{\tau}{T_{cp}}} ! \quad (7.5)$$

Більш жорстокі вимоги висуваються до регулюючої функції. Тому її надійність характеризується  $T_{cp}$  та  $T_B$ . Для керуючої функції розраховується імовірність безвідмовної роботи за час  $\tau$  з урахуванням відновлення за формулою (7.6).

$$P_c(\tau) = P(\tau) + [1 - P(\tau)] \cdot P_B(\tau) \quad (7.6)$$

Ймовірність відновлення працездатності:

$$P_B(\tau) = 1 - e^{-\frac{T_{доп}}{T_B}} \quad (7.7)$$

$T_{доп}$  – допустимий час функціонування об'єкта при невиконанні цієї функції АСУ ТП.

Найбільш жорсткі вимоги висуваються до захисних функцій. Надійність виконання захисної функції характеризується коефіцієнтом готовності, який розраховується за формулою (7.8).

$$K_{zom} = \frac{T_{cp}}{T_{cp} + T_B} \quad (7.8)$$

Для захисної функції розраховується імовірність безвідмовної роботи при виконанні очікуваної задачі  $P_{оч}(\tau)$  за формулою (7.9).

$$P_{оч}(\tau) = K_{zom} \cdot P(\tau) . \quad (7.9)$$

Розрахуємо загальну інтенсивність відмов, середній час напрацювання на відмову та ймовірність безвідмовної роботи для кожної функції АСУ за формулою (7.7), (7.8) та (7.9).

Інформаційна функція:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = 10 + 10 + 4 + 1,14 = 25,14 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год}$$

Для керуючої функції:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = 10 + 10 + 67 + 1,14 = 88,14 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год}$$

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = 5 + 10 + 67 + 1,14 = 83,14 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год}$$

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = 8 + 14 + 71 + 1,14 = 94,14 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год}$$

Для захисної функції:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = 5 + 10 + 40 + 11,4 + 1,14 = 67,54 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год}$$

$$T_{\text{сер}} = \frac{1}{\lambda} . \quad (7.10)$$

де  $T_{\text{сер}}$  – середнє напрацювання на відмову для схеми;  $\lambda$  – загальна інтенсивність відмов.

Звідси для інформаційної функції:

$$T_{\text{сер}} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{25,14 \cdot 10^{-6}} = 39777 \text{ год}$$

Для керуючої функції:

$$T_{\text{сер1}} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{88,14 \cdot 10^{-6}} = 11346 \text{ год}$$

$$T_{\text{сер2}} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{83,14 \cdot 10^{-6}} = 12028 \text{ год}$$

$$T_{\text{сер2}} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{94,14 \cdot 10^{-6}} = 10623 \text{ год}$$

Для захисної функції:

$$T_{\text{сер}} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{67,54 \cdot 10^{-6}} = 14806 \text{ год}$$

$$P(\tau) = e^{-\lambda\tau} = e^{-\frac{\tau}{T_{\text{сер}}}} . \quad (7.11)$$

$P$  – ймовірність безвідмовної роботи за час  $\tau$ ;  $\lambda$  – загальна інтенсивність відмов. Задаймося  $\tau = 1500$  год.

Звідси для інформаційної функції:

$$P(\tau) = e^{-\lambda\tau} = e^{-25,14 \cdot 10^{-6} \cdot 1500} = 0,96$$

для керуючої функції:

$$P1(\tau) = e^{-\lambda\tau} = e^{-88,14 \cdot 10^{-6} \cdot 1500} = 0,87$$

$$P2(\tau) = e^{-\lambda\tau} = e^{-83,14 \cdot 10^{-6} \cdot 1500} = 0,88$$

$$P3(\tau) = e^{-\lambda\tau} = e^{-94,14 \cdot 10^{-6} \cdot 1500} = 0,86$$

Для захисної функції:

$$P(\tau) = e^{-\lambda\tau} = e^{-67,54 \cdot 10^{-6} \cdot 1500} = 0,90$$

Для керуючої функції розрахуємо ймовірність безвідмовної роботи за 1000 годин з урахуванням відновлення функції яка може бути відмовлена. Для цього спочатку розраховуємо ймовірність відновлення працездатності, задавши середній час встановлення працездатності  $T_6 = 4$  год та припустимий час функціонування об'єкту при невиконанні керуючої функції:  $T_{\text{прин}} = 5$  год

$$P_6 = 1 - e^{-\frac{T_{\text{прин}}}{T_6}} = 1 - e^{-\frac{5}{4}} = 0,713$$

Для захисної функції обрахуємо коефіцієнт готовності:

$$K_{\text{гот}} = \frac{T_{\text{ср}}}{T_{\text{ср}} + T_{\text{в}}} = \frac{14806}{14806 + 4} = 0,999$$

Ймовірність безвідмовної роботи при виконанні очікуваної задачі  $P_{\text{оч}}(\tau)$ :

$$P_{\text{оч}}(\tau) = K_{\text{гот}} \cdot P(\tau) = 0,999 \cdot e^{-67,54 \cdot 10^{-6} \cdot 1500} = 0,95$$

