

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Навчально-науковий інститут атомної та теплової енергетики
Кафедра автоматизації енергетичних процесів**

До захисту допущено:
Завідувач кафедри
_____ Володимир ВОЛОЩУК
« ____ » _____ 20__ р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

**за освітньо-професійною програмою «Автоматизація та комп'ютерно-
інтегровані технології»**

спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

на тему: «АСК мікрокліматом в офісному приміщенні»

Виконав:

студент IV курсу, групи ТА-91

Савчук Віталій Вікторович _____

Керівник:

Доцент, к.т.н.

Новіков Павло Валерійович _____

Консультант з охорони праці:

Доцент, к.т.н.

Каштанов Сергій Федорович _____

Рецензент:

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.
Студент _____

Київ – 2023 року

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Навчально-науковий інститут атомної та теплової енергетики

Кафедра автоматизації енергетичних процесів

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно інтегровані технології кібер-енергетичних систем»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Володимир ВОЛОЩУК

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Савчуку Віталію Вікторовичу

1. Тема проєкту «АСК мікрокліматом в офісному приміщенні», керівник проєкту доцент, к.т.н., Новіков Павло Валерійович, затверджені наказом по університету від «29» травня 2023р. №2039-с
2. Термін подання студентом проєкту «14» червня 2023 р.
3. Вихідні дані до проєкту: Літературні джерела. Офісне приміщення площею 170 м2, одноповерхове.
4. Зміст пояснювальної записки: Вступ. Характеристика технологічного об'єкту управління. Інженерний розрахунок САР. Опис графічної частини проєкту. Програмування ПТКЗА. Імітаційне моделювання ТОК АТК. Охорона праці. Техніко-економічний розрахунок. Висновки.
5. Перелік графічного матеріалу: Функціональна схема автоматизації, Структурна схема ПТК, Схема принципова електрична, Креслення загального виду щита автоматизації, Монтажна схема щита та Схема з'єднань зовнішніх проводок.

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
З питань охорони праці	Каштанов С.Ф., доцент, к.т.н		
З нормоконтролю	Некрашевич О. В. старший викладач		

7. Дата видачі завдання

«22» травня 2023 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Постановка задачі автоматизації ТОУ. Обґрунтування та аналіз.	20.04.2023	
2	Структура ПТК	24.04.2023	
3	Схема автоматизації функціональна	28.04.2023	
4	Креслення загального виду щита	03.05.2023	
5	Синтез САР і аналіз її функціонування.	07.05.2023	
6	Розрахунок вимірювальних та виконавчих каналів АТК	11.05.2023	
7	Схема електрична підключень	15.05.2023	
8	Розрахунок надійності функціонування АСУ	20.05.2023	
9	Схеми підключень кабелів, клем, приладів	21.05.2023	
10	Полігонні випробування імітаційної моделі і аналіз функціонування АСУ	24.05.2023	
11	Охорона праці	02.06.2023	
12	Розрахунок техніко- економічної ефективності	03.06.2023	
13	Оформлення пояснювальної записки	09.06.2023	
14	Передзахист ДП	16.06.2023	
15	Захист ДП	22.06.2023	

Студент

Віталій САВЧУК

Керівник

Павло НОВІКОВ

АНОТАЦІЯ

Дипломний проєкт присвячено розробці та дослідженню автоматизованої системи керування мікрокліматом в офісному приміщенні.

В процесі проектування було визначено характеристики технологічного об'єкта управління та розроблено схему автоматизації, включаючи технічне обладнання та органи регулювання.

Проведений інженерний розрахунок системи включав створення структурних схем вимірювальних каналів і розрахунок надійності. Встановлено, що вимірювальні канали відповідають точності та надійності, і є придатними для збирання даних. Для ідентифікації об'єкту були проведені вимірювання та розрахунки перехідних характеристик, а також визначення параметрів регуляторів з використанням методів РАФХ та Зіглера-Нікольса.

Для програмування програмно-технічного комплексу та імітаційного моделювання було використано CODESYS, Indusoft Web Studio та Matlab Simulink. Проведений техніко-економічний розрахунок підтвердив ефективність системи управління, демонструючи економічну доцільність проєкту.

Ключові слова: автоматизована система керування, мікроклімат, офісне приміщення.

ABSTRACT

The diploma project is devoted to the development and research of an automated microclimate management system in an office space.

During the design process, the characteristics of the technological control object were determined and an automation scheme was developed, including technical equipment and regulatory bodies.

The engineering calculation of the system included the creation of structural diagrams of measuring channels and the calculation of reliability. The measurement channels were found to be accurate and reliable, and suitable for data collection. To identify the object, measurements and calculations of transient characteristics were carried out, as well as determination of regulator parameters using RAPH and Ziegler-Nichols methods.

CODESYS, Indusoft Web Studio and Matlab Simulink were used for programming the software and technical complex and simulation modeling. The carried out technical and economic calculation confirmed the effectiveness of the management system, demonstrating the economic feasibility of the project.

Key words: automated control system, microclimate, office premises.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АСК – автоматизована система керування;

САР – система автоматичного регулювання;

РО – регулюючий орган;

ВМ – виконавчий механізм;

ПД - регулятор – пропорційно-інтегральний-диференціальний регулятор;

ПІ - регулятор – пропорційно - інтегральний регулятор;

П - регулятор – пропорційний регулятор;

$W(p)$ – передавальна функція;

РАФХ – метод розширеної амплітудно-фазової характеристики;

ПЛК – програмно-логічний контролер;

ПЗ – програмне забезпечення;

SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Автоматизована система керування
мікрокліматом в офісному приміщенні »**

Київ – 2023 року

ЗМІСТ

ВСТУП.....	11
РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ’ЄКТУ УПРАВЛІННЯ	12
1.1 Вибір і обґрунтування структури АСУТП ТОВ	15
1.2 Технологічні параметри АСУТП ТОВ	17
1.3 Функції АСУТП	18
1.4 Схема автоматизації функціональна.....	20
1.5 Схема структурна програмно-технічного комплексу	24
1.6 Перелік і аналіз джерел техніко-економічної ефективності АТК ТОВ	26
РОЗДІЛ 2. ІНЖЕНЕРНИЙ РОЗРАХУНОК САР.....	28
2.1 Інженерний розрахунок вимірювальних каналів САР	28
2.1.1 Перелік вимірювальних каналів	28
2.1.2 Схеми структурні вимірювальних каналів	28
2.1.3 Особливості електричних підключень датчиків вимірювальних каналів.....	30
2.1.4 Монтаж технічних засобів вимірювальних каналів	31
2.1.5 Схеми структурні надійності вимірювальних каналів	34
2.1.6 Метрологічний розрахунок вимірювальних каналів.....	35
2.1.7 Розрахунок надійності вимірювальних каналів.....	38
2.1.8 Функції первинної обробки даних в ПЛК.....	42
2.1.9 Висновок щодо роботоздатності вимірювальних каналів САР	44
2.2 Інженерний розрахунок регульовано-виконавчих каналів САР	44
2.2.1 Перелік систем автоматичного регулювання	44
2.2.2 Функціональна і структурна схеми САР	45

					ТА91405.0004.001.АТХ.П		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив		Савчук В.В.			Автоматизована система керування мікрокліматом в офісному приміщенні	Літ.	Арк.
Перевірив		Новіков П.В.					8
Реценз.							119
Н.контр		Некрашевич О.В.				НТУУ «КПІ» ім. Ігоря Сікорського, НН ІАТЕ, гр. ТА-91	
Затвердив		Волошук В.А.					

2.2.3	Схема структурна регулювально-виконавчого каналу САР	47
2.2.4	Схема структурна програмно-технічних засобів САР	47
2.2.5	Схема структурна надійності реалізації управляючої функції САР	49
2.2.6	Розрахунок надійності реалізації управляючої функції САР	49
2.2.7	Ідентифікація ТОУ	50
2.2.8	Розрахунок регуляторів	55
РОЗДІЛ 3. ОПИС ГРАФІЧНОЇ ЧАСТИНИ ПРОЄКТУ		81
3.1	Схема принципова електрична АСР.....	81
3.2	Креслення загального виду щита	83
3.3	Схема монтажна щита	84
3.4	Схема зовнішніх з'єднань	85
3.5	Специфікація обладнання	85
РОЗДІЛ 4. ПРОГРАМУВАННЯ ПТКЗА		90
4.1	Програмування функціональності ПЛК.....	90
4.2	Програмування функціональності SCADA-системи	95
РОЗДІЛ 5. ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АТК.....		98
5.1	Схема структурна полігону імітаційного моделювання АТК ТОУ.....	98
5.2	Функціональне моделювання ОУ в СКМ Matlab Simulink.....	98
5.3	Реалізація контролерної функціональності САР в софті ПЛК CoDeSys	99
5.4	Реалізація супервізорної HMI-Standard функціональності в HMI/SCADA-системі WebStudio	99
РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ		101
6.1	Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки експлуатації засобів автоматизації.....	102
6.2	Технічні рішення та організаційні заходи з гігієни праці та виробничої санітарії	104
6.3	Відповідність параметрів мікроклімату в робочій зоні санітарним нормам	106
6.4	Виробниче освітлення	107
6.5	Виробничий шум	107
6.6	Пожежна безпека та профілактика	109

					ТА91405.0004.001.АТХ.П	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

РОЗДІЛ 7 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК	111
ВИСНОВКИ	116
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	118

					ТА91405.0004.001.АТХ.П	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Мікроклімат досить суттєво впливає на комфорт та самопочуття людей, які протягом довгого часу знаходяться в офісі. Оптимальні показники температури, та вологості в офісному приміщенні створюють комфортне середовище, сприяють здоров'ю і продуктивності працівників. Також мікроклімат впливає на якість та збереження матеріалів, обладнання та інших предметів, які знаходяться в приміщенні.

Автоматизована система керування мікрокліматом офісного приміщення дозволяє забезпечити оптимальні значення параметрів у офісному приміщенні, такі як температура та вологість. АСК може бути підключена до мережі зв'язку, що дозволяє виконувати моніторинг параметрів мікроклімату в реальному часі. Це дозволяє операторам зручно відстежувати та відповідно реагувати на зміни відповідно умов, а також налаштовувати систему керування.

Мета дипломного проектування – розробка та дослідження автоматизованої системи керування мікрокліматом офісного приміщення, регулювання та моніторинг їх процесів.

					ТА91405.0004.001.АТХ.П	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ УПРАВЛІННЯ

Мікроклімат приміщень – це сукупність параметрів внутрішнього середовища приміщення, що обумовлює вплив на тепловий стан будівлі та теплообмін людей, які там можуть знаходитись. До основних параметрів, що формують мікроклімат приміщення відноситься: температура, вологість, швидкість руху повітря, атмосферний тиск та теплове випромінювання внутрішніх поверхонь приміщення. У кожному приміщенні може бути свій мікроклімат в залежності від різних факторів, таких як розмір та форма приміщення, наявність вікон, їх розташування та орієнтація, наявність систем опалення та систем вентиляції, кількість людей, що перебувають в приміщенні, та їх діяльність. Керування мікрокліматом в приміщенні відбувається за рахунок роботи наступних систем: система вентиляції і кондиціонування; системи опалення.

Система вентиляції і кондиціонування є важливою складовою для забезпечення нормального мікроклімату і очищення повітря, оскільки вона забезпечує постійний обмін повітря в приміщенні. Потік повітря в системі вентиляції може створюватись природнім та вимушеним чином, це допомагає виводити з приміщення вуглекислий газ, вологу, запахи та інші шкідливі речовини, що можуть виникати в процесі діяльності людей та функціонування технічних систем. Досить велику перевагу має припливно-витяжна система вентиляції з рекуперацією, яка створює циркуляцію декількох потоків повітря. Вони проходять максимально близько один-до-одного в самій установці, де відбувається теплообмін – гаряче відпрацьоване повітря, виходячи з приміщення, віддає досить значну частину свого тепла вхідному потоку.

					ТА91405.0004.001.АТХ.П	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

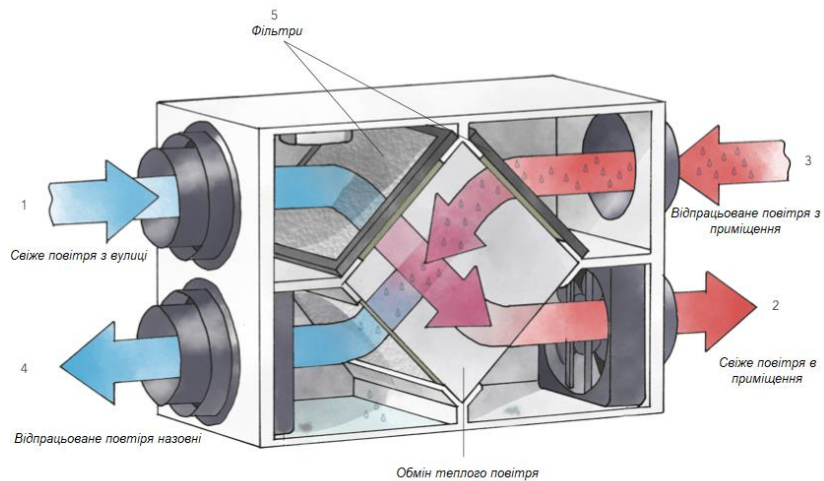


Рисунок 1.1 – Система вентиляції з рекуперацією

Система вентиляції і кондиціонування також виконує контроль вологості, що є важливою складовою для забезпечення комфортного мікроклімату. Занадто висока або занадто низька вологість може призвести до проблем зі здоров'ям людей, зниження продуктивності та навіть пошкодження матеріалів та обладнання в приміщенні. Досить перспективною в наш час є системи ультра звукового зволоження повітря. Під час роботи даної системи вода в резервуарі піддається впливу п'єзоелектричного кристала, утворюючи дрібні краплі, які розпилюються у повітря вентилятором. Ультразвукові зволожувачі компактні, низький рівень шуму, висока продуктивність зволоження, можливість комплектації іонізаторами та очищувачами повітря.

Для забезпечення обігріву приміщення використовується система опалення. Опалення може мати наступні види: електричне, повітряне, парове, водяне та з відкритим повітрям. Правильне керування системою опалення може зменшити витрати енергії та забезпечити стабільну температуру в приміщенні. Найбільш поширеним обігрівачем приміщення на даний час обирається індивідуальна система водяного опалення тому саме ця система наявна в даному об'єкті керування. Водяне опалення, являє собою систему, всередині якої виконується циркуляція нагрітої в котлі води. Теплоносій рухається до радіаторів тим самим віддає своє тепло, далі за допомогою циркуляційного насоса або самоплином знову надходить в котел

					ТА91405.0004.001.АТХ.П	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

для підігрівання рідини, ця циркуляція має періодичність. Основним елементом для системи водяного опалення є котел, що виконує функцію підігріву води чи інших теплоносіїв. Досить поширеною є система водяного опалення з використанням газового котла.

Об'єкт керування являє собою одноповерхове офісне приміщення площа якого становить 170 м², об'єм приміщення становить 510 м³. У даному об'єкті керування наявні наступні системи керування: система вентиляції, система опалення та систему контролю вологості.

Для системи вентиляції і кондиціонування використовується припливно-витяжна система вентиляції з рекуперацією, що забезпечує повітряно-кліматичні умови в приміщенні. Саме для цієї системи використовується припливно-витяжна установка з рекуператором марки ВЕНТС ВУТР 1200 ЕГ ЕС А17. Для забезпечення припливу та відведення свіжого повітря в приміщення використовуються вентилятори каналу повітря марки Vents ВКМ 200. Для рекуперації тепла з витяжного повітря використовується водяний калорифер, що вмонтований в припливно-витяжна установку. Для регулювання температури в приміщенні використовуються датчики температури та клапани для регулювання подачі повітря в приміщення.

Для керування вологістю повітря в системі вентиляції і кондиціонування використовується зволоження повітря за допомогою ультразвукового зволоження, що дозволяє підтримувати комфортний рівень вологості в приміщенні. Для даної системи використовується ультразвуковий зволожувач повітря марки Celsius HD-15. Для регулювання вологості повітря та рівня води у резервуарі зволожувача використовуються датчики вологості та рівня.

Для системи опалення використовується індивідуальна водяна система опалення, забезпечена газовим котлом, що дозволяє підтримувати оптимальну температуру в приміщенні. Для даної системи використовується котел марки Bosch Condens 2300i W GC2300iW. Система опалення

					ТА91405.0004.001.АТХ.П	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

складається з труб, радіаторів, вентелів, які розподіляють гарячу воду по всьому приміщенню. У систему також входять терморегулятори, які дозволяють контролювати температуру в окремих зонах приміщення.

Таблиця 1.1 – Перелік основних технологічних параметрів

Технологічний параметр	Номінальне значення
Температура повітря в приміщенні	23°C
Температура прямої води в системі опалення	70°C
Відносна вологість повітря в приміщенні	60%

1.1 Вибір і обґрунтування структури АСУТП ТОУ

Система керування мікрокліматом в офісному приміщенні є комплексною системою, яка забезпечує автоматизоване керування умовами внутрішнього середовища. Система має наступні компоненти: систему керування вентиляцією, систему керування опаленням та систему контролю вологості. Кожна з цих систем має власний набір обладнання, що забезпечують збирання даних про температуру, вологість та , необхідні для керування даними системами.

Кожна з систем керування мікроклімату в офісному приміщенні яка наявна на нашому об'єкті керування може включати в себе ряд переваг та недоліків.

Переваги використання припливно-витяжної установки з рекуператором марки ВЕНТС ВУТР 1200 ЕГ ЕС А17 полягають у зменшенні витрат на опалення та кондиціонування повітря, забезпеченні енергозбереження та підвищенні ефективності роботи системи вентиляції. Рекупераційний ефект дозволяє зберігати тепло з витяжного повітря та передавати їх до свіжого повітря зовнішнього середовища, що знижує витрати на опалення та забезпечує комфортний мікроклімат.

Недоліки такої системи полягають у помітній складності монтажу. Також, необхідно враховувати особливості конструкції приміщення та

					ТА91405.0004.001.АТХ.П	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

розташування системи вентиляції, що може вимагати додаткових затрат на проектування та монтаж. Необхідно також враховувати необхідність регулярного технічного обслуговування та очищення системи вентиляції, що також може збільшити витрати на експлуатацію системи. Під час зволоження повітря в офісному приміщенні з використанням ультразвукового зволоження, слід зазначити ряд переваг. Ультразвуковий зволожувач забезпечує ефективне та швидке зволоження повітря в офісному приміщенні. Система використовує надійний ультразвуковий зволожувач марки Celsius HD-15, що забезпечує довговічність та стабільність роботи. Ультразвуковий зволожувач має низьке споживання електроенергії, що дозволяє знизити витрати на електроенергію.

Недоліки використання системи зволоження повітря з ультразвуковим зволоженням марки Celsius HD-15 включають високу вартість ультразвукових зволожувачів, їх складну підтримку та потенційну можливість виникнення певних відкладень на поверхнях у приміщенні, що може призвести до погіршення якості повітря.

У якості системи опалення використовується система водяного опалення з газовим котлом марки Bosch Condens 2300i W GC2300iW, яка має ряд переваг. Використання даної системи є: висока ефективність та економічність, можливість забезпечення рівномірного розподілу тепла по приміщенню, можливість встановлення датчиків для контролю температури та вологості повітря по всьому контуру опалення для певних зон офісу, широкі можливості автоматизації процесу регулювання температури.

Недоліки включають високу вартість установки та підтримки системи, потребу в регулярному технічному обслуговуванні, складність встановлення в існуючих будівлях. Крім того, залежність від енергосистеми може створювати додаткові ризики в разі аварій або відключення енергопостачання.

					ТА91405.0004.001.АТХ.П	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основні компоненти кожної системи повинні мати наступні елементи:

- Систему збору даних, що вимірює за допомогою датчиків параметри мікроклімату, такі як температура, вологість.
- Контролер, що приймає дані та передає команди для відповідної роботи виконавчих механізмів.
- Безпосередньо установки агрегатів: вентиляційної установки, котла, зволожувача.