Таблиця 3.7 Отримані результати розрахунку надійності

Функція	$\lambda \cdot 10^6, 1/\text{год}$	$T_{\text{ср}}, \text{год}$	$P(\tau)$
Інформаційна	25.14	39777	0,96
Керуюча 1	88.14	11346	0,87
Керуюча 2	83.14	12028	0,88
Керуюча 3	94.14	10623	0,86

Захисна	67.54	14806	0.90
---------	-------	-------	------

Рівень надійності виконання функцій АСК відповідає наступним вимогам:

Середнє напрацювання на відмову для усіх функцій  $T_{сер} > 1000 год$ ;

Середній час відновлення для регулюючої функції  $T_в < 4 год$ ;

Коефіцієнт готовності для захисної функції  $K_{гот} > 0.998$ .

З розрахунків видно, що  $P_{інформац.}(\tau) > P_{керуючої}(\tau)$ . Це означає, що інформаційна функція є більш надійною ніж керуюча, що і відповідає формальним вимогам надійності.

### 3.3 Опис программно-технічних рішень нижнього і верхнього рівня ПТКЗА

#### 3.3.1 Взаємодія SCADA-системи з нижнім рівнем автоматизації

Нижній рівень припливно-витяжної установки включає в себе, перш за все, шафу автоматизації з підведеними датчиками і виконавчими механізмами і з ПЛК, для якого розроблена програма керування. Верхній рівня АСУ ТП являє собою робочі станції на основі ПК та операторської панелі. Програмною платформою супервізорного є HMI/SCADA.

SCADA – супервізорний контроль та збирання даних – промислове ПЗ, яке реалізує обмін даних з контролером.

Для даного проекту оберемо SCADA-систему OpenScada.

В даній SCADA-системі реалізовані такі функції:

- Обмін даними з нижнім рівнем ПТКЗА;
- Стан технологічного об'єкту;
- Архівування даних;
- Ведення трендів;
- Ведення алармів.

Обмін даними з нижнім рівнем реалізований відповідними налаштуваннями програмного забезпечення. Діалогове вікно SCADA-програми з мнемосхемою та переліком ключових параметрів забезпечує

наглядне відображення роботи технологічного об'єкту та надає можливість керувати окремими елементами об'єкту. Діалогові вікна із трендами та алармами забезпечують відслідковування та сповіщення недопустимих значень технологічних параметрів. Скрипти як внутрішні сценарії роботи SCADA-системи і програми забезпечують обробку подій у роботі технологічного об'єкту відповідно потребам користувача. Перераховані функції забезпечують повноцінне функціонування SCADA-програми в рамках верхнього рівня ПТКЗА, оскільки забезпечують повне інформаційне забезпечення оператора про стан технологічного процесу та реалізують відповідні можливості взаємодії оператора з технологічним об'єктом.

### 3.3.2 Опис програмного забезпечення локального рівня ПТКЗА

Програмне забезпечення локального рівня ПТКЗА створено за допомогою середовища програмування контролерів Regis – EgoDesigner Project Builder.