1.2 Технологічні параметри АСУТП ТОУ

Система вентиляції і кондиціонування.

Режимні параметри:

- Температура повітря в приміщенні
- Вологість повітря в приміщенні

Захисні параметри:

- Температура прямої води у калорифері
- Перепад тиску після і до вентилятора
- Температура води у камері зволожувача
- Тиск води, що знаходиться у камері зволожувача

Контрольні параметри:

- Температура зовнішнього повітря
- Вологість зовнішнього повітря
- Витрата води у камері зволожувача

Система опалення.

Режимні параметри:

- Температура прямої води в трубопроводі
- Температура зворотної води в трубопроводі

Захисні параметри:

- Перепад тиску води після і до насоса
- Тиск води в трубопроводі перед насосом

Контрольні параметри:

- Витрата газу в камері згорання

					ТА91405.0004.001.АТХ.П	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3 Функції АСУТП

Система вентиляції і кондиціонування.

Управляючі функції:

- Стабілізація температури повітря в приміщенні шляхом зміни витрати гарячої води в калорифері.
- Стабілізація вологості повітря в приміщенні шляхом зміни витрати прямої води в теплообміннику.

Захисні функції:

- Захист від замерзання води в калорифері шляхом контролю температури теплоносія і формування команди на відключення подачі повітря в приміщення.
- Автоматичне відключення подачі повітря при зниженні перепаду тиску після і до працюючого вентилятора.
- Автоматичне відключення подачі води в камеру зволожувача при зниженні температури до нижчої за допустиму.
- Захист, що передбачає відключення роботи насоса на сухому ході при відсутності води перед подачею.

Інформаційні функції:

- Вимірювання температури повітря в приміщенні
- Вимірювання вологості повітря в приміщенні
- Вимірювання температури прямої води у калорифері
- Вимірювання перепаду тиску після і до вентилятора
- Вимірювання температури зовнішнього повітря
- Вимірювання температури припливного повітря
- Вимірювання температура води у камері зволожувача
- Вимірювання тиск води, що знаходиться у камері зволожувача
- Вимірювання вологості зовнішнього повітря
- Вимірювання витрати води у камері зволожувач

					ТА91405.0004.001.АТХ.П	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Система опалення.

Управляючі функції:

- Стабілізація температури прямої води шляхом зміни витрати газу в котлі.
- Стабілізація температури зворотної води шляхом зміни витрати гарячої води.

Захисні функції:

- Автоматичне відключення насосу при зниженні перепаду тиску після і до насосу.
- Автоматичне відключення насосу при сухому ході води в трубопроводі.

Інформаційні функції:

- Вимірювання температури прямої води в трубопроводі
- Вимірювання температури зворотної води в трубопроводі
- Вимірювання перепаду тиску води після і до насосу
- Вимірювання тиск води в трубопроводі перед насосом
- Вимірювання витрати газу в камері згорання

					ТА91405.0004.001.АТХ.П	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.4 Схема автоматизації функціональна

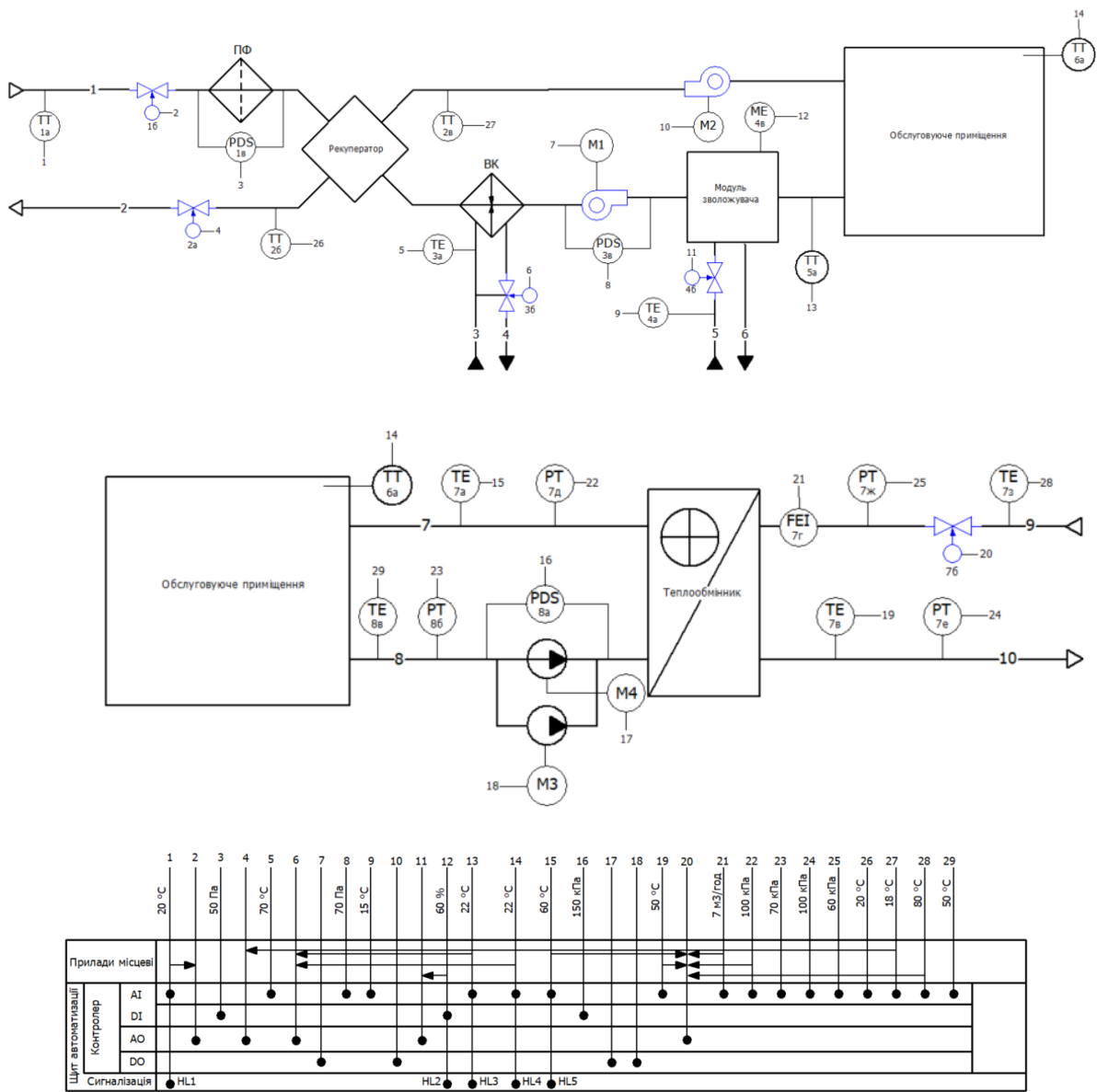


Рисунок 1.2 – Функціональна схема автоматизації

Система вентиляції і кондиціонування.

На вході у систему вентиляції, куди потрапляє свіже повітря, знаходиться датчик температури ТТ-1, який вимірює температуру повітря, що поступає в систему. Даний датчик підключений до аналогового входу ПЛК.

Під час проходженні повітря через повітряний фільтр (ПФ) вимірюється перепад тиску відповідно до і після фільтру за рахунок реле перепаду тиску PDS-3. За відсутності перепаду тиску у повітряному фільтрі

(ПФ) реле подає сигнал на ПЛК через дискретний вхід, що інформує про засмічення фільтру.

Для вимірювання температури прямої води в контурі водяного калорифера (ВК) використовується термоперетворювач опору ТЕ-5, який підключений до аналогового входу ПЛК.

Під час проходження повітря через вентилятор М1-7 вимірюється перепад тиску відповідно до і після вентилятора за рахунок датчика реле перепаду тиску PDS-8. За відсутності перепаду тиску повітря при проходженні через вентилятор реле подає сигнал на ПЛК через аналоговий вхід, що інформує про зміну частоти обертання вентилятора.

На вході у приміщення, знаходиться датчик температури ТТ-13, який вимірює температуру повітря, що поступає вже безпосередньо в приміщення після системи вентиляції. Даний датчик підключений до аналогового входу ПЛК.

Для забезпечення руху свіжого повітря в приміщення та виводу відпрацьованого повітря використовуються вентилятори М1-7 та М1-10, які підключені до дискретних виходів ПЛК.

Для регулювання подачі повітря використовуються виконавчі механізми (заслінки, номер 2, 4), що підключені до аналогових виходів ПЛК. Ступінь відкриття чи закриття заслінки 2 залежить від значень параметрів, виміряних ТТ-1, PDS-3.

Для регулювання проходження зворотної води та змішуванням її з прямою водою використовується виконавчий механізм (номер 6), що підключений до аналогового виходу ПЛК. Положення регулюючого органу залежить від виміряних значень параметра ТЕ-5.

На функціональній схемі автоматизації для системи вентиляції з рекуперацією також зображено повітряний фільтр (ПФ), рекуператор, водяний калорифер (ВК). Повітряний фільтр використовується в системі вентиляції для очищення подаваного повітря від забруднень і шкідливих частинок, перш ніж воно потрапить у вентиляційну систему та розподілиться

					ТА91405.0004.001.АТХ.П	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

по приміщенню. Рекуператор використовується в системі вентиляції для енергоефективного обміну тепла між витягнутим повітрям з приміщення і свіжим зовнішнім повітрям, що подається в приміщення. Водяний калорифер використовується в системі вентиляції для нагріву або охолодження повітря, що циркулює у приміщенні. Він працює на основі теплообміну між гарячою або холодною водою, яка протікає через його контур, і прохідним повітрям, що йде через них.

Вимірювання температури прямої води, що рухається в контурі модуля зволожувача здійснюється за допомогою датчика TE-9, що підключений до аналогового входу ПЛК.

Вологість, яка створюється в модулі зволожувача та надходить в приміщення вимірюється за допомогою датчика ME-12, що підключений до дискретного входу ПЛК.

Для регулювання подачі води в модуль зволожувача використовується виконавчий механізм (номер 11), положення регулюючого органу залежить від значень TE-9.

На функціональній схемі також зображений модуль зволожувача, роль якого є підтримка оптимального рівня вологості в приміщенні. Він працює на основі ультразвукових коливань, які перетворюють воду в мікрочастинки і розпилюють їх у повітря. Це дозволяє підвищити вологість повітря в сухому середовищі.

Система водяного опалення.

Температура гарячої води на вхід у приміщення у контурі системи водяного опалення вимірюється за допомогою термоперетворювача опору TE-1, що підключений до аналогового входу ПЛК.

Перепад тиску до і після насосу M4-17 вимірюється за допомогою датчика-реле PDS-16, виміряні значення перепаду тиску можуть інформувати про відключення або непрацездатність насоса, в свою чергу на це ПЛК може

					ТА91405.0004.001.АТХ.П	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

формувати дискретну команду для запуску резервного насосу МЗ-18. Реле перепаду тиску М4-17 під'єднані до дискретного входу ПЛК.

Температура води, що йде до теплового вводу від теплообмінника вимірюється за допомогою термоперетворювача опору ТЕ-19, що підключений до аналогового входу ПЛК.

Для регулювання подачі води від теплової мережі до контуру системи опалення через теплообмінник використовується виконавчий механізм (номер 20) який в залежності від зчитаних значень ТЕ-15 змінює положення регулюючого органу.

На функціональній схемі автоматизації для системи водяного опалення також зображений теплообмінник (газовий котел), який використовується для нагрівання води, яка циркулює по трубах в приміщенні, за рахунок передачі тепла з газів в горінні до води, що протікає в трубах котла.

Слід зазначити, що на схемі також зображений датчик температури повітря безпосередньо в приміщенні ТТ-14, який підключений до аналогового входу ПЛК.

					ТА91405.0004.001.АТХ.П	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.5 Схема структурна програмно-технічного комплексу

Програмно технічний комплекс – ПТК:

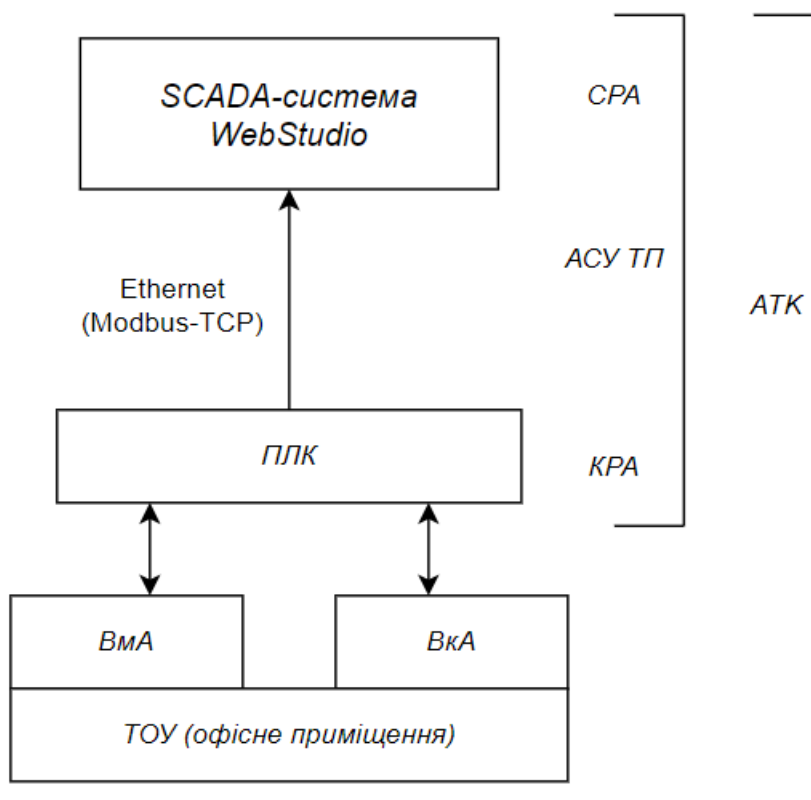


Рисунок 1.3 – Структурна схема ПТК

ТОУ – технологічний об’єкт управління

ВмА – вимірювальна апаратура

ВкА – виконавча апаратура

ПЛК – програмований логічний контролер

СРА – супервізорний рівень автоматизації

АСУ ТП – автоматизована система управління технологічним процесом

КРА – контролерний рівень автоматизації

АТК – автоматизований технологічний комплекс

АСУТП є дворівневою (рівень контролерної та супервізорної автоматизації).

Нижній рівень автоматизованої системи управління технологічними процесами (АСУТП) забезпечує регулювання параметрів, виконання заданих значень уставок та програмно-логічне управління механізмами. Раніше для цього використовували регулятори та релейні схеми, а зараз - програмовані

					ТА91405.0004.001.АТХ.П	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

логічні контролери (ПЛК). Сучасні ПЛК можуть здійснювати програмно-логічне управління, неперервне ПІД-регулювання технологічних параметрів та подавати сигнали на здійснення руху виконавчого механізму.

Верхній рівень автоматизованої системи управління технологічними процесами (АСУТП) є супервізорним рівнем, відповідальним за формування завдань і розрахунок заданих значень параметрів для нижнього рівня АСУТП. Цей рівень реалізує функціональність людино-машинного інтерфейсу (HMI або SCADA або HMI/SCADA). Супервізорне керування включає ідентифікацію ситуацій на об'єкті і видачу завдань для контурів регулювання в контролерах. Верхній рівень базується на персональних комп'ютерах, а програмною платформою є HMI/SCADA-системи - промислове програмне забезпечення, яке виконує обмін даними з контролерами, видачу установок для регуляторів, архівування даних, візуалізацію даних мнемосхем, відображення алармів, побудову трендів, систему звітності. SCADA-система не забезпечує оптимізацію технологічного процесу в реальному часі, а виконує функції візуалізації та інтерфейсу з оператором.

Виходячи з поданої структурної схеми ПТК можна відокремити три рівні автоматизації ТОУ.

Рівень L0 відповідає за вимірювальну апаратуру (ВмА) та виконавчу апаратуру (ВкА). У даному в якості вимірювальної апаратури використовуються датчики, сенсори температури та вологості, які вмонтовані безпосередньо в приміщення або у канал подачі повітря в приміщення. Під час зчитування параметрів сигнали подаються на аналогові чи дискретні входи ПЛК. Після обробки сигналів від датчиків ПЛК подає сигнали на виконавчу апаратуру, яка здійснює керування параметрами на об'єкті управління (зміна положення клапанів, заслінок, частота обертання вентиляторів тощо).

Рівень L1 рівень контролерної автоматизації (контролерний рівень ПТК). Контролери на рівні L1 отримують вхідні дані про стан мікроклімату,

					ТА91405.0004.001.АТХ.П	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

включаючи температуру, вологість та інші параметри, з датчиків, розташованих на об'єкті управління. Вони також отримують команди з вищих рівнів системи керування для регулювання роботи системи вентиляції, системи керування вологістю та системи водяного опалення. На основі отриманих даних і команд контролери на рівні L1 приймають рішення щодо регулювання роботи вентиляційних пристроїв, зволожувачів, насосів і клапанів системи опалення. Вони здійснюють керування відповідними виконавчими пристроями, щоб забезпечити необхідні умови мікроклімату в приміщенні.

Сервери на рівні L2 отримують дані від контролерів від рівня L1, що стосуються стану системи вентиляції, системи керування вологістю та системи водяного опалення. Вони зберігають ці дані, а також здійснюють аналіз та обробку інформації. Клієнтські веб-додатки, дозволяють операторам та іншим користувачам здійснювати моніторинг параметрів мікроклімату в реальному часі. Вони надають зручний інтерфейс для відображення даних, трендів, графіків та алармів, пов'язаних з системою вентиляції, системою керування вологістю та системою водяного опалення. Крім того, серверні додатки на рівні L2 можуть забезпечувати збереження архівних даних, генерацію звітів, відображення статистики та інші функції, пов'язані з керуванням мікрокліматом.

1.6 Перелік і аналіз джерел техніко-економічної ефективності АТК ТОО

У системах вентиляції і кондиціонування які забезпечують оптимальні кліматичні умови в приміщенні, джерелом економії є зменшення питомої витрати гарячої води в калорифері на нагрів повітря, що заходить в приміщення. також джерелом економії є стабілізація температури в приміщенні. Дані цілі досягаються шляхом точного вимірювання режимних параметрів та забезпечення надійної роботи АСУТП. Як результат, зменшується споживання електроенергії та покращується якість повітря в приміщенні, що забезпечує більш комфортні умови для проживання та

					ТА91405.0004.001.АТХ.П	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

роботи. Отримана економія вкладається у подальший розвиток технічного потенціалу та підвищення якості обслуговування систем вентиляції. Для контролю вологості приміщень, де використовується зволожувач, ефективність може бути підвищена шляхом зменшення питомої витрати води, що надходить до камери зволожувача, та забезпечення стабільного рівня вологості в приміщенні. Цього можна досягти завдяки високоточному вимірюванню режимних параметрів, таких як вологість повітря, малочутливого регулювання та високої надійності роботи системи автоматичного контролю вологості. Зменшення питомої витрати води дозволяє знизити витрати на утримання системи та покращити економічну ефективність, а забезпечення стабільного рівня вологості в приміщенні допомагає забезпечити комфортні умови для працюючих та зменшити ризик пошкодження обладнання або інших матеріалів у приміщенні.

У системах опалення, які використовують газовий котел для нагрівання води, економічна ефективність може бути досягнута шляхом зменшення питомої витрати палива для виділення необхідної теплоти для води, яка циркулює по трубах в приміщенні, а також покращення стабілізації температури в приміщенні. Це може бути досягнуто завдяки високоточному вимірюванню режимних параметрів таких як температура прямої і зворотної води та налаштуванню системи регулювання, що забезпечує малочутливість до збурень параметрів об'єкту і високу надійність роботи АСУТП. Зменшення питомої витрати газу для опалення приміщення знижує собівартість процесу та дозволяє вкласти збільшений прибуток у розвиток технічного обладнання та підвищення якості послуг.

					ТА91405.0004.001.АТХ.П	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2. ІНЖЕНЕРНИЙ РОЗРАХУНОК САР

2.1 Інженерний розрахунок вимірювальних каналів САР

2.1.1 Перелік вимірювальних каналів

Система вентиляції та кондиціонування:

- ВК температури повітря на вході у систему вентиляції та кондиціонування
- ВК температури прямої води в калорифері
- ВК температури води на подачу до зволожувача
- ВК температури повітря в повітропроводі
- ВК температури повітря в приміщенні
- ВК перепаду тиску в повітропроводі
- ВК вологості повітря в приміщенні

Система водяного опалення:

- ВК температури прямої води
- ВК перепаду тиску в контурі опалення
- ВК температури води до теплового вводу

2.1.2 Схеми структурні вимірювальних каналів

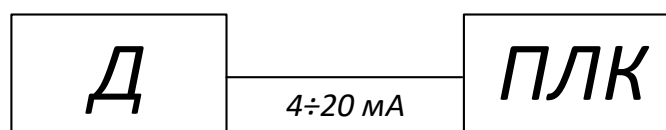


Рисунок 2.1 – Структурна схема ВК температури повітря

Д – датчик РТ1000 з уніфікованим вихідним сигналом 4÷20 мА.

РП – реєструючий прилад.

ПЛК – програмований логічний контролер

Уніфікований сигнал з датчика йде на реєструючий прилад та на аналогові входи ПЛК

					ТА91405.0004.001.АТХ.П	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

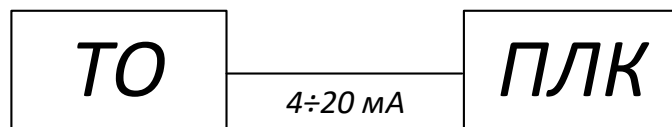


Рисунок 2.2 – Структурна схема ВК температури води

ТО – термоперетворювач опору РТ100 з уніфікованим вихідним сигналом 4÷20 мА.

РП – реєструючий прилад.

ПЛК – програмований логічний контролер

Уніфікований сигнал з термоперетворювач опору йде на реєструючий прилад та на аналогові входи ПЛК

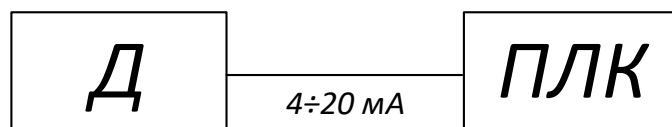


Рисунок 2.3 – Структурна схема ВК перепаду тиску

Д – датчик, реле перепаду тиску з уніфікованим вихідним сигналом 4÷20 мА.

РП – реєструючий прилад.

ПЛК – програмований логічний контролер

Уніфікований сигнал з датчика реле перепаду тиску йде на реєструючий прилад та на аналогові входи ПЛК

Зі структурних схем ВК видно, що для вимірювання температури повітря та води, а також для вимірювання перепаду тиску, використовуються відповідні датчики, термоперетворювачі опору, реле перепаду тиску. Ці датчики підключаються до аналогових входів ПЛК та також до РП. Датчик передає уніфікований сигнал з діапазоном 4-20 мА до ПЛК, який впливає на процес регулювання температури та вологості у приміщенні. Той же самий сигнал подається на реєструючий прилад, на якому він відображається для

прямого контролю цього параметру персоналом, який обслуговує систему. У разі несправності датчика можна одразу помітити відхилення на РП.

2.1.3 Особливості електричних підключень давачів вимірювальних каналів

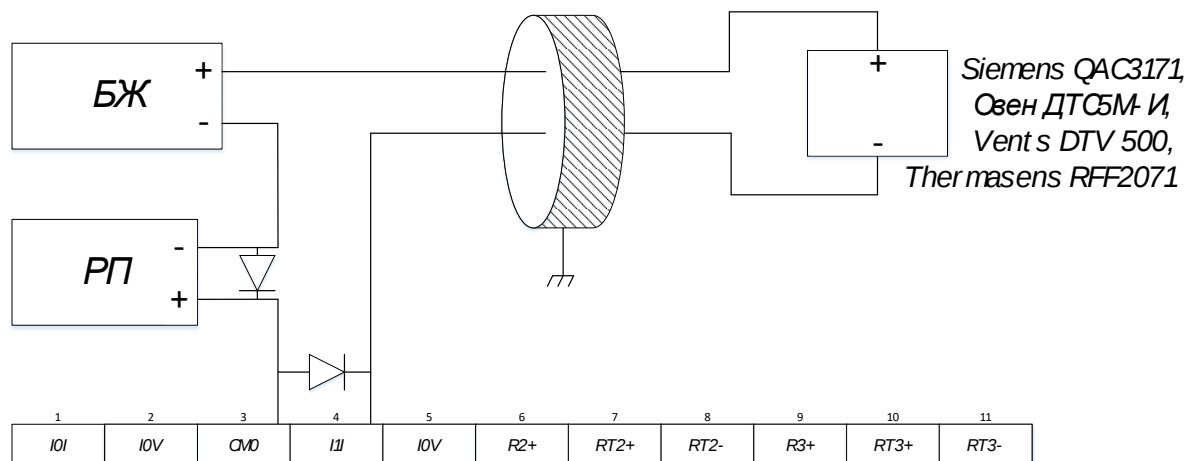


Рисунок 2.4 – Схема електрична ВК температури повітря, температури води, перепаду тиску, вологості

БЖ – блок живлення

РП – реєструючий прилад

Реєструючий прилад послідовно підключається до контролера. В той же час, для забезпечення роботи системи навіть у випадку відмови одного з приладів, до кожного з них паралельно підключаються стабілітрони.

Усі давачі мають уніфікований вихідний сигнал зі струмом $4 \div 20$ мА і підключаються за двопровідною схемою:

- контакт «+» блока живлення підключаємо до контакту «+» давача;
- контакт «-» давача підключається до плюсової струмової клеми контролера;
- контакт «-» контролера підключається до контакту «+» реєстратора;
- контакт «-» реєстратора підключається до контакту «-» блока живлення;

2.1.4 Монтаж технічних засобів вимірювальних каналів

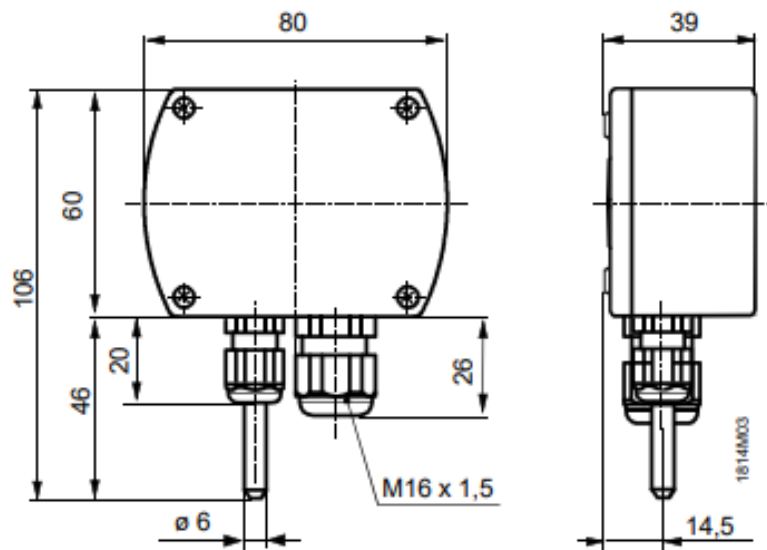


Рисунок 2.5 – Датчик температури повітря Siemens QAC3171

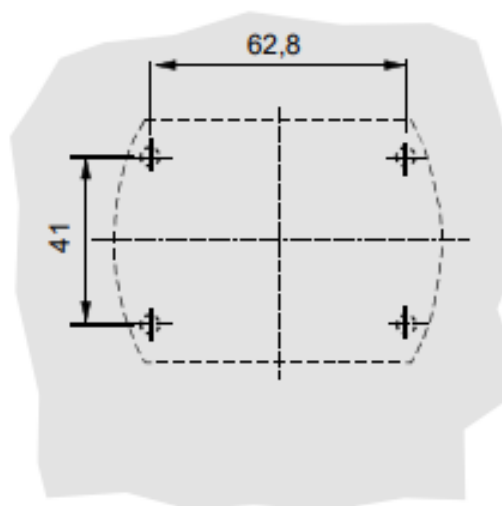
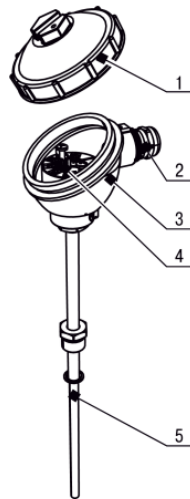


Рисунок 2.6 – Монтаж датчика температури повітря Siemens QAC3171

Залежно від використання датчик зовнішньої температури повинен бути розташований на стіні будинку або споруди, що має вікна заселених кімнат, але датчик не повинен піддаватися впливу ранкового сонця. У системах вентиляції та кондиціонування.



1 – кришка 2 – кабельний ввід
3 – корпус 4 – нормований
перетворювач
5 – чутливий елемент

Рисунок 2.7 – Термоперетворювач опору Овен ДТС5М-И

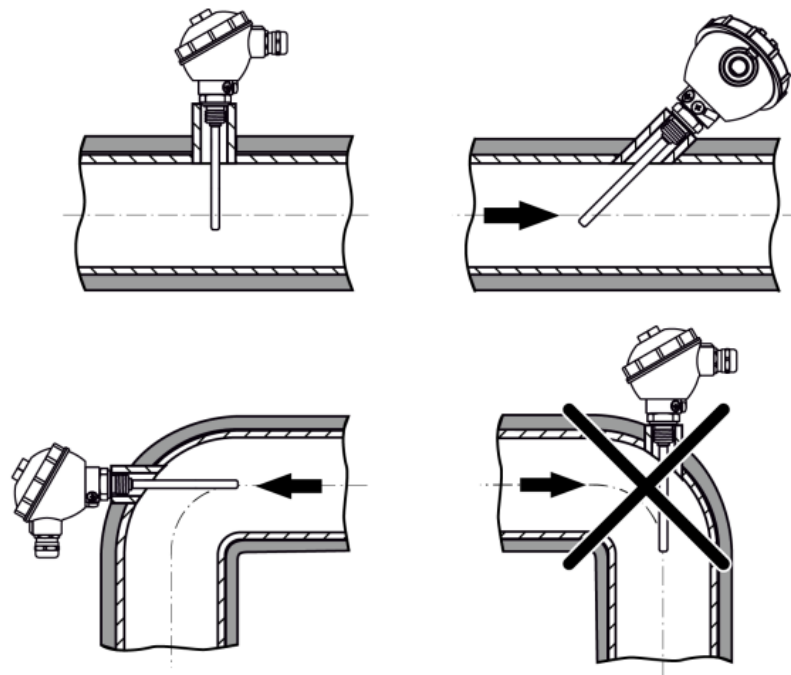


Рисунок 2.8 – Монтаж термоперетворювача опору Овен ДТС5М-И

При монтажі датчика необхідно забезпечити контакт $2/3$ довжини занурюваної частини з вимірюваним середовищем, при цьому частина датчика, що занурюється, повинна розташовуватися перпендикулярно або під гострим кутом у напрямку руху потоку вимірюваного середовища.

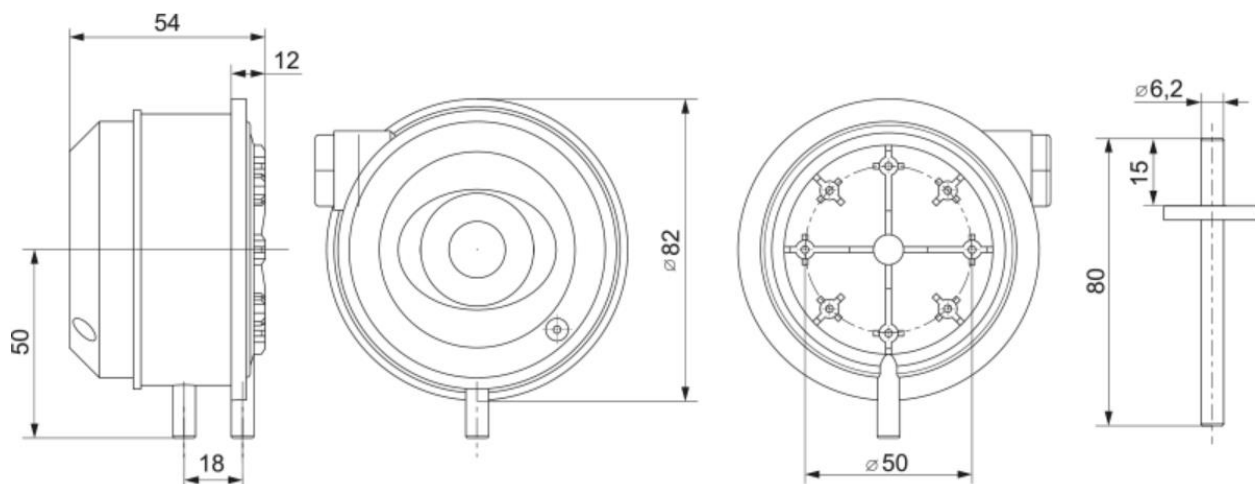


Рисунок 2.9 – Реле перепаду тиску Vents DTV 500

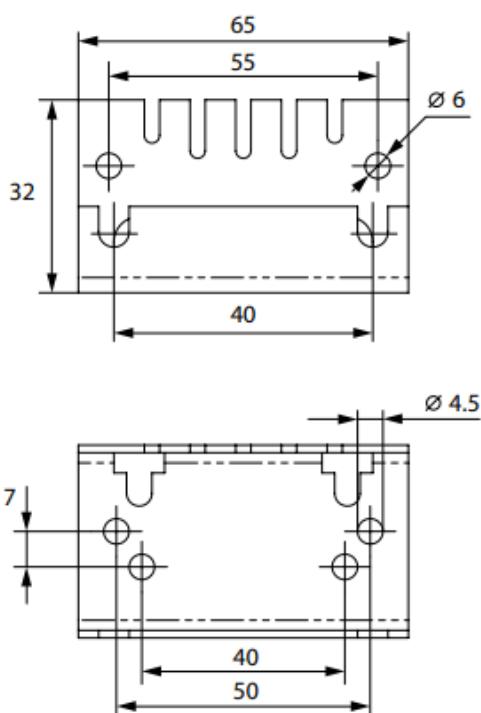


Рисунок 2.10 –Монтаж реле перепаду тиску Vents DTV 500

Для монтажу реле перепаду тиску достатньо закріпити два шурупи в отворах корпусу або закріпити його за допомогою кронштейна (кронштейн входить в комплект поставки). Для монтажу за допомогою кронштейна використовуються шурупи з максимальним діаметром 8 мм.

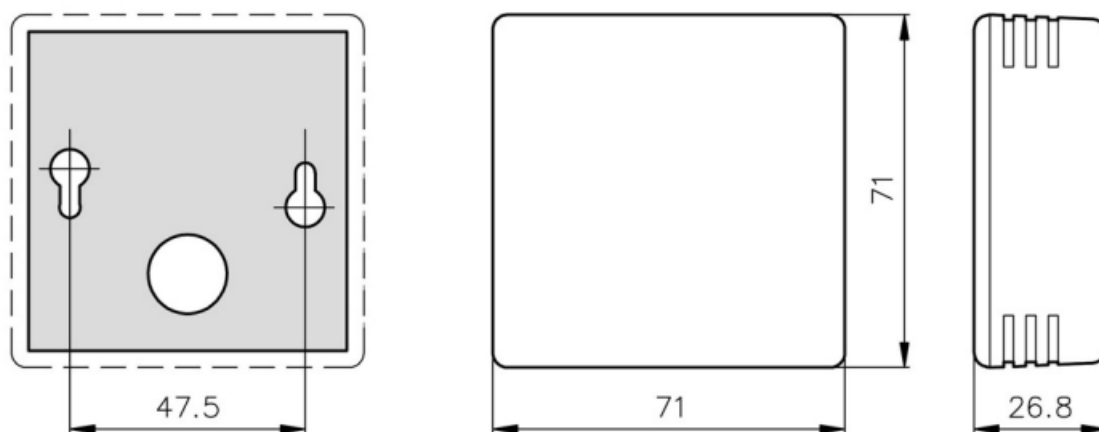


Рисунок 2.11 – Монтаж датчика відносної вологості повітря Thermasens RFF2071

Встановлення датчика передбачає введення кабелю має бути герметичним (можна використовувати силіконовий герметик) для запобігання впливу на вимірювання повітря з кабельного каналу.

2.1.5 Схеми структурні надійності вимірювальних каналів

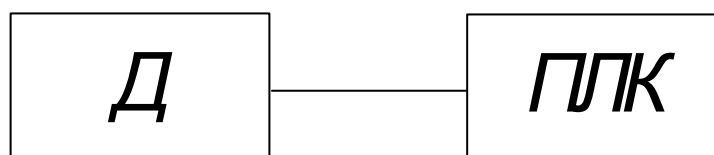


Рисунок 2.12 – Структурна схема надійності ВК температури повітря, температура води, перепаду тиску, вологості повітря

Д – датчик

РП – реєструючий прилад.

ПЛК – програмований логічний контролер

Датчик вимірює фізичний параметр і перетворює його на електричний сигнал. Цей сигнал може бути аналоговим (наприклад, струмовим сигналом) або цифровим (наприклад, за допомогою протоколу комунікації). Реєструючий прилад приймає електричний сигнал від датчика і відображає або реєструє значення виміряного параметра на своєму дисплеї або у своїй пам'яті. Це дозволяє персоналу обслуговування системи контролювати параметри безпосередньо та візуально спостерігати за ними.

					ТА91405.0004.001.АТХ.П	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

ПЛК приймає вхідні сигнали від реєструючого приладу або датчиків, які підключені до нього. Він обробляє ці сигнали за допомогою програмного забезпечення, яке включає логіку керування, алгоритми регулювання та інші функції. Після обробки, ПЛК видає вихідні сигнали до виконавчих пристроїв, таких як мотори, клапани або реле, для керування процесом на основі виміряних параметрів.

2.1.6 Метрологічний розрахунок вимірювальних каналів

У системі вентиляції та кондиціонування загальна структура вимірювальних каналів складається з датчика та програмованого логічного контролера.