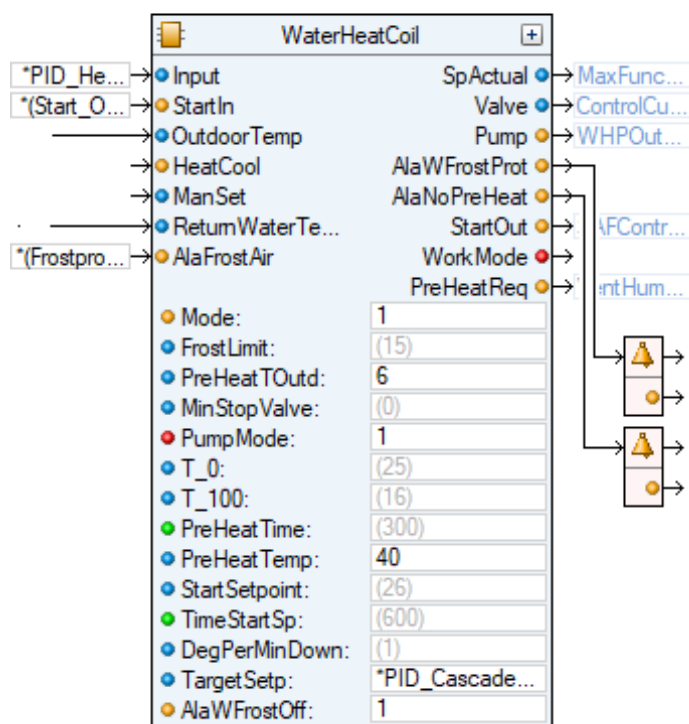



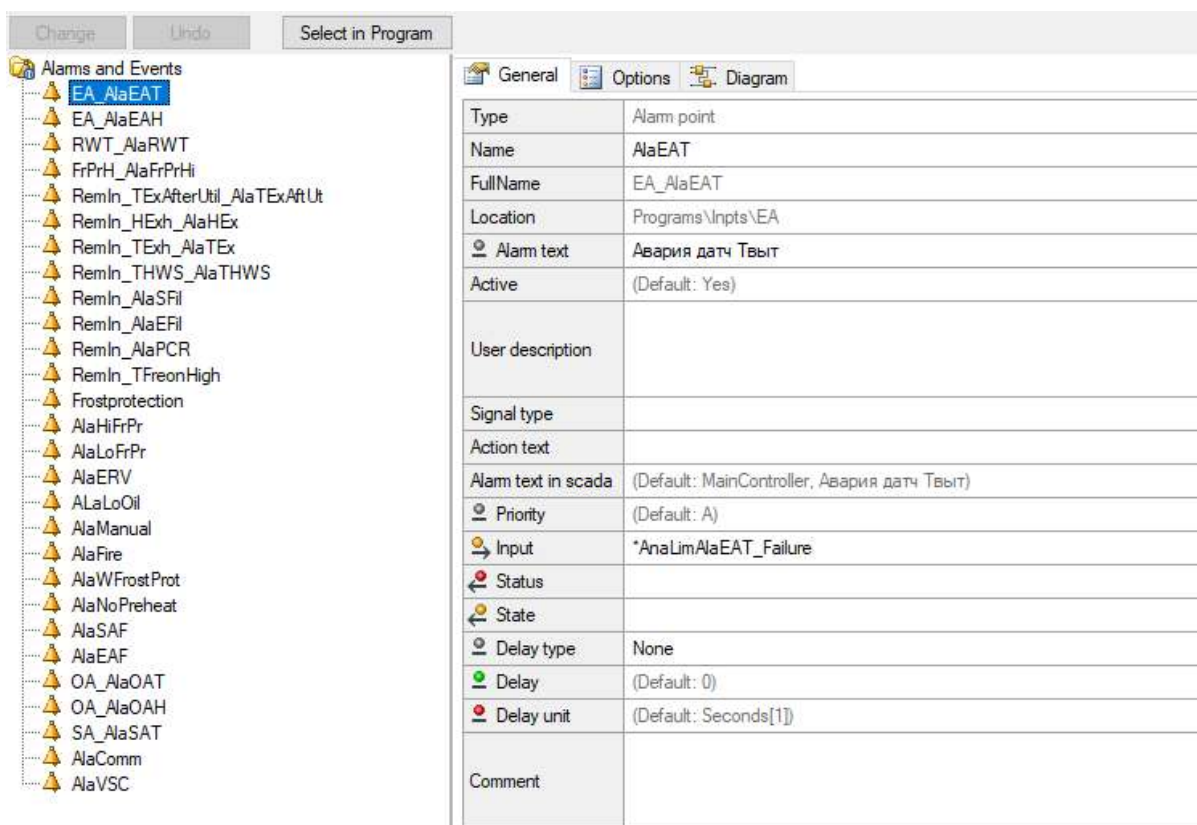
Рис. 3.5 Загальний вигляд блоку роботи калорифера

Вхідні параметри: Input – керуючий сигнал від ПІ регулятора, StartIn – команда на запуск установки, OutdoorTemp – значення від датчика температури повітря на вулиці, ReturnWaterTemperature – значення від датчика температури зворотнього теплоносія, AlaFrostAir – статус аварії

замороження по температурі повітря. Нижче задаються такі основні параметри: FrostLimit – температура спрацювання захисту від замороження калорифера, PumpMode - режим роботи циркуляційного насосу, T\_0-T\_100 – температури теплоносія, при яких клапан повністю відкритий або повністю закритий, PreHeatTime – час прогріву калорифера.

Вихідні параметри: Valve – керуючий вплив на 3х-ходовий клапан калорифера, Pump - управління циркуляційним насосом, StartOut – запуск вентиляторів,AlaWFrostProt – аварія загрози замерзання по повітрю , AlaNoPreHeat – аварія недогріву калорифера.

В налаштуваннях Alarms and Events,які позначено символом  задано різноманітні аварійні ситуації,описані в функції сигналізації.В цьому вікні можна задавати ім'я вхідної змінної, яка досягла аварійного значення, пріорітет та затримку на аварію.



Alarms and Events	
EA_AlaEAT	Alarm point
EA_AlaEAH	AlaEAT
RWT_AlaRWT	FullName EA_AlaEAT
FrPrH_AlaFrPrHi	Location Programs\Inpts\EA
RemIn_TExAfterUtil_AlaTExAftUt	Alarm text Авария датч Твыт
RemIn_HEXh_AlaHEX	Active (Default: Yes)
RemIn_TExh_AlaTEx	User description
RemIn_THWS_AlaTHWS	Signal type
RemIn_AlaSFi	Action text
RemIn_AlaEFil	Alarm text in scada (Default: MainController, Авария датч Твыт)
RemIn_AlaPCR	Priority (Default: A)
RemIn_TFreonHigh	Input *AnaLimAlaEAT_Failure
Frostprotection	Status
AlaHiFrPr	State
AlaLoFrPr	Delay type None
AlaERV	Delay (Default: 0)
ALaLoOil	Delay unit (Default: Seconds[1])
AlaManual	Comment
AlaFire	
AlaWFrostProt	
AlaNoPreheat	
AlaSAF	
AlaEAF	
OA_AlaOAT	
OA_AlaOAH	
SA_AlaSAT	
AlaComm	
AlaVSC	

Рис. 3.6 Загальний вигляд меню нашаштування аварій

### 3.3.3 Робота з меню контролера через виносний дисплей

Контролер обладнаний виносним текстовим дисплеєм E3-DSP на 4 рядки по 20 символів, через який проводяться пуско-налагоджувальні роботи і керування вентиляційною установкою. Підключення з контролером відбувається через порт Exp.Disp.