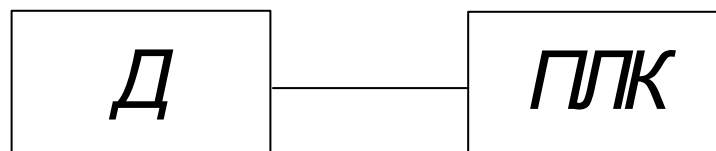


Рисунок 2.13 – Структурна схема вимірювальних каналів

Визначимо класи точності, діапазони вимірювання та вихідні сигнали для кожного елемента ВК та задамось межею допустимої похибки кожного ВК

Таблиця 2.1 – Обладнання для вимірювальних каналів

Елемент ВК	Модель	Клас точності	Діапазон вимірювання	Межа допустимої похибки ВК
Датчик температури	Siemens QAC3171	0,4	$(-50...50)^{\circ}\text{C}$	$0,9^{\circ}\text{C}$
Термоперетворювач опору	Овен ДТС5М-И	0,2	$(0...150)^{\circ}\text{C}$	1°C
Реле перепаду тиску	Vents DTV 500	0,5	$(50...500)\text{ Па}$	3 Па
Датчик відносної вологості	Thermasens RFF2071	3	$(0...100)\%$	3 %
ПЛК	Unitronics Unisteam USC-PB10	0,1	-	-

Виконаємо розрахунок абсолютної похибки кожного елемента, який входить до кожного вимірювального каналу, абсолютної похибки вимірювального каналу, відносної похибки для вимірювального каналу за наступними формулами:

$$\Delta_i = \frac{\varepsilon_{\text{кл}}(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})}{100}; \quad (2.1)$$

$$\Delta_{\text{ВК}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}; \quad (2.2)$$

$$\eta_{\text{ВК}} = \frac{\Delta_{\text{ВК}}}{X} \cdot 100\% \quad (2.3)$$

де $\varepsilon_{\text{кл}}$ – клас точності елемента; x_{max} , x_{min} – максимальна та мінімальна вимірювальна величина; Δ_i – абсолютна похибка і-го елемента

ВК; n – кількість елементів; $\Delta_{ВК}$ – абсолютна похибка ВК; де $\eta_{ВК}$ – відносна похибка ВК; $\Delta_{ВК}$ – абсолютна похибка ВК; X – діапазон вимірювання

Вимірювальний канал температури повітря

Абсолютна похибка для датчика температури повітря:

$$\Delta_i = \frac{\varepsilon_{кл}(x_{max} - x_{min})}{100} = \frac{0,4 \cdot (50 - (-50))}{100} = 0,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Абсолютна похибка ВК температури повітря:

$$\Delta_{ВК} = \sqrt{\Delta_i^2 + \Delta^2} = \sqrt{0,4^2 + 0,1^2} = 0,41 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Відносна похибка ВК температури повітря:

$$\eta_{ВК} = \frac{\Delta_{ВК}}{X} \cdot 100\% = \frac{0,41}{(50 - (-50))} \cdot 100 = 0,41\%$$

Вимірювальний канал температури води

Абсолютна похибка для датчика температури води:

$$\Delta_i = \frac{\varepsilon_{кл}(x_{max} - x_{min})}{100} = \frac{0,2 \cdot (150 - 0)}{100} = 0,3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Абсолютна похибка ВК температури води:

$$\Delta_{ВК} = \sqrt{\Delta_i^2 + \Delta^2} = \sqrt{0,3^2 + 0,1^2} = 0,32 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Відносна похибка ВК температури води:

$$\eta_{ВК} = \frac{\Delta_{ВК}}{X} \cdot 100\% = \frac{0,32}{150 - 0} \cdot 100 = 0,21\%$$

Вимірювальний канал перепаду тиску

Абсолютна похибка для реле перепаду тиску:

$$\Delta_i = \frac{\varepsilon_{кл}(x_{max} - x_{min})}{100} = \frac{0,5 \cdot (500 - 50)}{100} = 2,3 \text{ Па}$$

Абсолютна похибка ВК перепаду тиску:

$$\Delta_{ВК} = \sqrt{\Delta_i^2 + \Delta^2} = \sqrt{2,3^2 + 0,1^2} = 2,3 \text{ Па}$$

Відносна похибка ВК перепаду тиску:

$$\eta_{ВК} = \frac{\Delta_{ВК}}{X} \cdot 100\% = \frac{2,3}{500 - 50} \cdot 100 = 0,5\%$$

Вимірювальний канал відносної вологості повітря

Абсолютна похибка для датчика відносної вологості повітря:

					ТА91405.0004.001.АТХ.П	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta_i = \frac{\varepsilon_{\text{кл}}(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})}{100} = \frac{3 \cdot (100 - 0)}{100} = 3\%$$

Абсолютна похибка ВК відносної вологості повітря:

$$\Delta_{\text{ВК}} = \sqrt{\Delta_i^2 + \Delta^2} = \sqrt{3^2 + 0,1^2} = 3\%$$

Відносна похибка ВК відносної вологості повітря:

$$\eta_{\text{ВК}} = \frac{\Delta_{\text{ВК}}}{X} \cdot 100\% = \frac{3}{100 - 0} \cdot 100 = 3\%$$

Бачимо, що всі значення абсолютних похибок $\Delta_{\text{ВК}}$ є меншими ніж межі допустимих похибок. Це говорить про придатність ВК для використання, тобто прилади, встановлені в вимірювальному каналі, задовольняють умовам точності і придатні для вимірювання даного технологічного параметра.

2.1.7 Розрахунок надійності вимірювальних каналів

Виконаємо розрахунок надійності вимірювальних каналів. Для обраного переліку елементів, що наведені в таблиці 2.2 проведемо розрахунки надійності реалізації інформаційної, керуючої та захисної функції. Для кожного елементу системи визначимо середній час напрацювання на відмову та інтенсивність відмов.

Можемо розрахувати інтенсивність відмов за формулою:

$$\lambda = \frac{1}{T_{\text{ср}}} \quad (2.4)$$

Таблиця 2.2 – Параметри інтенсивності відмов та середнього часу напрацювання на відмову кожного елемента

Назва елемента	$T_{\text{ср}}$, год	$\lambda \cdot 10^{-6}, \frac{1}{\text{год}}$
Деталі кріпильного монтажу	90000	11,1
Датчик температури Siemens QAC3171	100000	10
Термоперетворювач опору Овен ДТС5М-И	40000	25

Продовження таблиці 2.2

Назва елементу	$T_{\text{ср}}, \text{ год}$	$\lambda \cdot 10^{-6}, \frac{1}{\text{год}}$
Реле перепаду тиску Vents DTV 500	80000	12,5
Датчик відносної вологості Thermasens RFF2071	20000	50
Контролер Unitronics Unisteam USC-PB10	50000	20
Ethernet кабель	122000	8,1
ПК	100000	10
Belimo LR24A-SR	80000	12,5
Регулюючий орган	35000	28

Складемо структурні схеми надійності для необхідних функцій.

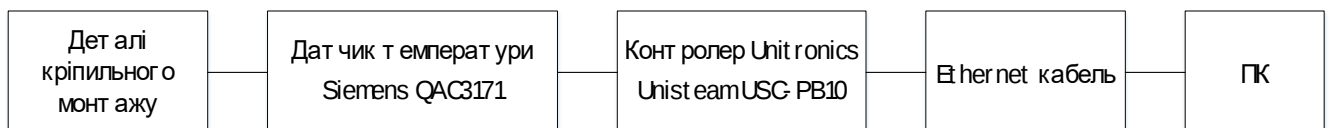


Рисунок 2.14 - Структурна схема надійності для інформаційної функції

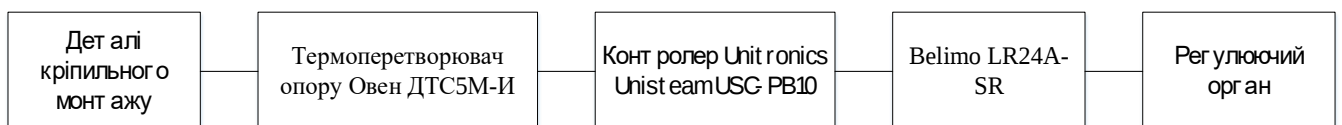


Рисунок 2.15 - Структурна схема надійності для керуючої функції

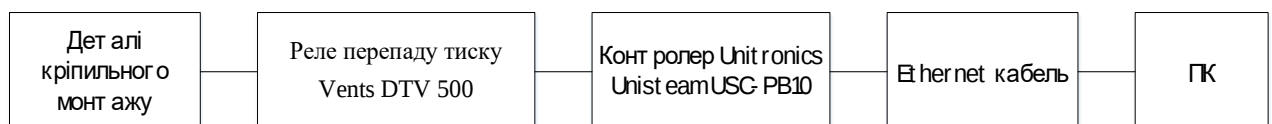


Рисунок 2.16 – Структурна схема надійності для захисної функції

Розрахуємо загальну інтенсивність відмов та середнє напруцювання на відмову для кожної функції.

Загальну інтенсивність відмов знайдемо за формулою:

$$\lambda = \sum_i^n \lambda_i ; \quad (2.5)$$

Для інформаційної функції:

$$\lambda = (11,1 + 10 + 20 + 8,1 + 10) \cdot 10^{-6} = 59,2 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{год}}$$

Для керуючої функції:

$$\lambda = (11,1 + 25 + 20 + 12,5 + 28) \cdot 10^{-6} = 96,6 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{год}}$$

Для захисної функції:

$$\lambda = (11,1 + 12,5 + 20 + 8,1 + 10) \cdot 10^{-6} = 61,7 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{год}}$$

Середній час напрацювання на відмову знайдемо за формулою

$$T_{\text{ср}} = \sum_i^n T_{\text{ср}} ; \quad (2.6)$$

Для інформаційної функції:

$$T_{\text{ср}} = 90000 + 100000 + 50000 + 122000 + 100000 = 462000 \text{ год}$$

Для керуючої функції:

$$T_{\text{ср}} = 90000 + 40000 + 50000 + 80000 + 35000 = 295000 \text{ год}$$

Для захисної функції:

$$T_{\text{ср}} = 90000 + 80000 + 50000 + 122000 + 100000 = 442000 \text{ год}$$

Задаємося періодом у 1000 год для розрахунку ймовірності безвідмовної роботи для кожної функції згідно з формулою:

$$P_{\delta}(\tau) = 1 - \frac{\tau}{T_{\text{ср}}} ; \quad (2.7)$$

Для інформаційної функції:

$$P_{\delta}(\tau) = 1 - \frac{1000}{462000} = 0,997$$

Для керуючої функції:

$$P_{\delta}(\tau) = 1 - \frac{1000}{295000} = 0,996$$

Для захисної функції:

$$P_{\delta}(\tau) = 1 - \frac{1000}{442000} = 0,997$$

					ТА91405.0004.001.АТХ.П	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для розрахунку ймовірності відновлення працездатності задаємося середнім часом відновлення працездатності $T_B = 2$ год та допустимим часом функціонування об'єкту при невиконанні керуючої функції $T_{\text{дод}} = 4$ год:

$$P_B = (\tau) = \frac{T_{\text{ср}}}{T_B} = \frac{4}{2} = 2 \text{ год}$$

Для керуючої функції розрахуємо ймовірність безвідмовної роботи за 1000

годин:

$$P_c(\tau) = P_\delta(\tau) + [1 - P_\delta(\tau)] \cdot P_B(\tau); \quad (2.8)$$

$$P_c(\tau) = 0,996 + [1 - 0,996] \cdot 2 = 1,004 \text{ год}$$

Для захисної функції розрахуємо коефіцієнт готовності та ймовірність безвідмовної роботи при виконанні очікуваного завдання згідно з формулами.

$$K_{\text{год}} = \frac{T_{\text{ср}}}{T_{\text{ср}} + T_B} = \frac{442000}{442000 + 2} = 0,999;$$

$$P_{\text{оч}}(\tau) = K_{\text{год}} \cdot P_\delta(\tau) = 0,999 \cdot 0,997 = 0,995 \text{ год}$$

Занесемо отримані дані в таблицю 2.3

Таблиця 2.3 – Значення інтенсивності відмов, середнього часу напрацювання та ймовірність безвідмовної роботи для кожної функції

Функція	$\lambda \cdot 10^{-6}, \frac{1}{\text{год}}$	$T_{\text{ср}}, \text{ год}$	$P(\tau)$
Інформаційна	59,2	462000	0,997
Керуюча	96,6	29500	0,996
Захисна	61,7	442000	0,997

Порівняємо розраховані дані з вимогами, яким повинна відповідати надійність.

Середнє напрацювання на відмову для усіх функцій $T_{\text{сер}} \geq 1000$ год:

Інформаційна: $462000 \geq 1000$;

Керуюча: $29000 \geq 1000$;

$$\text{Захисна: } 442000 \geq 1000;$$

Коефіцієнт готовності для захисної функції $K_{\text{гот}} > 0,998$:

$$0,999 \geq 0,998$$

Також повинна виконуватись нерівність для ймовірності безвідмовної роботи для кожної функції:

$$P_{\text{кер}} \leq P_{\text{інф}} \leq P_{\text{зах}}$$

$$0,996 \leq 0,997 \leq 0,997$$

Отже, виконавши розрахунок надійності вимірювальних каналів, значення відповідають вимогам надійності системи для даних вимірювальних каналів.

2.1.8 Функції первинної обробки даних в ПЛК

Наведемо перелік функцій первинної обробки сигналів в ПЛК для всіх ВК системи вентиляції та кондиціонування з їх обґрунтуванням.

- **Фільтрація:** Функція фільтрації застосовується для зменшення шуму та неправильних коливань в сигналі температури повітря, води і вологості. Вона допомагає поліпшити якість сигналу та забезпечити стабільність вимірювання.
- **Апроксимація:** Кусочно-лінійна апроксимація використовується для наближеного представлення нелінійних залежностей сигналів температури і вологості лінійними моделями. Це дозволяє спростити подальшу обробку та аналіз даних.
- **Масштабування:** Лінійне перетворення діапазону вимірювання сигналів температури і вологості допомагає привести їх до зручних значень для сприйняття та подальшої обробки. Наприклад, перетворення значень з мілівольт на градуси Цельсія або відносну вологість в процентах.
- **Порівняння з уставками:** Порівняння вимірюваних значень температури, тиску і вологості з заданими уставками дозволяє виявляти

					ТА91405.0004.001.АТХ.П	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перевищення, недоліки або попадання в заданий діапазон. Це важливо для контролю параметрів та запуску необхідних дій у випадку відхилення.

- Алармування: Функція алармування використовується для формування сигналу тривоги або сповіщень у випадку виникнення небажаних ситуацій, таких як перевищення меж допустимих значень температури, тиску або вологості. Це допомагає оперативно реагувати на проблеми та запобігає можливим пошкодженням або аваріям.

- Аналітика: Статистичний аналіз даних, такий як визначення мінімального, максимального та середнього значень температури і вологості, а також розрахунок дисперсії, дозволяє отримати більш повну інформацію про зміни параметрів у часі. Це може бути корисним для контролю процесів та прийняття рішень.

- Лічильник і таймер: Лічильники та таймери використовуються для підрахунку кількості подій, вимірювання тривалості певних подій або регуляції часових інтервалів. Наприклад, лічильник може використовуватись для підрахунку кількості циклів роботи системи, а таймер - для затримки включення або виключення пристроїв.

- Логічні операції: Логічні операції, такі як NOT, AND, OR, XOR, дозволяють здійснювати керування логічними станами сигналів. Вони використовуються для обчислення умов, включення або виключення пристроїв на основі різних логічних правил.

Ці функції первинної обробки сигналів в ПЛК необхідні для забезпечення точного та надійного збору даних з вимірювальних каналів, контролю параметрів та виявлення небажаних або некоректних значень. Вони допомагають забезпечити стабільність та ефективність роботи системи

					ТА91405.0004.001.АТХ.П	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вентиляції та кондиціонування, а також забезпечити оптимальні умови в приміщенні.

2.1.9 Висновок щодо роботоздатності вимірювальних каналів САР

Вимірювальні канали відповідають вимогам точності, оскільки значення абсолютних похибок (Δ_{BK}) для всіх каналів менші за межі допустимих похибок. Це свідчить про придатність вимірювальних каналів для використання, а прилади, що встановлені в цих каналах, задовольняють вимогам точності і придатні для вимірювання відповідних технологічних параметрів. Крім того, розрахунки надійності вимірювальних каналів показують, що значення відповідають вимогам надійності системи для цих каналів. Це означає, що вимірювальні канали здатні працювати без відмови протягом встановленого періоду часу, забезпечуючи надійне та безперебійне збирання даних. Отже, з урахуванням вказаних факторів можна зробити висновок, що вимірювальні канали є роботоздатними, тобто вони задовольняють вимоги точності та надійності, і є придатними для вимірювання відповідних технологічних параметрів.

2.2 Інженерний розрахунок регульовано-виконавчих каналів САР

2.2.1 Перелік систем автоматичного регулювання

Каскадна САР температури повітря в приміщенні. У даному випадку вибраний саме каскадний тип САР, так як використання каскадної САР для температури повітря в приміщенні дозволяє досягти вищої якості регулювання, забезпечити стабільні умови в приміщенні і знизити вплив зовнішніх факторів на процес регулювання. Завдання – задане значення (уставка) температури повітря в приміщенні. Регульований параметр – виміряне значення температури повітря в приміщенні. Об'єкт управління – канал передачі дії «подача гарячої води в теплообмінник – температура повітря в приміщенні». САР здійснює управляючу функцію стабілізації температури повітря в приміщенні шляхом зміни подачі гарячої води в контурі теплообмінника (калорифера, котла).

					ТА91405.0004.001.АТХ.П	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Одноконтурна САР вологи повітря в приміщенні. Використання одноконтурної САР для вологості повітря в приміщенні є раціональним вибором, оскільки вона використовує один регулятор для керування вологості повітря. Це спрощує процес налаштування, експлуатації та обслуговування системи. Також одноконтурна САР може бути більш економічно вигідною у порівнянні з каскадною системою, тому що вона вимагає менше обладнання та компонентів. Завдання – задане значення (уставка) вологості повітря в приміщенні. Регульований параметр – виміряне значення вологості повітря в приміщенні. Об’єкт управління – канал передачі дії «подача води до камери зволожувача – вологість повітря в приміщенні» САР здійснює управляючу функцію стабілізації вологості повітря в приміщенні шляхом зміни подачі води до камери зволожувача.

2.2.2 Функціональна і структурна схеми САР

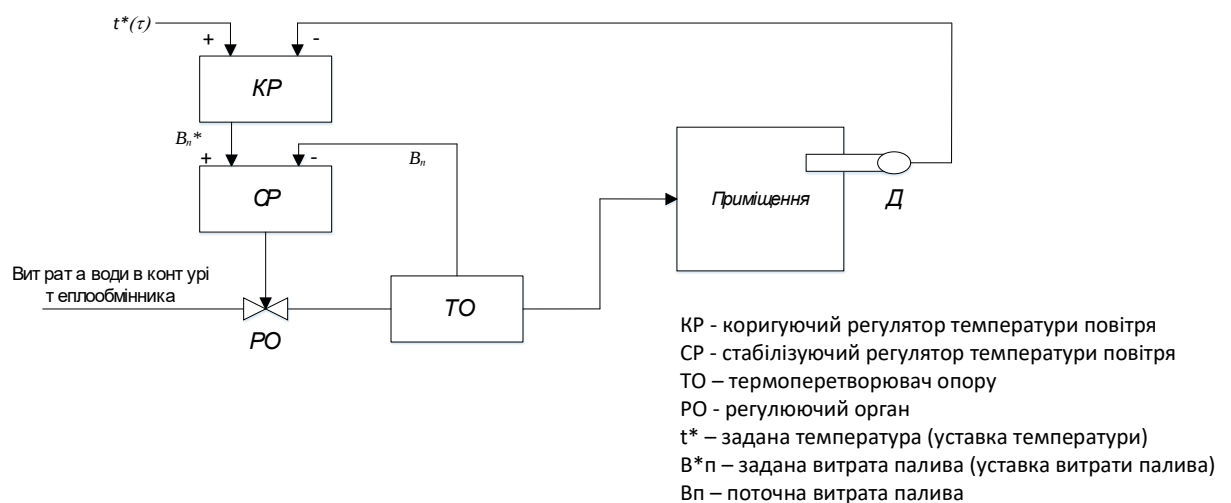


Рисунок 2.17 – Функціональна схема САР температури повітря в приміщенні

У приміщенні є датчик температури, який вимірює температуру повітря. Коригуючий регулятор (КР) виявляє розбаланс температури ($\Delta t = t^* - t$) і виконує свою функцію, формуючи задану витрату палива (B_n) для стабілізуючого регулятора (СР). Розбаланс ($\Delta B = B_n - B_n$) подається на стабілізуючий регулятор СР. Якщо ($\Delta B > 0$), СР збільшує подачу гарячої води, а якщо ($\Delta B < 0$), СР зменшує її. Стабілізуючий регулятор СР швидко реагує

на збурення з боку системи автоматичного регулювання (РО) - збурення витратою палива, і швидко його компенсує, повертаючи подачу гарячої води до попередніх значень. Це дозволяє системі майже не змінювати температуру.

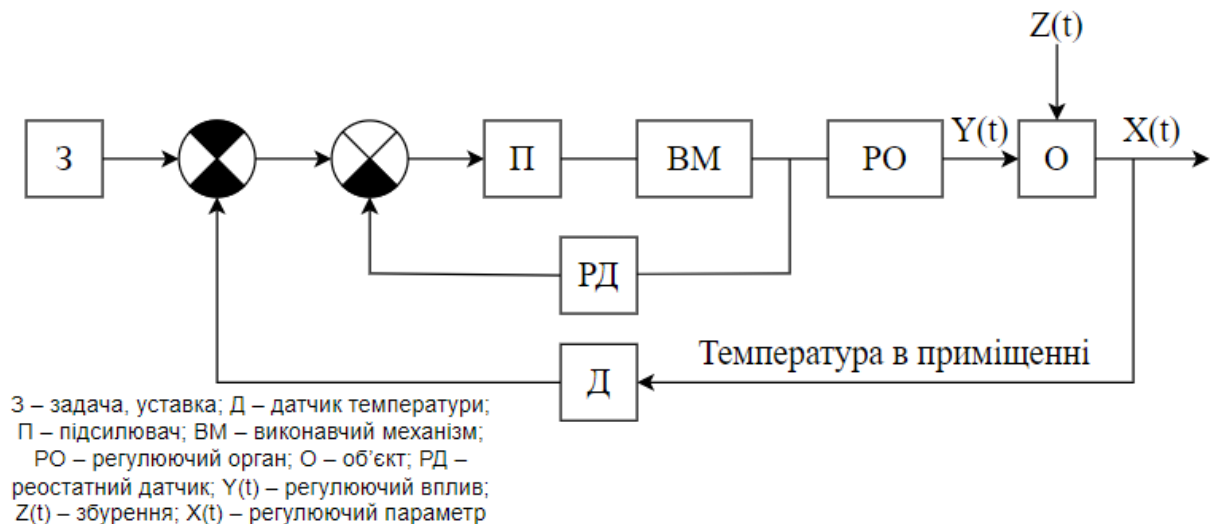


Рисунок 2.18 – Структурна схема каскадної САР температури повітря в приміщенні

У даній системі передбачені два від'ємних зворотних зв'язки: головний та= додатковий. Головний зворотний зв'язок виконаний з участю датчика температури (Д), що аналогічно як одноконтурній системі керування, передає сигнал з виходу системи на ПЛК. Додатковий зворотний зв'язок виконаний з реостатним датчиком, це використовується для того, щоб здійснювати коректування перехідного процесу, сигналу, який йде на регулюючий орган. Принцип дії такої системи полягає в тому, що при відхиленні температури повітря в приміщенні від заданого значення створюється сигнал помилки, який у вигляді різниці напруги подається на підсилювач (П) і далі цей сигнал йде у ВМ. Двигун у ВМ починає крутитись у відповідну сторону і шляхом переміщення регулюючого органу РО здійснюється регулюючий вплив на об'єкт регулювання (зміна положення клапана на теплоносії або кутова швидкість вентиляторів). При цьому температура в приміщенні наближається до заданої.

2.2.3 Схема структурна регулювально-виконавчого каналу САР



Рисунок 2.19 – Структурна схема РВК САР температури повітря в приміщенні

SV1 (Set Value) - уставка температури повітря в приміщенні;

SV2 (Set Value) - значення на виході коригуючого регулятора;

PV1 (Process Value) - поточне виміряне значення температури повітря в приміщенні;

ФБ РЕГ коригуючий - функціональний блок коригуючого ПІД регулятора;

ФБ РЕГ стабілізуючий - функціональний блок стабілізуючого ПІД регулятора;

На рисунку 2.19 коригуючий регулятор температури повітря в приміщенні змінює налаштування стабілізуючого регулятора, що впливає на стабілізацію температури шляхом регулювання подачі гарячої води до теплообмінника.

2.2.4 Схема структурна програмно-технічних засобів САР

На рисунку 2.20 наведена структурна схема програмно-технічних засобів каскадної САР температури повітря в приміщенні.

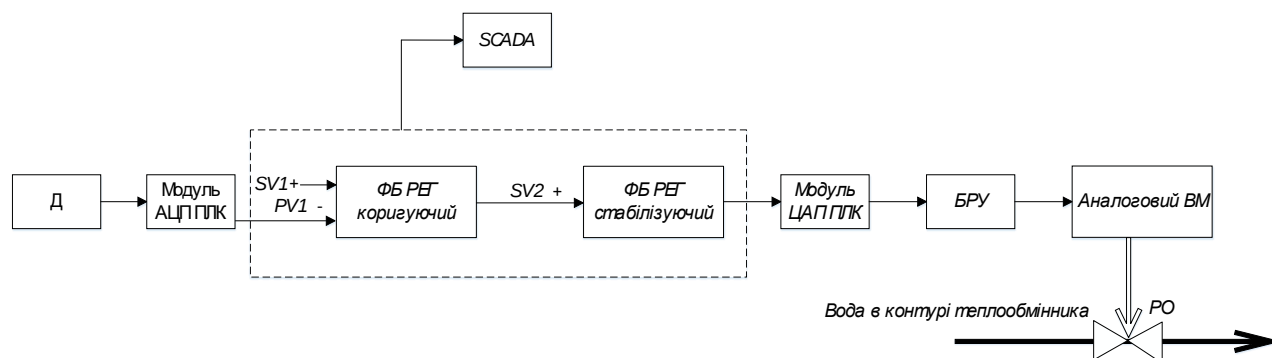


Рисунок 2.20 – Структурна схема ПТЗ САР температури повітря в приміщенні

Д – датчик температури Pt1000 з уніфікованим сигналом 4...20 мА;

Модуль АЦП ПЛК – модуль аналого-цифрового перетворення програмно логічного контролера;

Модуль ЦАП ПЛК – модуль цифрово-аналогового перетворення програмно логічного контролера;

SV1 (Set Value) - уставка температури повітря в приміщенні;

SV2 (Set Value) - значення на виході коригуючого регулятора;

PV1 (Process Value) - поточне виміряне значення температури повітря в приміщенні;

ФБ РЕГ коригуючий - функціональний блок коригуючого ПІД регулятора;

ФБ РЕГ стабілізуючий - функціональний блок стабілізуючого ПІД регулятора;

БРУ – блок ручного управління;

Аналоговий ВМ – аналоговий виконавчий механізм;

РО регулюючий орган

Температура повітря в приміщенні вимірюється датчиком температури, який передає сигнал зі струмовими значеннями 4..20 мА на модуль АЦП ПЛК. Після проходження регулюючого каналу в контролері, сигнали потрапляють до модуля ЦАП ПЛК. Вона конвертує сигнал у вигляді напруги 0..10 В, яка подається на блок ручного управління. Далі сигнал надсилається на аналоговий виконавчий механізм, який впливає на регулюючий орган. Блок ручного управління (БРУ) має перемикач для вибору режиму роботи, автоматичного або ручного. В автоматичному режимі, сигнал 0..10 В з контролера проходить через БРУ до аналогового виконавчого механізму. У ручному режимі, сигнал з контролера вимикається, а на виконавчий механізм передається сигнал, що формується ручним задатчиком БРУ.

					ТА91405.0004.001.АТХ.П	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2.5 Схема структурна надійності реалізації управляючої функції САР



Рисунок 2.21 – Структурна схема надійності реалізації управляючої функції САР температури повітря в приміщенні

На схемі показано послідовне з'єднання компонентів системи регулювання для зручності візуального розуміння та подальших розрахунків надійності. Вимірювальні датчики підключаються до нашого ПЛК Unitronics, де відбувається обробка сигналу. Потім управляючий сигнал послідовно подається до БРУ-107 (для можливості ручного керування виконавчим механізмом) і підключається до виконавчого механізму BelimoLR24A-SR. Виконавчий механізм безпосередньо впливає на регулюючий орган, змінюючи його положення. У нашому випадку, це відкриття або закриття клапана для подачі гарячої води до теплообмінника.

2.2.6 Розрахунок надійності реалізації управляючої функції САР

Виконаємо розрахунок надійності реалізації управляючої функції. Для обраного переліку елементів, що наведені на рисунку 2.21 проведемо розрахунки надійності реалізації інформаційної, керуючої та захисної функції. Для кожного елементу системи визначимо середній час напрацювання на відмову та інтенсивність відмов.

Розрахуємо загальну інтенсивність відмов та середнє напрацювання на відмову.

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = (20 + 10 + 12,5) \cdot 10^{-6} = 42,5 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{год}};$$

$$T_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^n T_{\text{ср}} = 50000 + 100000 + 80000 = 230000 \text{ год}$$

Задаємося періодом у 1000 год для розрахунку ймовірності безвідмовної роботи:

$$P_{\delta}(\tau) = 1 - \frac{\tau}{T_{\text{ср}}} = 1 - \frac{1000}{230000} = 0,995$$

$$P_c(\tau) = P_{\delta}(\tau) + [1 - P_{\delta}(\tau)] \cdot P_v(\tau) = 0,995 + [1 - 0,995] \cdot 2 = 1,005$$

Розрахуємо середній час відновлення працездатності виконавчих каналів при $K_{\text{гот}} = 0,9995$:

$$K_{\text{гот}} = \frac{T_{\text{ср}}}{T_{\text{ср}} + T_v} \rightarrow T_v = \frac{T_{\text{ср}}}{K_{\text{гот}}} - T_{\text{ср}} = \frac{230000}{0,9995} - 230000 = 115,05 \text{ год}$$

Отже, виконавши розрахунок надійності реалізації управляючої функції, значення відповідають вимогам надійності системи для даних вимірювальних каналів.

2.2.7 Ідентифікація ТОУ

Виконаємо ідентифікацію ТОУ для визначення його параметрів. Необхідно визначити реакцію регульованого параметру на збурення тому зазначимо, що в початковий момент часу на нашу перехідну характеристику було нанесено збурення 100%. Наведемо графік зміни температури повітря випереджального каналу в системі вентиляції та кондиціонування.



Рисунок 2.22 – Зміна температури повітря у системі вентиляції

					ТА91405.0004.001.АТХ.П	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Також наведемо графік зміни температури повітря в приміщенні для інерційного каналу.

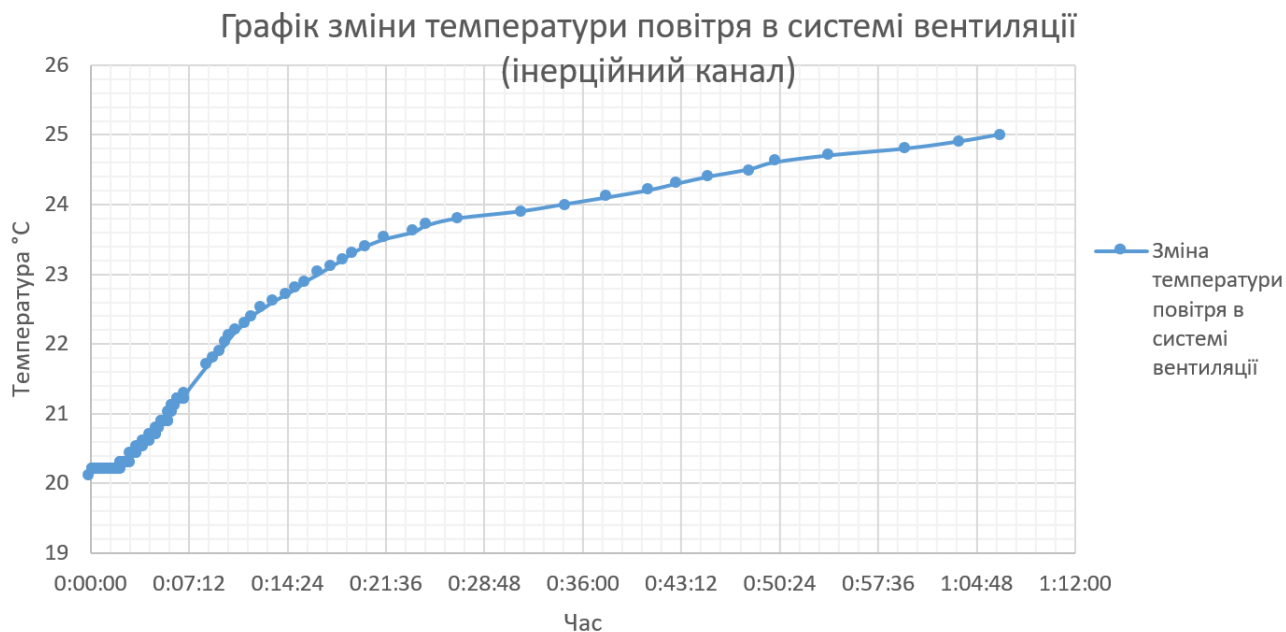


Рисунок 2.23 – Зміна температури повітря у системі вентиляції

Даний перехідний процес на рисунку 2.22 та 2.23 відображає зміну температури повітря в системі вентиляції впродовж часу.

Наведемо графік зміни перехідного процесу для температури повітря в приміщенні при зміні витрати газу в газовому котлі на 30%.

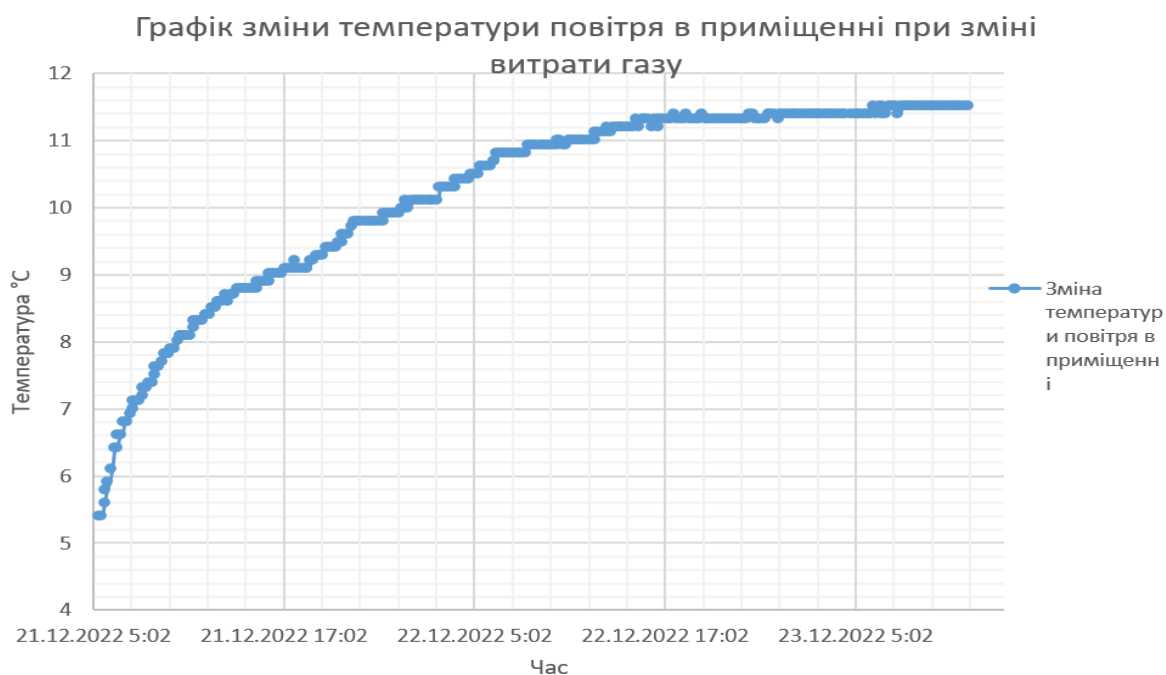


Рисунок 2.24 – Зміна температури повітря приміщенні

Для виконання ідентифікації об'єкта визначимо наступні параметри функції передачі:

- K – коефіцієнт передачі, залежність коефіцієнта передачі має наступний вигляд: $K = \frac{y(\infty) - y(0)}{\Delta u} = \frac{\Delta y}{\Delta u}$

- τ – запізнення перехідного процесу;
- T – час перехідного процесу.

Для визначення параметрів функції передачі виконаємо апроксимацію та використаємо метод логарифмування, для зручності додамо лінії на графіках перехідних процесів.

$$T = 1.25(t_B - t_A)$$

$$\tau = 0.5(3t_A - t_B)$$

$$t_A = f(0.33K)$$

$$t_B = f(0.7K)$$

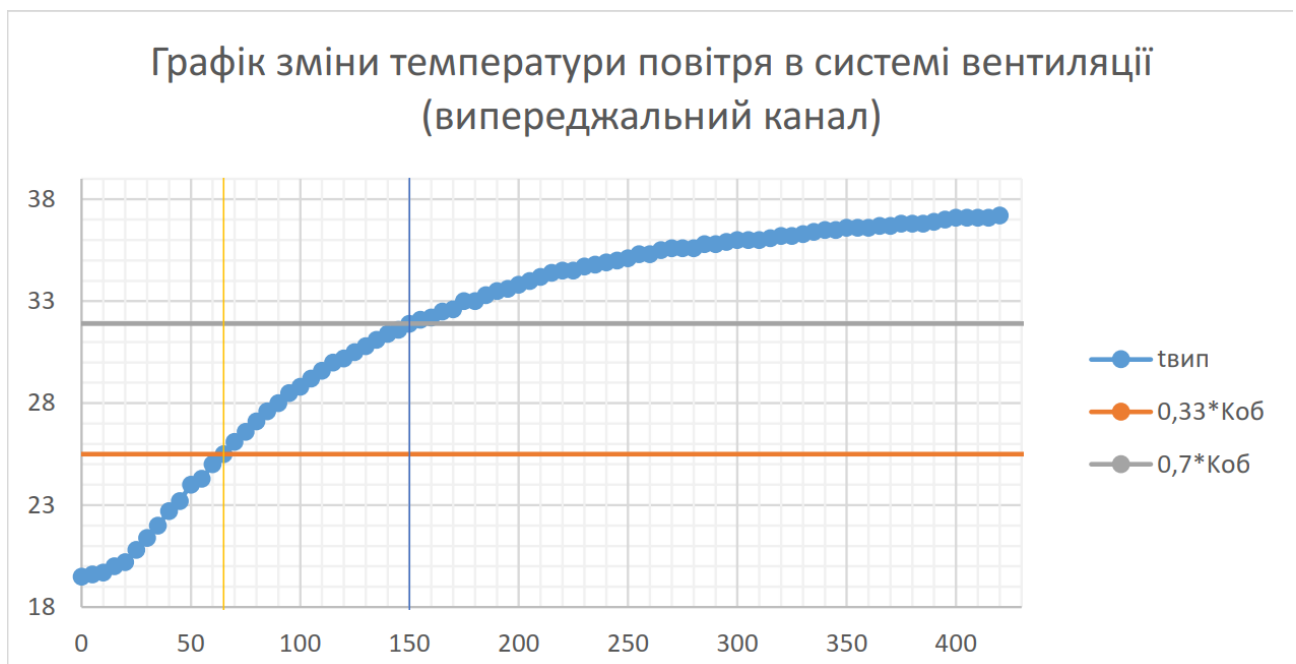


Рисунок 2.25 – Графік зміни температури повітря в системі вентиляції з добудовами для методу логарифмування

Графік зміни температури повітря в системі вентиляції
(інерційний канал)