Рис.3.7 Загальний вигляд виносного дисплею

Основне меню має такий вигляд:

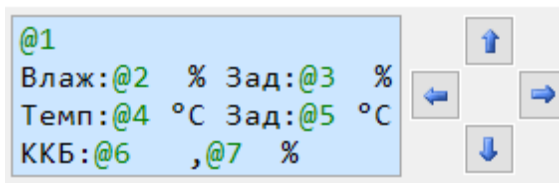


Рис.3.8 Головне меню 1.

Символами позначено: @2-значення вологості в приміщенні, @3-завдання вологості в приміщенні, @4-значення температури в приміщенні, @5-завдання температури в приміщенні, @6-статус роботи ККБ (Вкл/Викл), @7-потужність ККБ (0-100%)

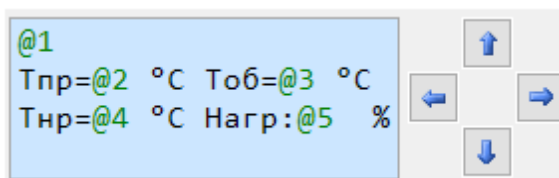


Рис.3.9 Головне меню 2.

Символами позначено: @2-температура припливного повітря, @3-температура зворотнього теплоносія, @4-значення температури повітря на вулиці, @5-положення клапану калорифера (0-100%).

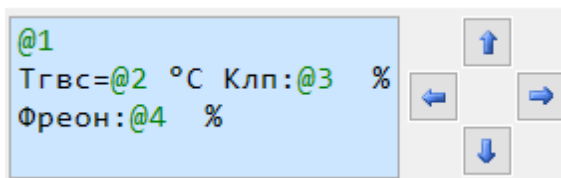


Рис.3.10 Головне меню 3.

Символами позначено: @2-температура води на виході з конденсатора фреон-вода, @3-положення клапану подачі води з конденсатора фреон-вола до ГВС (0-100%), @4- положення клапану подачі фреону (газ) на конденсатори (0-100%).

### 3.3.4 Опис програмного забезпечення супервізорного рівня ПТКЗА

Програмне забезпечення верхнього рівня системи автоматизації представлено у вигляді SCADA-програми. SCADA-програма включає наступні розроблені вікна: мнемосхема, тренди, аларми.

На головному вікні мнемосхеми зображено об'єкт та його технологічні параметри (рис. 3.11).

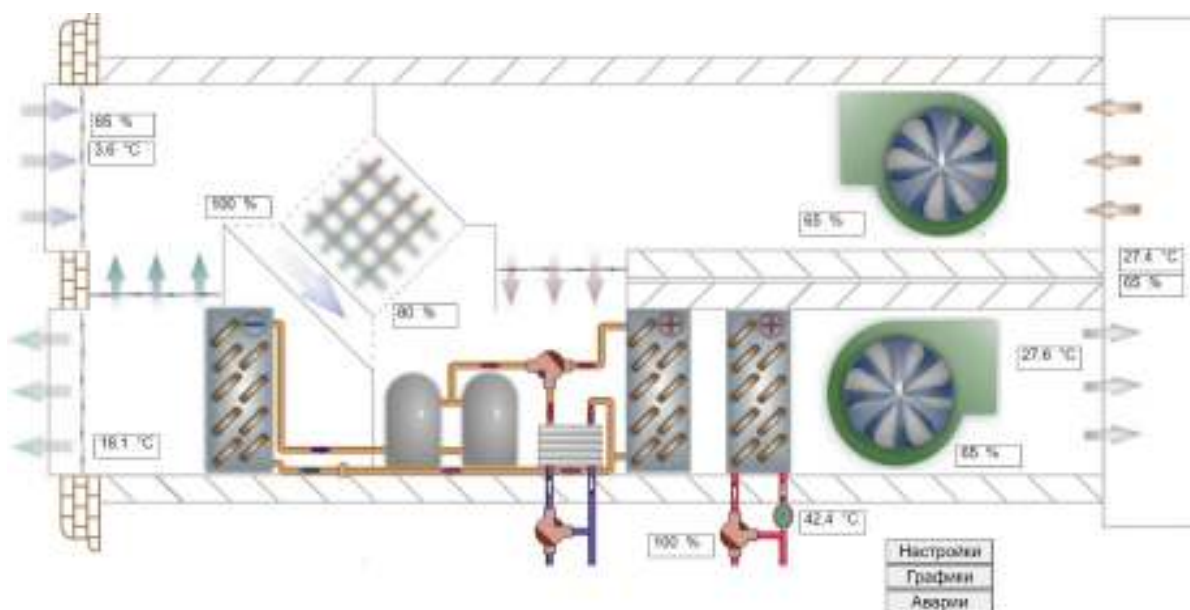


Рис. 3.11 Мнемосхема вентиляційної установки

При переході на вкладку “Настройки” відкриється меню налаштувань рис. 3.56.