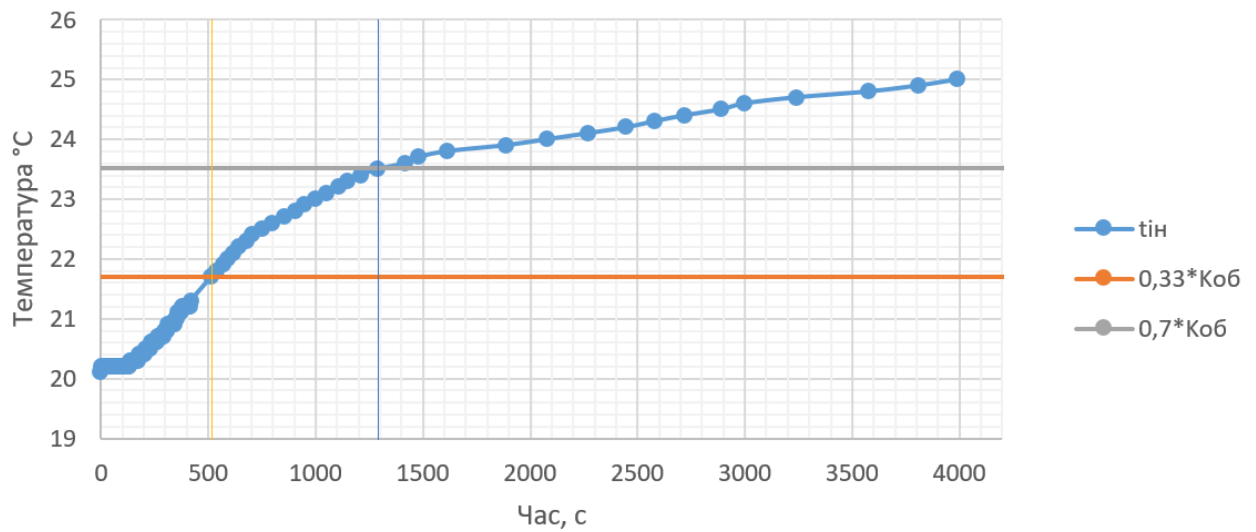


Рисунок 2.26 – Графік зміни температури повітря в системі вентиляції
з добудовами для методу логарифмуванняI

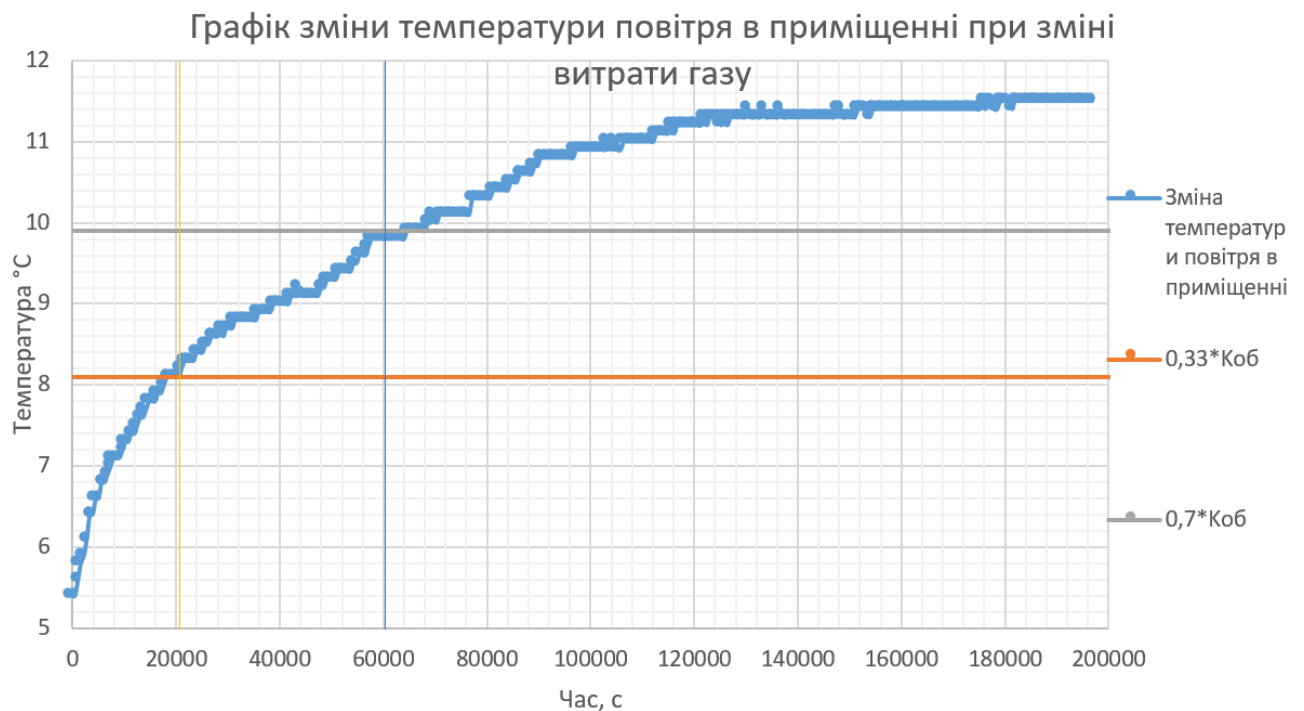


Рисунок 2.27 – Графік зміни температури повітря в приміщенні з
добудовами для методу логарифмування

З графіка рисунку 2.25 маємо такі значення параметрів функції передачі, які описують зміну температури повітря в системі вентиляції для випереджального каналу

$$K = \frac{37,2 - 19,5}{100 - 0} = 0,177$$

$$t_a = f(0,33K) = 65 \text{ c}$$

$$t_b = f(0,7K) = 150 \text{ c}$$

$$T = 1,25(t_b - t_a) = 1,25(150 - 65) = 106,25 \text{ c}$$

$$\tau = 0.5(3t_A - t_B) = 0,5(3 \cdot 65 - 150) = 22,5 \text{ c}$$

З графіка рисунку 2.26 маємо такі значення параметрів функції передачі, які описують зміну температури повітря в системі вентиляції для інерційного каналу.

$$K = \frac{25 - 20,1}{100 - 0} = 0,049$$

$$t_a = f(0,33K) = 515 \text{ c}$$

$$t_b = f(0,7K) = 1291 \text{ c}$$

$$T = 1,25(t_b - t_a) = 1,25(1291 - 515) = 970 \text{ c}$$

$$\tau = 0.5(3t_A - t_B) = 0,5(3 \cdot 515 - 1291) = 127 \text{ c}$$

З графіка рисунку 2.27 маємо такі значення параметрів функції передачі, які описують зміну температури повітря в приміщенні при зміні витрати газу в газовому котлі на 30%

$$K = \frac{11,5 - 5,4}{30} = 0,203$$

$$t_a = f(0,33K) = 20580 \text{ c}$$

$$t_b = f(0,7K) = 60440 \text{ c}$$

$$T = 1,25(t_b - t_a) = 1,25(60440 - 20580) = 49825 \text{ c}$$

$$\tau = 0.5(3t_A - t_B) = 0,5(3 \cdot 20580 - 60440) = 670 \text{ c}$$

Отже функції передачі з наведених перехідних процесів мають наступний вигляд:

Для температури повітря в системі вентиляції випереджаючого каналу:

$$W(s) = \frac{K}{T \cdot s + 1} e^{-\tau s} = \frac{0,177}{106,3s + 1} e^{-23s}$$

Для температури повітря в системі вентиляції інерційного каналу:

					ТА91405.0004.001.АТХ.П	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$W(s) = \frac{K}{T \cdot s + 1} e^{-\tau s} = \frac{0,049}{970s + 1} e^{-127s}$$

Для температури повітря в приміщенні при зміні витрати газу в газовому котлі на 30%:

$$W(s) = \frac{K}{T \cdot s + 1} e^{-\tau s} = \frac{0,203}{49825s + 1} e^{-670s}$$

2.2.8 Розрахунок регуляторів

У середовищі Matlab Simulink побудуємо криві розгону для контуру регулювання температури повітря в системі вентиляції для випереджаючого каналу, маємо наступну передавальну функцію:

$$W(s) = \frac{0,177}{106,3s + 1} e^{-23s}$$



Рисунок 2.28 – Модель перехідного процесу для випереджаючого каналу температури повітря системи вентиляції

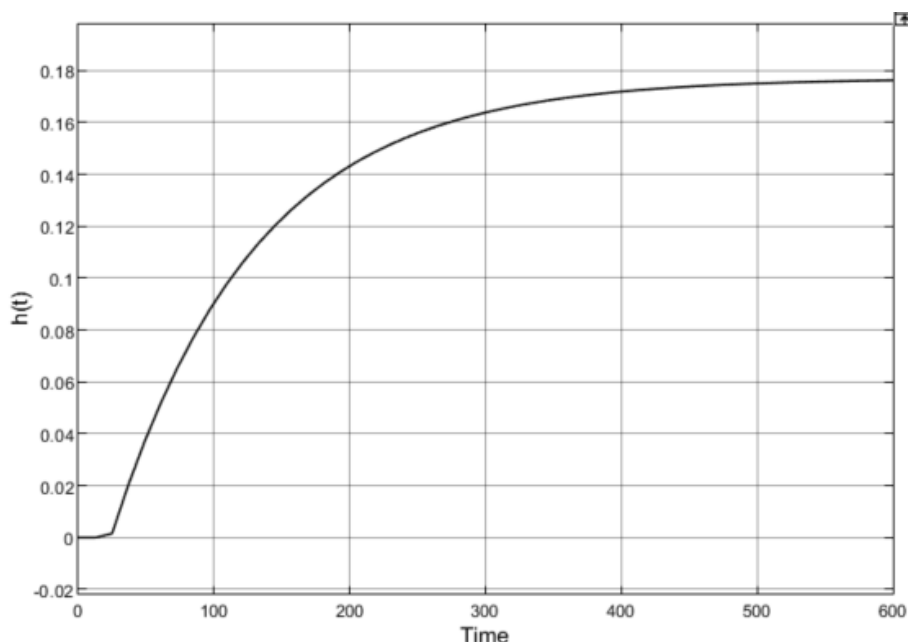


Рисунок 2.29 – Перехідний процес для випереджаючого каналу температури повітря системи вентиляції

Передавальна функція для інерційного каналу:

$$W(s) = \frac{0,049}{970s + 1} e^{-127s}$$



Рисунок 2.30 – Модель перехідного процесу для інерційного каналу температури повітря системи вентиляції

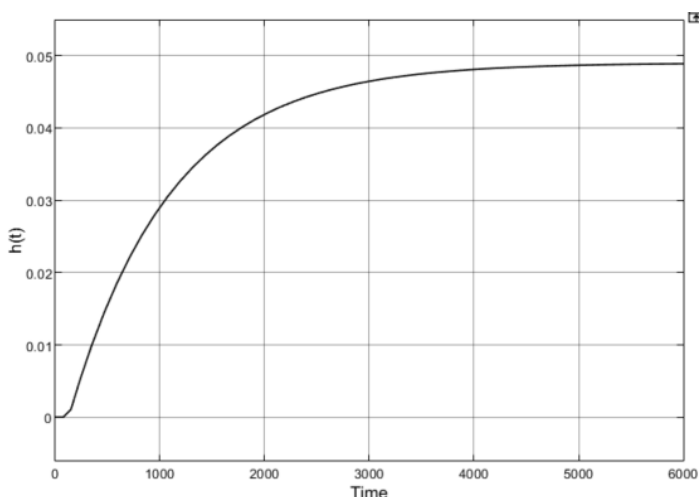


Рисунок 2.31 – Перехідний процес для інерційного каналу температури повітря системи вентиляції

Передавальна функція для контуру температури в приміщенні при зміні витрати газу в котлі:

$$W(s) = \frac{0,203}{49825s + 1} e^{-670s}$$



Рисунок 2.32 – Модель перехідного температури в приміщенні при зміні витрати газу в котлі

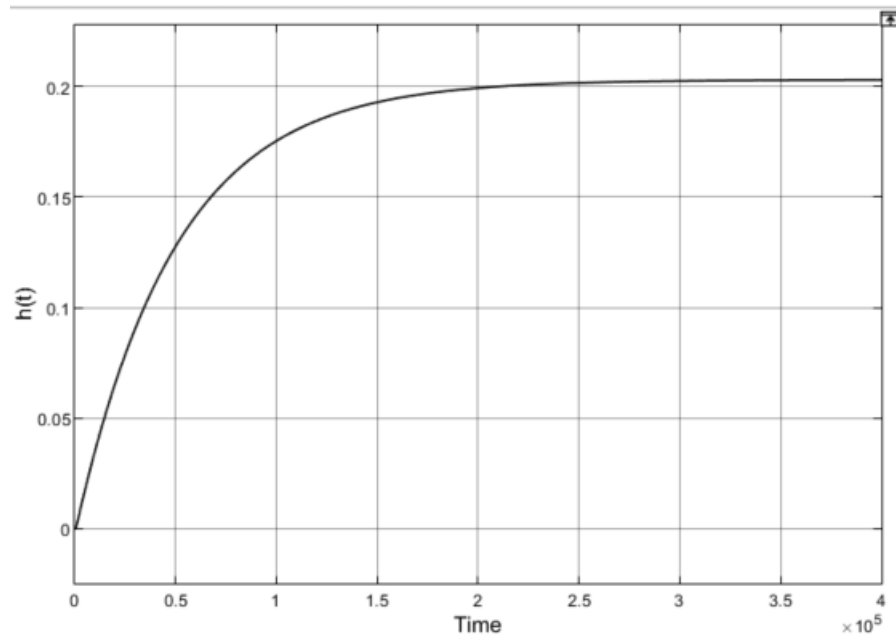


Рисунок 2.33 – Перехідний процес температури в приміщенні при зміні витрати газу в котлі

Розрахунок контуру температури в системі вентиляції випереджаючого каналу

Для того, щоб розрахувати налаштування регулятора використаємо метод РАФХ для контуру регулювання температури випереджаючого каналу. Ступінь коливальності визначимо як $m = 0,366$.

Використаємо наступні формули ПІ-регулятора для побудови кривої $m = \text{const}$:

$$\begin{cases} K_i = -\frac{\omega(m^2 - 1) \cdot Q_{об}^{розш}(m; \omega)}{(A_{об}^{розш}(m; \omega))^2} \\ K_p = -\frac{P_{об}^{розш}(m; \omega) - Q_{об}^{розш}(m; \omega) \cdot m}{(A_{об}^{розш}(m; \omega))^2} \end{cases}$$

$$\text{де } K_i = \frac{K_p}{T_i}, A_{об}^{розш}(m; \omega) = \sqrt{(P_{об}^{розш}(m; \omega))^2 + (Q_{об}^{розш}(m; \omega))^2} \quad (2.9)$$

Для побудови залежності $K_i = f(K_p)$ використаємо наступний код.

```

w=0:0.00001:0.06;
m=0.366;
p=w.*(1j-m);
Wob=(0.177.*exp(-23.*p))./(106.3.*p+1);
Re=real(Wob);
Im=imag(Wob);
Kp=-(m*Im+Re)./(Im.^2+Re.^2);
Ki=-w*(m.^2+1).*Im./(Im.^2+Re.^2);
plot(Kp,Ki);
xlabel('Kp');
ylabel('Ki');
grid on;

```

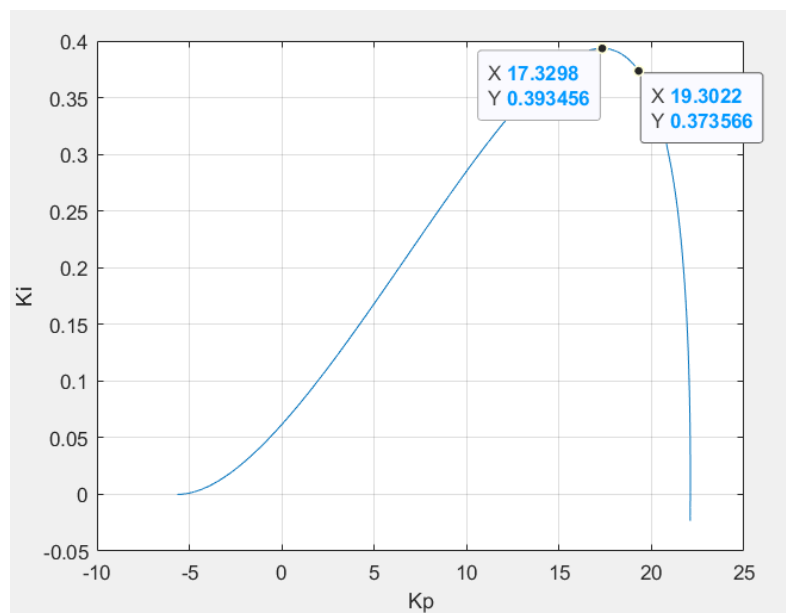


Рисунок 2.34 – Графік залежності $K_i=f(K_p)$

Для точки $K_i = 0,95\max(K_i)$ будуть наступними налаштування ПІ-регулятора:

$$K_p = 19,3$$

$$K_i = 0,373$$

$$T_i = \frac{K_p}{K_i} = \frac{19,3}{0,373} = 51,74$$

Побудуємо годограф РАФХ розімкнутої системи об'єкта керування, щоб підтвердити правильність розрахунків.

Код m-файлу:

```

w=0.02:0.0001:0.3;
m=0.366;
p=w*(1j-m);
Wob=(0.177.*exp(-23.*p))./(106.3.*p+1);
Kp=19.3;
Ti=51.74;
Wr=Kp*(1+1./(Ti.*p));
Wrs=Wrs.*Wob;
Re=real(Wrs);
Im=imag(Wrs);
plot(Re,Im);
xlabel('Re(w)');
ylabel('Im(w)');
legend('РАФХ');
grid on;

```

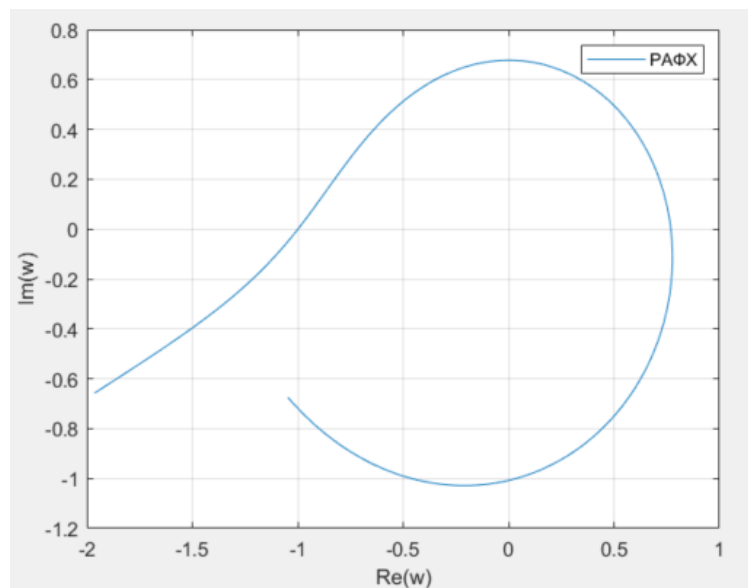


Рисунок 2.35 – РАФХ розімкнутої системи об'єкта керування

Отже бачимо, що РАФХ розімкненої системи проходить через точку $(-1;j0)$. Це означає, що система має кореневий показник коливальності $m=0,366$.

Далі побудуємо перехідні процеси для даної системи за каналами завдання-вихід та завдання-вихід за допомогою Matlab Simulink.

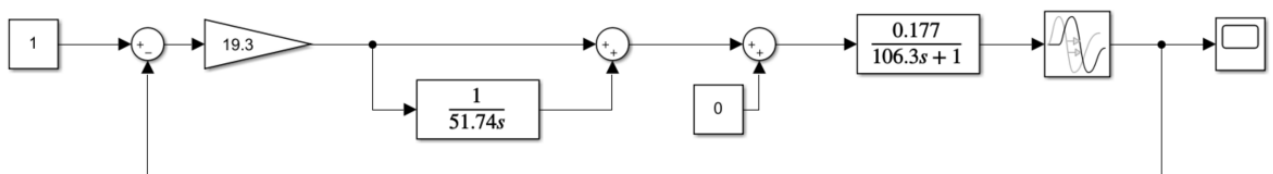


Рисунок 2.36 – Структурна схема за каналом завдання-вихід

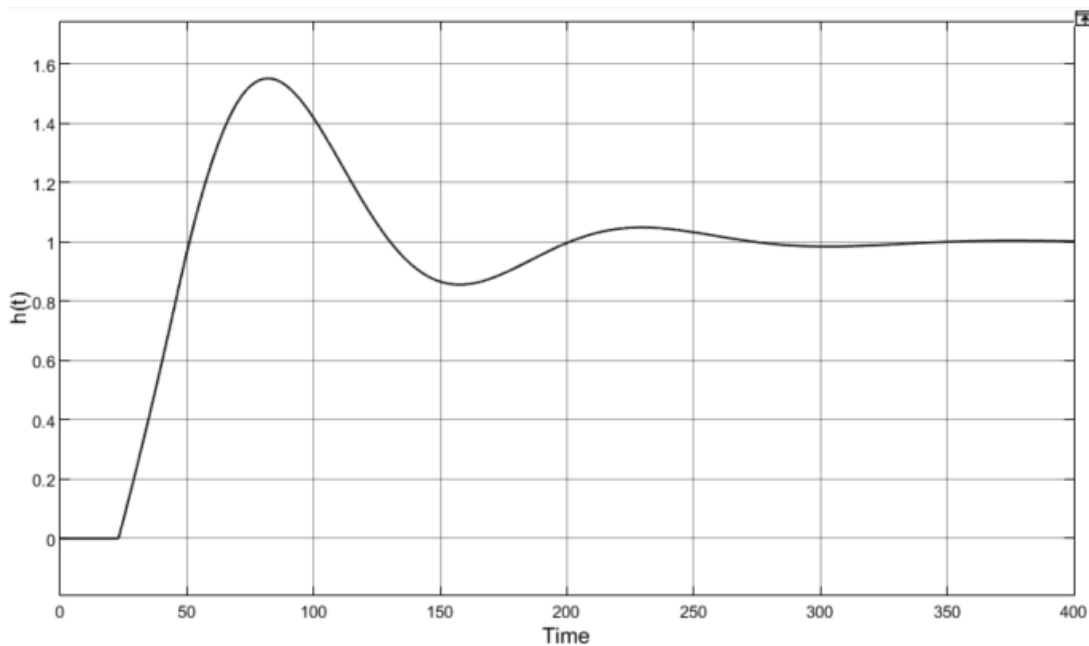


Рисунок 2.37 – Графік перехідного процесу за каналом завдання-вихід

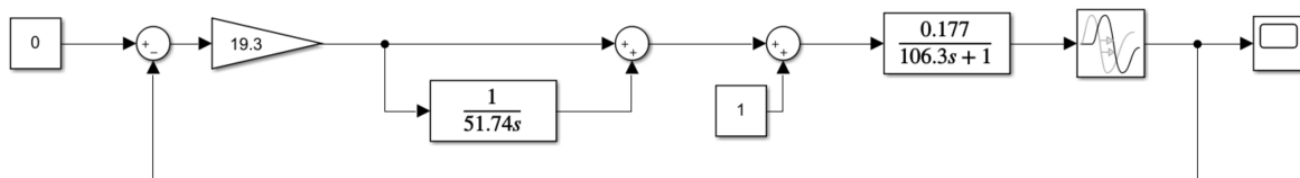


Рисунок 2.38– Структурна схема за каналом збурення-вихід

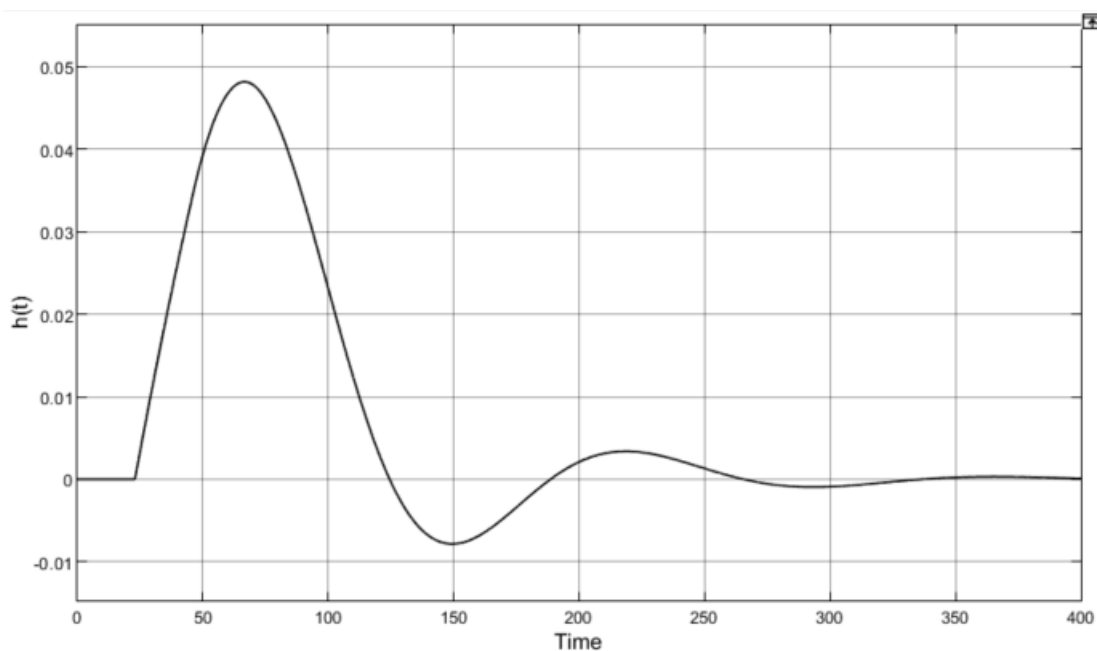


Рисунок 2.39 – Графік перехідного процесу за каналом збурення-вихід

Розрахуємо прямі показники якості системи для методу РАФХ

					ТА91405.0004.001.АТХ.П	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

Таблиця 2.4 – Показники якості для системи за методом РАФХ

Показник якості	Завдання- д	Збурення-вихід
Статична похибка $\Delta_{ст}$	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0,552	0,048
Перерегулювання σ ,	55,2	16,3
Степінь затухання Ψ	0,99	0,93
Час перехідного процесу $t_{пп}$,	188	238,2

Розрахунок налаштувань регулятора експрес-методом

Для того, щоб розрахувати ПІ-регулятор використаємо експрес метод Ziegler and Nichols.

Для використання даного методу необхідно, щоб наступна нерівність виконувалась:

$$\frac{\tau_{об}}{T_{об}} \leq 1$$

Підставимо ці значення з функції передачі:

$$\frac{22,5}{106,3} \leq 1$$

Так як дана нерівність виконується, можемо використати обраний метод. Розрахуємо налаштування регулятора за наступними формулами:

$$K_p = \frac{0,9}{K_{об}} \cdot \frac{T_{об}}{\tau_{об}} = \frac{0,9}{0,177} \cdot \frac{106,3}{22,5} = 24,02$$

$$T_i = 3,33 \cdot \tau_{об} = 3,33 \cdot 22,5 = 74,9$$

Далі побудуємо перехідні процеси для даної системи за каналами збурення-вихід та завдання-вихід за допомогою Matlab Simulink.

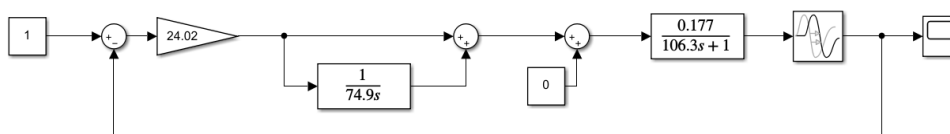


Рисунок 2.40 – Структурна схема за каналом завдання-вихід

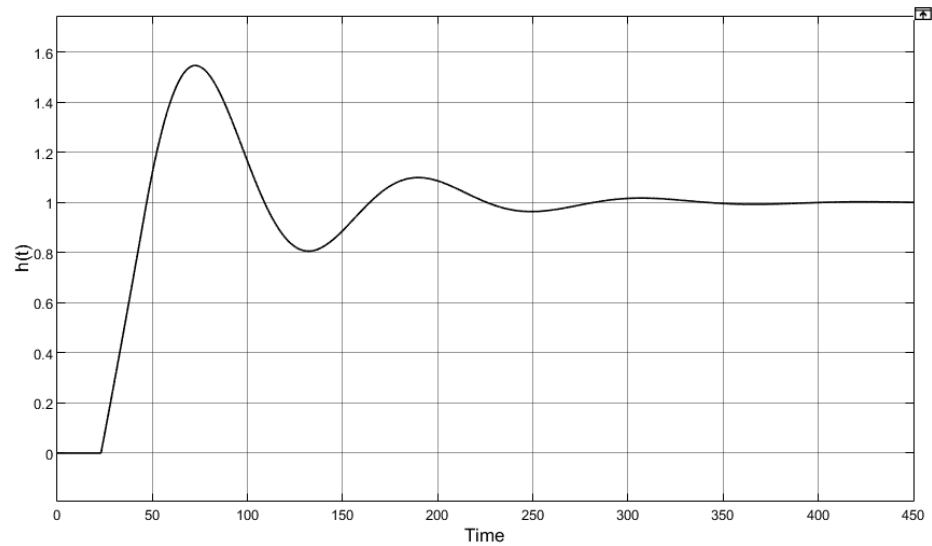


Рисунок 2.41 – Графік перехідного процесу за каналом завдання-вихід

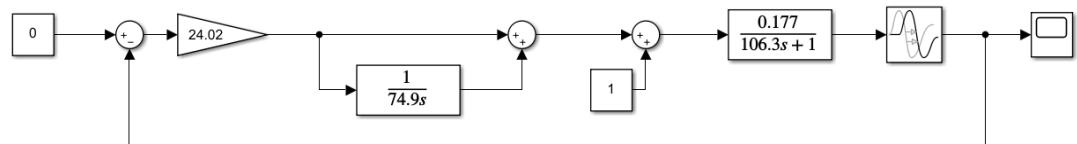


Рисунок 2.42 – Структурна схема за каналом збурення-вихід

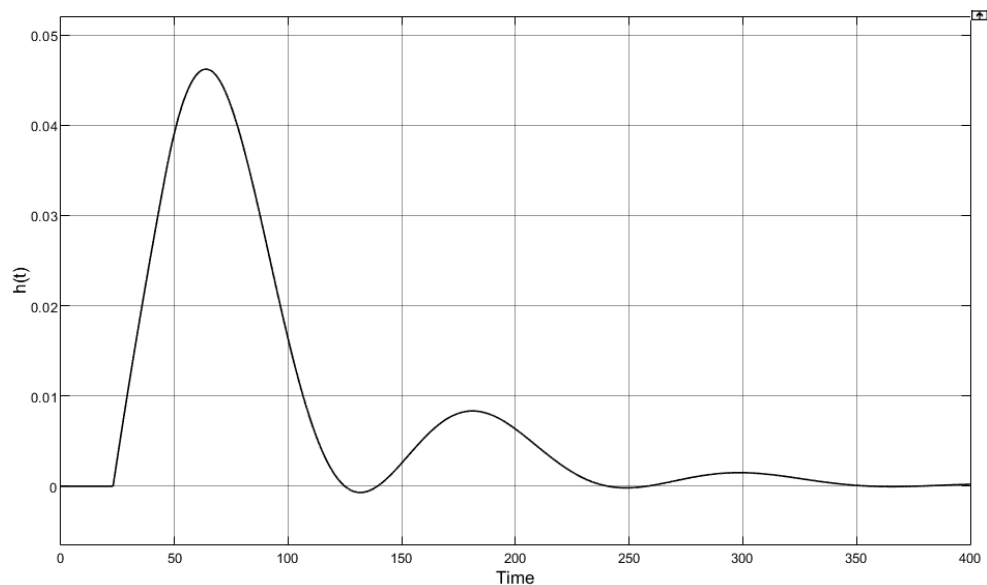


Рисунок 2.43 – Графік перехідного процесу за каналом збурення-вихід

Розрахуємо прямі показники якості для системи для методу Ziegler and Nichols

Таблиця 2.5 – Показники якості для системи за методом Ziegler and Nichols

Показник якості	Завдання-вихід	Збурення-вихід
Статична похибка $\Delta_{ст}$	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0,547	0,046
Перерегулювання σ , %	54,7	1,52
Степінь затухання Ψ	0,817	0,82
Час перехідного процесу $t_{пп}$,	211	220,4

Порівняємо отримані результати з двох методів, щоб визначити який є більш підходящий. Порівняємо отримані перехідні характеристики та їх показники якості в Matlab Simulink.

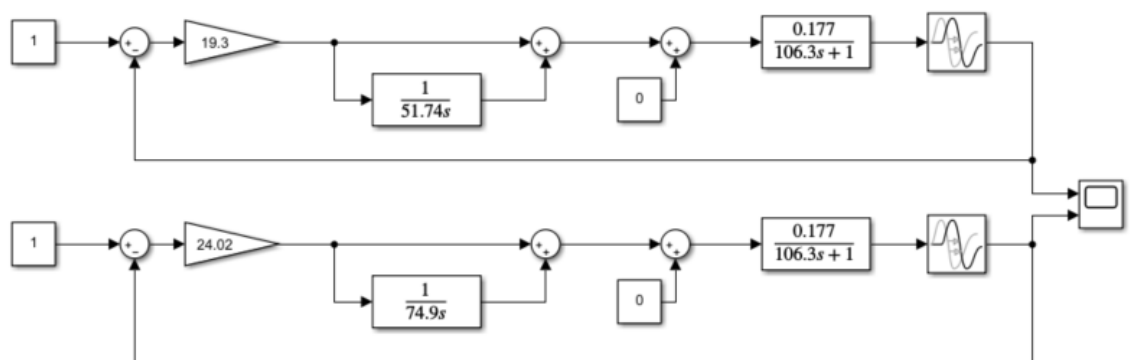


Рисунок 2.44 – Схема в Simulink по каналу завдання-вихід

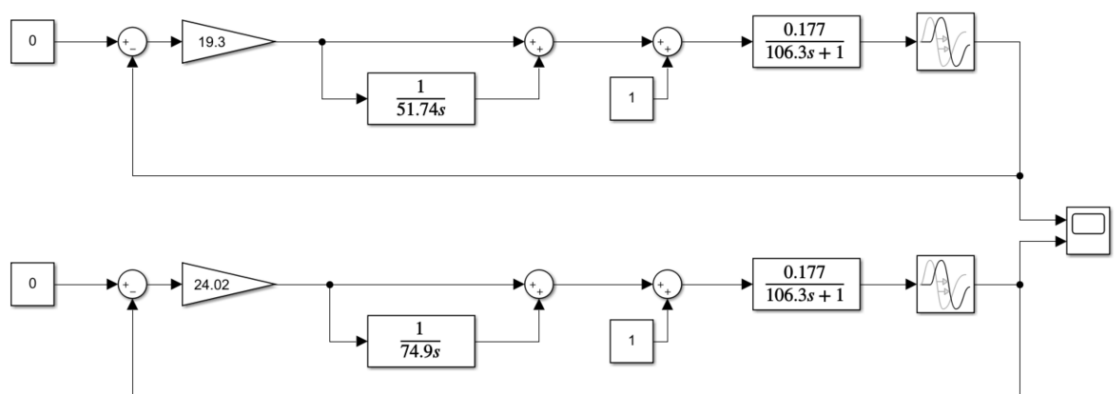


Рисунок 2.45 – Схема в Simulink по каналу збурення-вихід

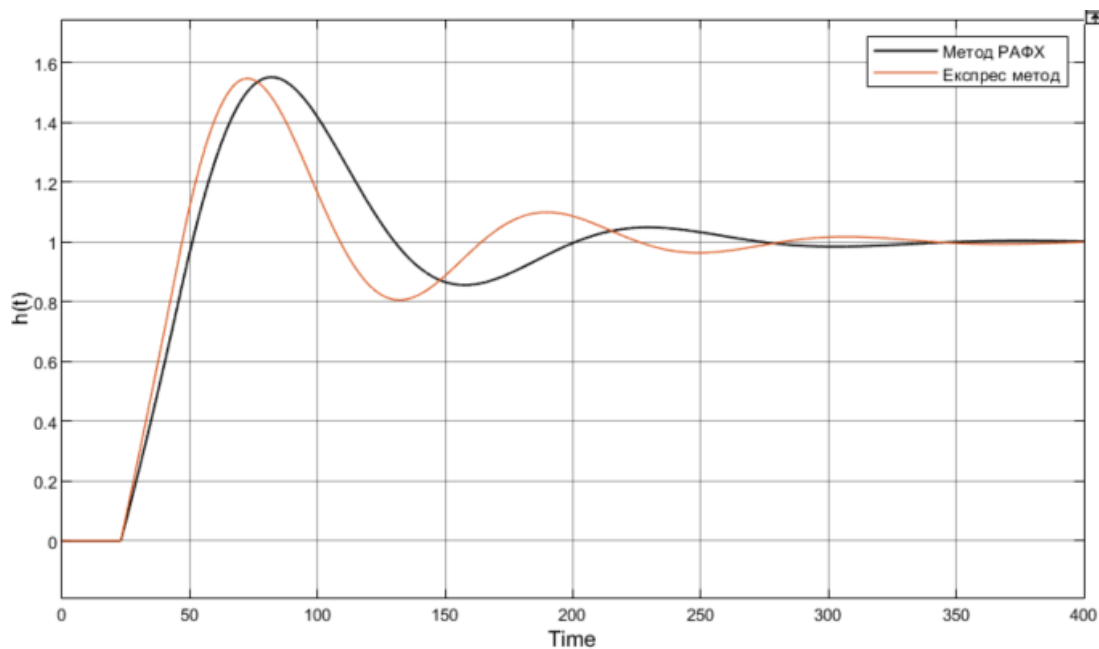


Рисунок 2.46 – Графік перехідного процесу для двох методів за каналом завдання-вихід

Таблиця 2.6 – Порівняння показників якості для системи за методами РАФХ та Ziegler and Nichols

Показник якості	Метод РАФХ	Експрес-метод
Статична похибка $\Delta_{\text{ст}}$	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{\text{дин}}$	0,552	0,547
Перерегулювання σ ,	55,2	54,7
Степінь затухання Ψ	0,99	0,817
Час перехідного процесу $t_{\text{пп}}$, с	188	211

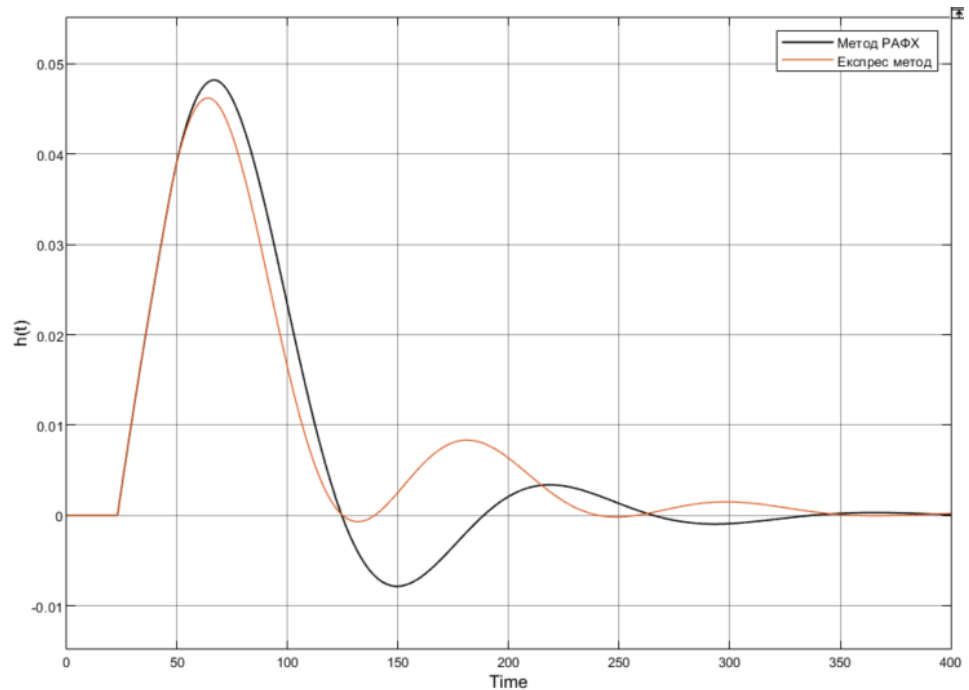


Рисунок 2.47 – Графік перехідного процесу для двох методів за каналом збурення-вихід

Таблиця 2.7 – Порівняння показників якості для системи за методами РАФХ та Ziegler and Nichols

Показник якості	Метод РАФХ	Експрес-метод
Статична похибка $\Delta_{\text{ст}}$	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{\text{дин}}$	0,048	0,046
Перерегулювання σ ,	16,3	1,52
Степінь затухання Ψ	0,93	0,82
Час перехідного процесу $t_{\text{пп}}$, с	238,2	220,4

Проаналізувавши прямі показники якості для обох методів, можна зробити висновок, що метод Ziegler and Nichols показав кращі результати порівняно з методом РАФХ як у каналі збурення-вихід, так і у каналі завдання-вихід. Таким чином, прийняті наступні параметри налаштування для регулятора з використанням методу Ziegler and Nichols:

$$K_p = 24,02$$

$$T_i = 74,9$$

Розрахунок контуру температури в системі вентиляції інерційного каналу

Виконаємо аналогічну послідовність дій для розрахунку параметрів регулятора по інерційному каналі, як це зроблено для випереджаючого каналу, використовуючи метод РАФХ та Ziegler and Nichols.