Parameter	Value	Parameter	Value
Мин.Ск-ть Вент.Прит	60	Температура для выхода с прогрева	30
Макс.Ск-ть Вент.Прит	65	Время предпрогрева	30
ЕКО Мин.Ск-ть Вент.Прит	20	Уставка заморозки по обр воде	15
ЕКО Макс.Ск-ть Вент.Прит	50	Тобр при 100% клапана	16
Мин.Ск-ть Вент.Выт	60	Тобр при 0% клапана	25
Макс.Ск-ть Вент.Выт	65	Время работы на повышенную уставку	600
ЕКО Мин.Ск-ть Вент.Выт	40	Тнар автопереход сезонов	16
ЕКО Макс.Ск-ть Вент.Выт	49	Гистерезис перехода сезонов	10
Мин.Зн-чение заслонки НВ	80	Зад.Заспуска Прит.Вент.	30
ЕКО Мин.Зн-чение заслонки НВ	10	Зад. Аварии Прит.Вент	10
Макс.Зн-чение заслонки НВ	100	Зад.Заспуска Выт.Вент	30
ЕКО Макс.Зн-чение заслонки НВ	20	Зад.Аварии Выт.Вент	30
Наружн тем-ра зимний режим	7	Мин открытие горячего клапана	0
		Макс открытие горячего клапана	100

Рис. 3.12 Базові налаштування установки

В цьому пункті меню задаються основні параметри завдання для вентиляційної установки. При переході на вкладку “Аварии” відкриється 2 меню налаштувань рис. 3.13.

№	Дата и время	Уровень	Сообщение
0	23.10.2020 18:23:50	5	Тепловый Авария
1	23.10.2020 6:27:59	5	Надогрев Заблокирована
2	23.10.2020 6:27:41	5	Надогрев Подтверждена
3	23.10.2020 6:27:33	5	Надогрев Авария
4	23.10.2020 6:27:31	5	Надогрев Норма
5	23.10.2020 7:59:28	5	Надогрев Заблокирована
6	23.10.2020 7:58:38	5	Надогрев Подтверждена
7	23.10.2020 7:58:12	5	Надогрев Авария

Рис. 3.13 Вікно перегляд журналу аварій

НМІ панель та контролер з'єднуються локально за допомогою протоколу Modbus RTU через інтерфейс RS-485.

При переході на вкладку “Графики” відкриється меню налаштувань рис. 3.14.



Рис. 3.14 Графіки параметрів вентиляційної установки

В цьому вікні відображаються тренди реального часу з можливістю перегляду історичних трендів шляхом вибору дати і часу. На першому графіку зображено графік параметрів з датчиків, на другому – зміна положення виконавчих механізмів з аналоговим керуванням. На третьому графіку відображено зміна положення виконавчих механізмів з дискретним керуванням. Під кожним графіком обирається необхідний параметр.

## РОЗДІЛ 4

### Розробка стартап проекту

#### 4.1 Опис ідеї проекту

Ідея даного проекту складається з розробки системи вентиляції з вбудованим холодом, яка має високий КПД для підтримки параметрів мікроклімату в приміщенні. Для цього запропоновано використовувати контур вбудованого холоду з двома конденсаторами для ефективної роботи вентиляційної установки в усі пори року.

Таблиця 4.1 Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розробка системи керування припливно-витяжною системою вентиляції з рекуперацією, рециркуляцією і вбудованим холодом	Створення системи керування з нуля/ повне оновлення існуючої системи керування	Нова система автоматизації з сучасним обладнанням
	Часткове оновлення системи керування, куди входять засоби автоматизації і система диспетчеризації	Модернізація застарілих засобів автоматизації, створення системи диспетчеризації
	Часткове оновлення системи автоматизації, до якої входить додавання системи диспетчеризації	Створення системи диспетчеризації для керування вентиляційною установкою через Web-клієнт

Аналіз переваг ідеї в порівнянні із конкурентами наведено в таблиці 4.2

Таблиця 4.2 Аналіз переваг ідеї проєкту

Техніко-економічні характеристики ідеї	Товари конкурентів			W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
	Даний проєкт	Аеростар	Маестро клімат			
Віддалене керування установкою	Наявне	Наявне	Відсутнє			+
Надійність обладнання	Обладнання з високим ступенем надійності	Обладнання з високим ступенем надійності	Обладнання з середнім ступенем надійності			+
Ефективність	Високий КПД в усі пори року	Низький КПД в літню пору року	Низький КПД в літню пору року			+
Ціна					+	

#### 4.2 Технічний аудит ідеї проєкту

Визначення технологічної реалізації данного проєкту наведено в таблиці. Відповідно до проведеного аналізу можна зробити висновок, що ідея проєкту є технологічно здійсненою.

Таблиця 4.3 Технологічна здійсненість ідеї проєкту

Ідея проєкту	Технології її реалізаціх	Наявність технології	Доступність технології
Автоматизоване керування вентиляційною установкою	ПЛК, датчики температури, тиску, вологості, виконавці механізми	В наявності	Широкий доступ
Диспетчеризація вентиляції	SCADA-система з відображенням через WEB-клієнт	В наявності	Широкий доступ

### Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

В Таблиці представлено характеристику ринку, який є потенційним для реалізації стартап-проекту.

Основні фактори впливу на реалізацію стартап-проекту:

- Зростання динаміки ринку
- Рентабельність в галузі вище банківського вкладення
- Кількість конкурентів

Таблиця 4.4 Характеристика потенційного ринку стартап-проекту

Показник стану ринку	Характеристика
Кількість конкурентів, од	3
Динаміка ринку	Зростає
Вимоги до стандартизації і сертифікації продукції	Відсутні
Середня норма рентабельності в галузі, %	50%

В таблиці 4.5 наведено основні вимоги до проекту і групи потенційних клієнтів

Таблиця 4.5 Характеристика потенційних клієнтів

Основна потреба ринку	Цільова аудиторія	Відмінності у вимогах різних клієнтів	Вимоги споживачів до продукції
Диспетчеризація	Власники фітнес-центрів, басейнів, спортивних зал	Кожний клієнт виділяє такі параметри як вартість і надійність	Доступ до інформації про стан вентиляційної установки в реальному часі, можливість віддаленого керування

Основні фактори загроз і можливості, які будуть перешкоджати впровадженню проекту та шляхи його сприянню наведено в таблицях 4.6 відповідно.

Таблиця 4.6 Основні фактори

Фактор	Зміст загрози/можливості	Можлива реакція компанії
Нерозуміння важливості системи диспетчеризації	Клієнти в більшості випадків не розуміють важливості введення віддаленого керування-системи диспетчеризації для вентиляційної установки	Розкрити переваги і важливість даної системи
Висока ціна	Клієнти мають обмежений бюджет на впровадження	Пошук шляхів зменшення ціни для ідеального відношення ціна/якість
Надійність системи	Система автоматизації створена з використанням засобів контролю, керування та безпеки з високим ступенем надійності	Пропозиція впровадження данного проекту, який виконаний з урахуванням високих вимог до надійності

Виконаємо аналіз пропозиції та визначимо загальні риси конкуренції на ринку. Результати наведені у таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 Загальні риси конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	Проявлення данної характеристики	Вплив на діяльності підприємства
Тип конкуренції – чиста конкуренція	Відсутній високий поріг для входу	Участь у виставках і презентациях вентиляційного обладнання, тендерах
Рівень конкурентної боротьби – національний	Реалізація проекту в значній мірі потребує присутність майже всієї команди, через що складно працювати з іноземними клієнтами	Просування товару по всій країні
Конкуренція за галузевою ознакою – внутрішньогалузева	Рішення з інших галузей не відповідають задоволенням вимог клієнтів	Робити аналіз і рекламу переваг свого проекту перед конкурентом в данній галузі
Конкуренція за видами товарів – товаро-видова		Використання передового надійного обладнання для довгострокового використання
Конкуренція за видами конкурентних переваг – цінова	Залежність від ціни	Найкраща собівартість товару, завдяки чому отримується значний вигравш в ціні при значних об'ємах закупівель
Конкуренція за інтенсивністю - марочна	Схожість функцій	Надкання функцій, які не надають конкуренти, оптимізація функцій, що мають коанкуренти

На основі аналізу конкуренції проведемо більш поглиблений аналіз умов конкуренції за моделлю 5 сил М.Портера, які зображено в таблиці 4.8

Відповідно, за цими результатами можна зробити висновок: для конкурентоспроможності проект необхідно презентувати на тендерах, тематичних виставках, шукати рішення для оптимізації собівартості продукту та впровадження нових функцій, які не присутні у конкурентів.

Таблиця 4.8 Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	1.Аеростар 2.Маестро клімат	Олігополія конкурентів	Розміри поставок,встановлення ціни і кількості товару	Низька ціна разом з високою ефективністю	Відсутні
Висновки:	Конкурента боротьба середньої інтенсивності	Можливості виходу на ринок є через найкраще відношення ціна/якість	Постачальники задають ціну та кількість продукції	Клієнти задають вимоги згідно з умовами експлуатації	Обмеження відсутні

Далі виконаємо аналіз факторів конкурентоспроможності, представлених в таблиці 4.9

Таблиця 4.9 Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
Система диспетчеризації	У конкурентів значно вища ціна на систему віддаленого керування

Технічне обслуговування	Наявність технічної бази і команди для обслуговування
Надійність	В даному рішенні використовується обладнання з високим ступенем надійності, як у конкурентів, але за меншу собівартість
Індивідуальний підхід	Потреби споживачів впливають на зміст рішення і його кінцеву реалізацію
Гарантія	2 роки – безкоштовного гарантійного обслуговування вентиляційної установки
Ціна та собівартість продукції	Конкурентоспроможна ціна

За визначеними факторами конкурентоспроможності проведемо аналіз слабких і сильних сторін старап-проекту, представленого в таблиці 4.10

Таблиця 4.10 Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «VAS»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з Siemens							
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	
1	Система диспетчеризації	20	+							
2	Технічне обслуговування	20	+							
3	Надійність	18		+						
4	Гарантія	20	+							
5	Ціна та собівартість продукції	19		+		+				

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін, що наведені у таблиці 5.11.

Таблиця 4.11 SWOT- аналіз стартап-проекту

<p><b>Сильні сторони:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Система диспетчеризації</li> <li>- Надійність обладнання</li> <li>- Конкурентоспроможна ціна</li> <li>- Значний термін гарантії</li> </ul>	<p><b>Слабкі сторони:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ціна</li> </ul>
<p><b>Можливості:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Зростання довіри після перших впроваджень</li> <li>- Розширення ринку</li> <li>- Замовник поступово буде розуміти необхідність диспетчеризації</li> </ul>	<p><b>Загрози:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Створення конкурентами аналогічних або схожих рішень</li> </ul>

На основі SWOT-аналізу розробимо альтернативи ринкового впровадження для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації. Дані альтернативи наведені у таблиці 4.12.

Таблиця 4.12 Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Орієнтація даного проекту на ринок приватних підприємств	70%	3 місяці
2	Орієнтація даного проекту на ринок державних підприємств	60%	4 місяці

Відповідно до описаних вище альтернатив, основна орієнтація даного рішення – приватні підприємства, такі як басейни, фітнес-клуби, оскільки

маємо вищу ймовірність отримання ресурсів з найменшими термінами реалізації

### 4.3 Розроблення ринкової стратегії проекту

На початку у розробці ринкової стратегії проведемо визначення стратегії охоплення ринку з описом цільових групи потенційних клієнтів. Отримані результати наведено у таблиці 4.13.

Таблиця 4.13 Вибір цільових груп потенційних споживачів

Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в мережах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу в сегмент
Власники великих фітнес-центрів(можливо з басейнами)	Потребують недовгих переговорів	Високий	Середній	Нескладно
Власники середніх та малих спортзалів і басейнів	Потребують значного часу на переговори	Середній	Низка	Нескладно

Основною цільовою групою обрано власників великих фітнес-центрів та спортзалів.

Відповідно до основної цільової групи оберемо стратегію дифереційованого маркетингу (охоплення ринку) і сформуємо базову стратегію розвитку, описану в таблиці 4.14.

Таблиця 4.14 Визначення базової стратегії розвитку

Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Позиції за конкурентоспроможністю згідно з обраною альтернативою	Базова стратегія розвитку
Орієнтир даного рішення і ринок приватних підприємств в крупних містах	Стратегія диференційованого маркетингу	Приватні підприємства великих міст мають більшу потребу у диспетчеризації та високі вимоги до надійності обладнання	Стратегія диференціації

На основі вимог клієнтів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту (див. таблицю 4.5), а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку (таблиця 4.14) та стратегії конкурентної поведінки (таблиця 4.15) розробимо стратегію позиціонування, що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проект. Результати наведені у таблиці 4.16

Таблиця 4.15 Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Чи є проектне рішення “першопрохідцем” на ринку?	Чи буде компанія шукати нових клієнтів чи переманювати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні властивості товару конкурента і які саме?	Стратегія конкурентної поведінки
Ні	Пошук нових клієнтів	Якщо у конкурентної компанії з’являться “нові” рішення, то компанія буде намагатися їх копіювати	Стратегія займання конкурентної ніші

Таблиця 4.16 Визначення базової стратегії позиціонування

Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Конкурентноспроможні пункти даного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувавши комплексну позицію власного проекту
Ні	Пошук нових клієнтів	Якщо у конкурентів з'явиться обладнання з кращими характеристиками, то компанія буде намагатися вдосконалити їх і шукати шляхи зменшення собівартості	Стратегія займання конкурентної ніші

#### 4.4 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Далі покажемо маркетингову концепцію товару, яку отримає клієнт. Підсумки аналізу конкурентноспроможності товару на ринку представлено у таблиці 4.17.

Таблиця 4.17 Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
1	Система диспетчеризації	Віддалене керування вентиляційною установкою через Web-клієнт	Нижча ціна у порівнянні з конкурентами

2	Надійність	Обладнання з найбільшим ступенем надійності	Нижча ціна у порівнянні з конкурентами
3	Гарантія	Найбільш тривалий термін гарантії	Менший термін гарантії у конкурентів

Далі визначемо межі цін, якими будемо дотримуватись при встановленні ціни на потенційний товар. Аналіз буде проводитись експертним методом і представлено в таблиці

Таблиця 4.18 Визначення меж встановлення ціни

Ціна на товари-замінники	Ціна на товари-аналоги	Доходи цільових груп споживачів	Верхня та нижня межа встановлення ціни на товар
30000-65000 грн.	35000-70000 грн.	5000-35000 грн.	90000-320000 грн.

Тепер визначимо напрямок оптимального збуту. Результати представлено у таблиці 4.19.

Таблиця 4.19 Напрямок оптимального збуту

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту постачальника товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
Закупівля через тендери або через комерційну пропозицію	Дотримання норм і термінів запровадження системи	Живе спілкування та ділові зустрічі	Проводити збут власноруч через тендери або через комерційну пропозицію

Після проведених аналізів побудуємо концепцію маркетингових комунікацій, яка буде опиратися на попередню обрану основу для позиціонування та визначену специфіку поведінки клієнта. Результати представлено у таблиці 4.20.

Таблиця 4.20 Концепція маркетингових комунікацій

Специфіка поведінки клієнтів	Канали комунікацій і цільових клієнтів	Ключові позиції для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Влаштування тендеру для отримання даного рішення	Веб-сайти, мобільний телефон, e-mail	Система диспетчеризації вентиляційної установки	Показати клієнту важливість системи диспетчеризації та різницю в ціні у конкурентів	Демонстрація рішення даного проекту

Ринкове запровадження даного проекту можливе, так як на даний момент присутній попит на даний товар. Динаміка розвитку ринку постійно зростає через розширення великих міст і побудови нових фітнес-центрів, басейнів і спортзалів. Висока рентабельність можлива через ефективне виконання системи вбудованого холоду. Також зростає попит на систему диспетчеризації для віддаленого керування вентиляційною установкою для спрощення керування і обслуговування технологічного устаткування. Запропоноване проектне рішення перспективне і привабливе для залучення коштів інвесторів.

## ВИСНОВОК

В результаті розробки даної системи підтримання параметрів мікроклімату в приміщенні з басейном отримано наступне:

1. Створено та реалізовано модель системи автоматичного керування припливно-витяжно вентиляційною установкою з рекуперацією, і рециркуляцією тепла, а також вбудованим холодом впродовж всього року. Для моделювання було використано метеоданні для нашої країни.
2. Створено SCADA-систему та програму нижнього рівня на основі програмного забезпечення EhoDesigner.
3. Виконано порівняння системи автоматизації на основі ПІ регулятора каскадної та одноконтурної системи, а також моделі з Предиктором Сміта. Система керування на основі каскадної системи є кращою з точки зору перехідних процесів по каналу збурення-вихід з найкращими показниками якості, тоді як модель Предиктора Сміта краще показала себе по каналу завдання-вихід.
4. Розроблено стартап-проект з дослідженням на всіх етапах впровадження представленого рішення, яке складається з виробництва вентиляційної установки і системи автоматики для неї. Враховуючи унікальність і ціну, дане рішення досить конкурентноспроможне для впровадження на ринок.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Handbook of PI and PID Controller Tuning Rules (2<sup>nd</sup> Edition)/Aidan O'Dwyer; Dublin Institute of Technology, Ireland, 2006 – 545с.;
2. ДСТУ 4163-2003 Вимоги до оформлювання документів.
3. Методичні вказівки до вивчення дисципліни “Проектування систем керування” для студентів спеціальності “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології” // Укладач: Баган Т.Г. – Київ: НТУУ “КПІ”. – 2018 р. – 44 с.
4. Ротач В.Я Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами. – М.: Энергоатомиздат, 1985;
5. Контролеры Regis. Технические данные. Руководство;
6. ДСТУ 2862-94. Надійність техніки. Методи розрахунку показників надійності. Загальні вимоги;
7. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт, самостійної роботи студентів НТУУ “КПІ” спеціальностей 6.05020201 “Автоматизоване управління технологічними процесами” спеціальності 6.05020202 “Комп’ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва” / Укл.: О. В. Степанець, С.Г, Батюк – К.: КПІ, 2018. – 60 с.
8. Системи автоматизованого проектування: Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів НТУУ “КПІ імені Ігоря Сікорського” спеціальності “151 Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології” спеціалізації “Автоматизоване управління технологічними процесами” та “Комп’ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва” // Укладачі: Т.Г. Баган, А.П. Ущатовський – К.: “КПІ імені Ігоря Сікорського”. – 2019 р. – 19 с.

9. Автоматизация систем вентиляции и кондиционирования воздуха: [Учеб. пособие] / Е. С. Бондарь, А. С. Гордиенко, В. А. Михайлов, Г. В. Нимич. Под общ. Ред. Е. С. Бондаря – К.: ТОВ “Видавничий будинок “Аванпост-Прим” 2005 – 560 с.: ил. – Библиогр.: с. 548-549.

10. Методичні рекомендації щодо оформлення курсових та дипломних проектів для студ. теплоенергетичного факультету усіх спеціальностей очної та заочної форм навчання / Уклад. Т.Г. Баган, С.Г. Батюк, В.П. Бунь, М.Ю. Ізгорев, С.Ю. Олійник. – К.: ІВЦ «Видавництво “Політехніка”», 2001. – 39 с