Побудуємо залежність $K_i = f(K_p)$.

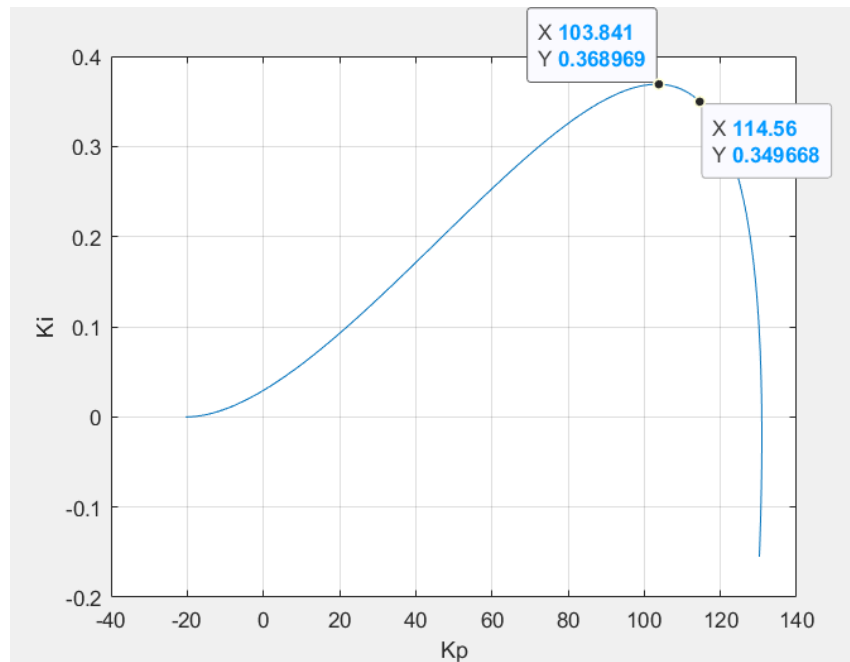


Рисунок 2.48 – Графік залежності $K_i = f(K_p)$

Для точки $K_i = 0,95 \max(K_i)$ будуть наступними налаштування ПІ-регулятора:

$$K_p = 114,5$$

$$K_i = 0,349$$

$$T_i = \frac{K_p}{K_i} = \frac{114,5}{0,349} = 328$$

Побудуємо годограф РАФХ розімкнутої системи об'єкта керування, щоб підтвердити правильність розрахунків.

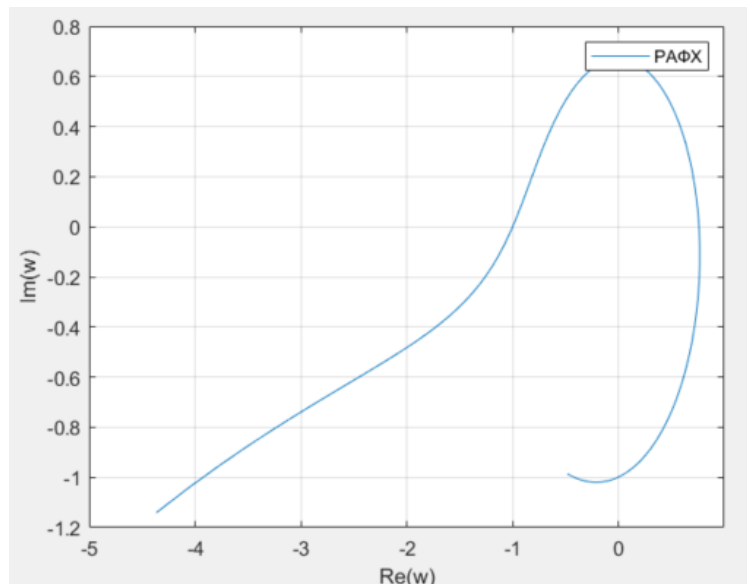


Рисунок 2.49 – РАФХ розімкнутої системи об'єкта керування

Отже бачимо, що РАФХ розімкненої системи проходить через точку $(-1;j0)$. Це означає, що система має кореневий показник коливальності $m=0,366$.

Далі побудуємо перехідні процеси для даної системи за каналами завдання-вихід та завдання-вихід за допомогою Matlab Simulink.

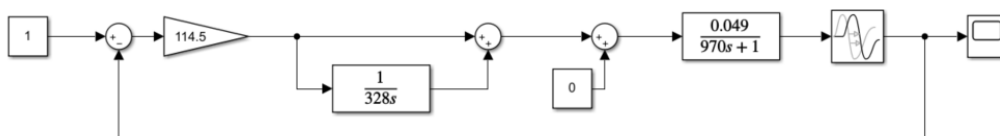


Рисунок 2.50 – Структурна схема за каналом завдання-вихід

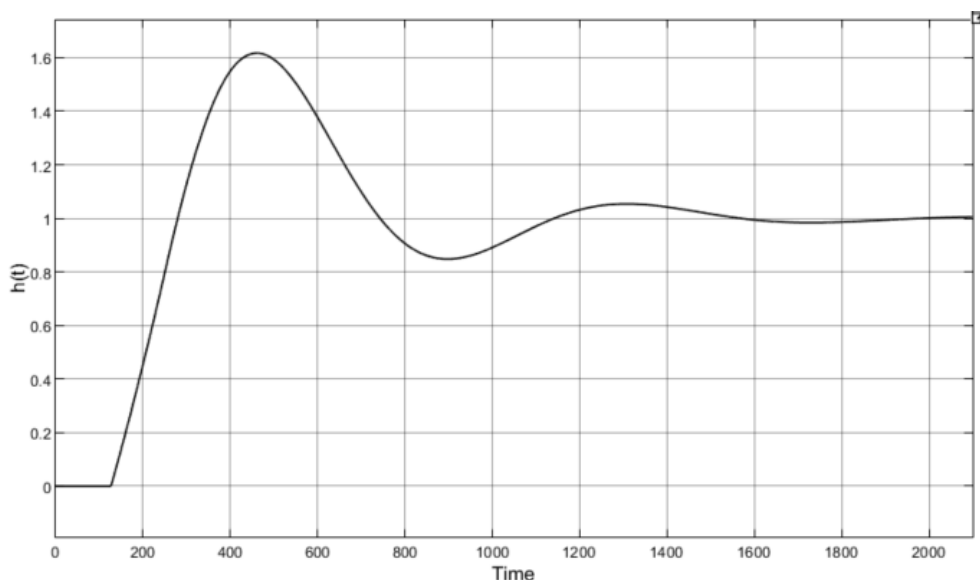


Рисунок 2.51– Графік перехідного процесу за каналом завдання-вихід

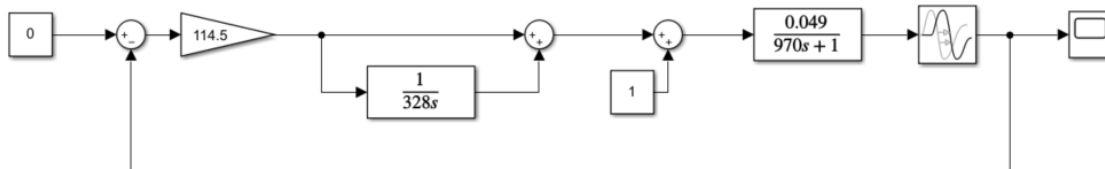


Рисунок 2.52 – Структурна схема за каналом збурення-вихід

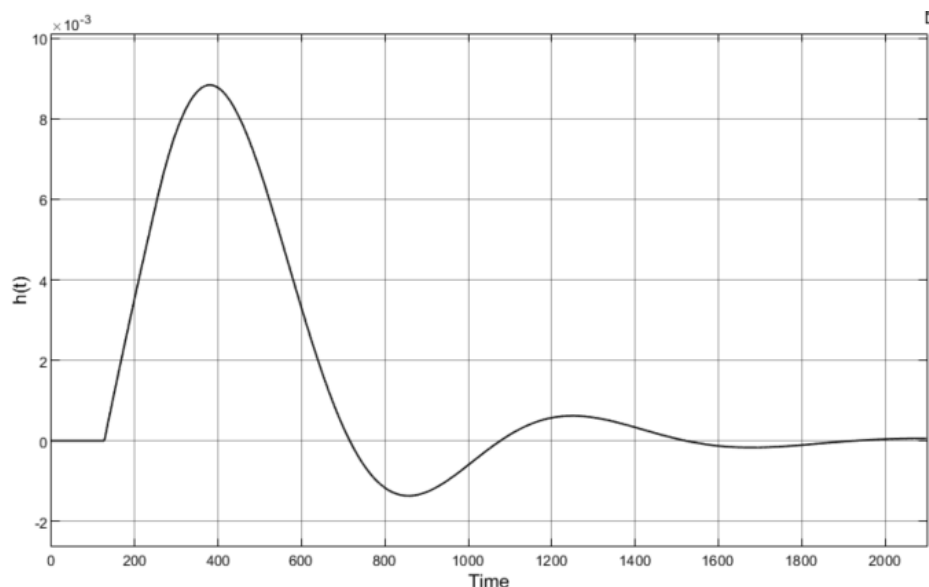


Рисунок 2.53 – Графік перехідного процесу за каналом збурення-вихід

Розрахуємо прямі показники якості системи для методу РАФХ

Таблиця 2.8 – Показники якості для системи за методом РАФХ

Показник якості	Завдання-вихід	Збурення-вихід
Статична похибка $\Delta_{ст}$	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0,61	0,008
Перерегулювання σ , %	61	16
Степінь затухання Ψ	0,91	0,93
Час перехідного процесу $t_{пп}$, с	1358	1377

Розрахунок налаштувань регулятора експрес-методом

Для того, щоб розрахувати ПІ-регулятор використаємо експрес метод Ziegler and Nichols.

Для використання даного методу необхідно, щоб наступна нерівність виконувалась:

$$\frac{\tau_{об}}{T_{об}} \leq 1$$

Підставимо ці значення з функції передачі:

$$\frac{127}{970} \leq 1$$

Так як дана нерівність виконується, можемо використати обраний метод. Розрахуємо налаштування регулятора за наступними формулами:

$$K_p = \frac{0,9}{K_{об}} \cdot \frac{T_{об}}{\tau_{об}} = \frac{0,9}{0,049} \cdot \frac{970}{127} = 140,3$$

$$T_i = 3,33 \cdot \tau_{об} = 3,33 \cdot 127 = 422,9$$

Далі побудуємо перехідні процеси для даної системи за каналами збурення-вихід та завдання-вихід за допомогою Matlab Simulink.

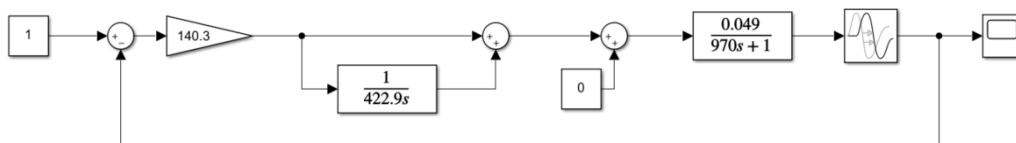


Рисунок 2.54 – Структурна схема за каналом завдання-вихід

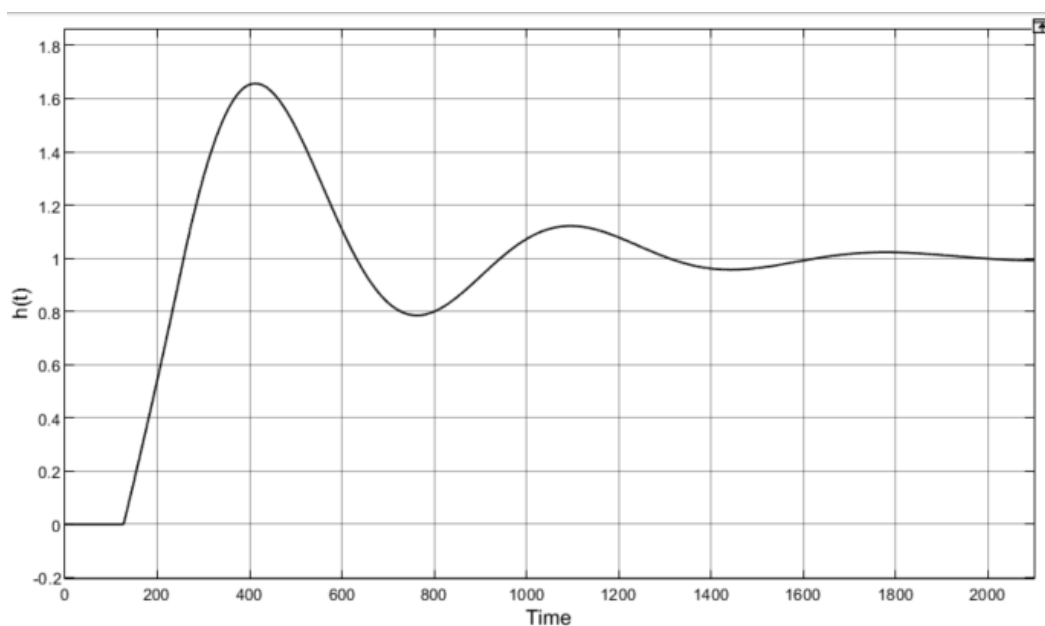


Рисунок 2.55 – Графік перехідного процесу за каналом завдання-вихід

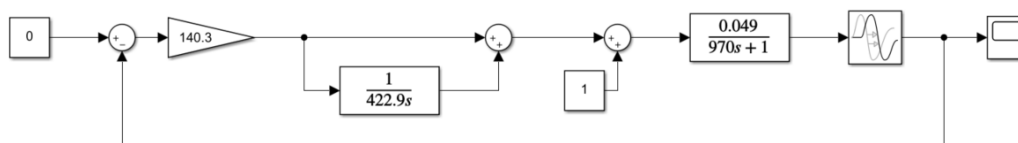


Рисунок 2.56 – Структурна схема за каналом збурення-вихід

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

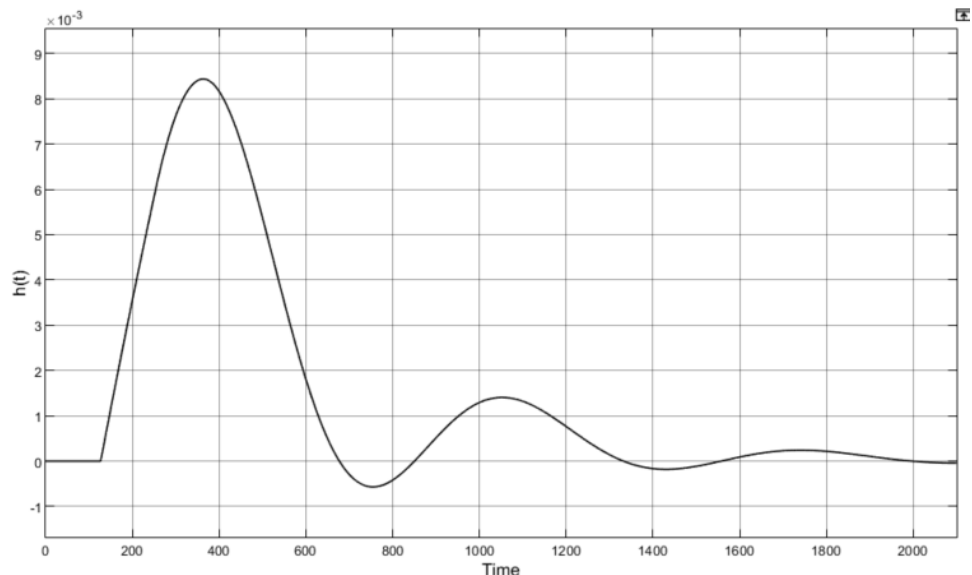


Рисунок 2.57 – Графік перехідного процесу за каналом збурення-вихід

Розрахуємо прямі показники якості для системи для методу Ziegler and Nichols

Таблиця 2.9 – Показники якості для системи за методом Ziegler and Nichols

Показник якості	Завдання-вихід	Збурення-вихід
Статична похибка $\Delta_{ст}$	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0,656	0,0084
Перерегулювання σ , %	65,6	67,8
Степінь затухання Ψ	0,815	0,83
Час перехідного процесу $t_{пп}$, с	1238	1254

Порівняємо отримані результати з двох методів, щоб визначити який є більш підходящий. Порівняємо отримані перехідні характеристики та їх показники якості в Matlab Simulink.

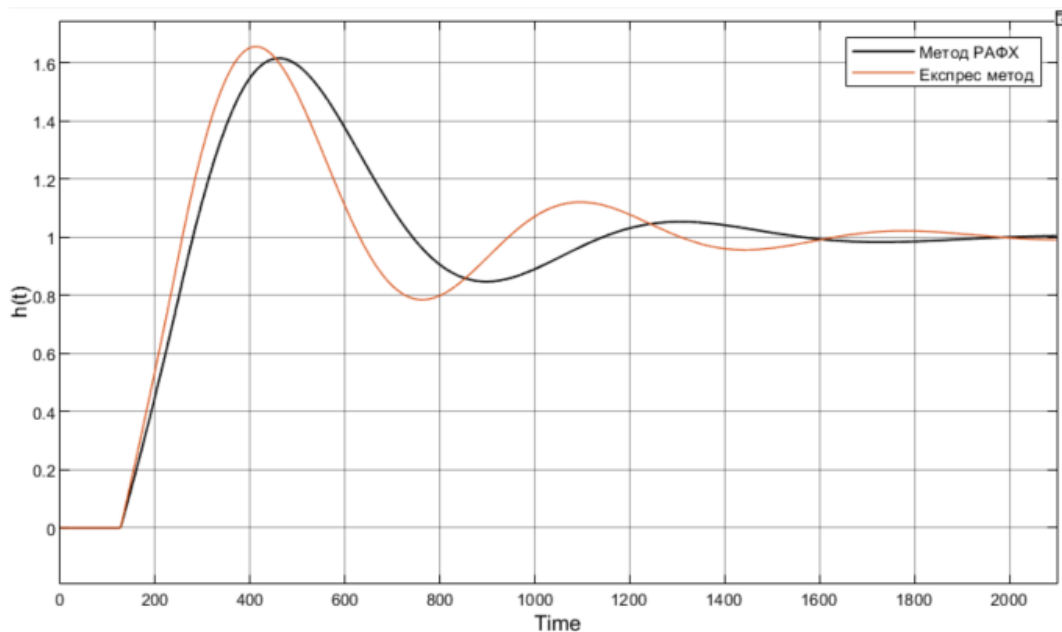


Рисунок 2.58 – Графік перехідного процесу для двох методів за каналом завдання-вихід

Таблиця 2.10 – Порівняння показників якості для системи за методами РАФХ та Ziegler and Nichols

Показник якості	Метод РАФХ	Експрес-метод
Статична похибка $\Delta_{ст}$	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0,61	0,656
Перерегулювання σ ,	61	65,6
Степінь затухання Ψ	0,91	0,815
Час перехідного процесу $t_{пп}$, с	1358	1238

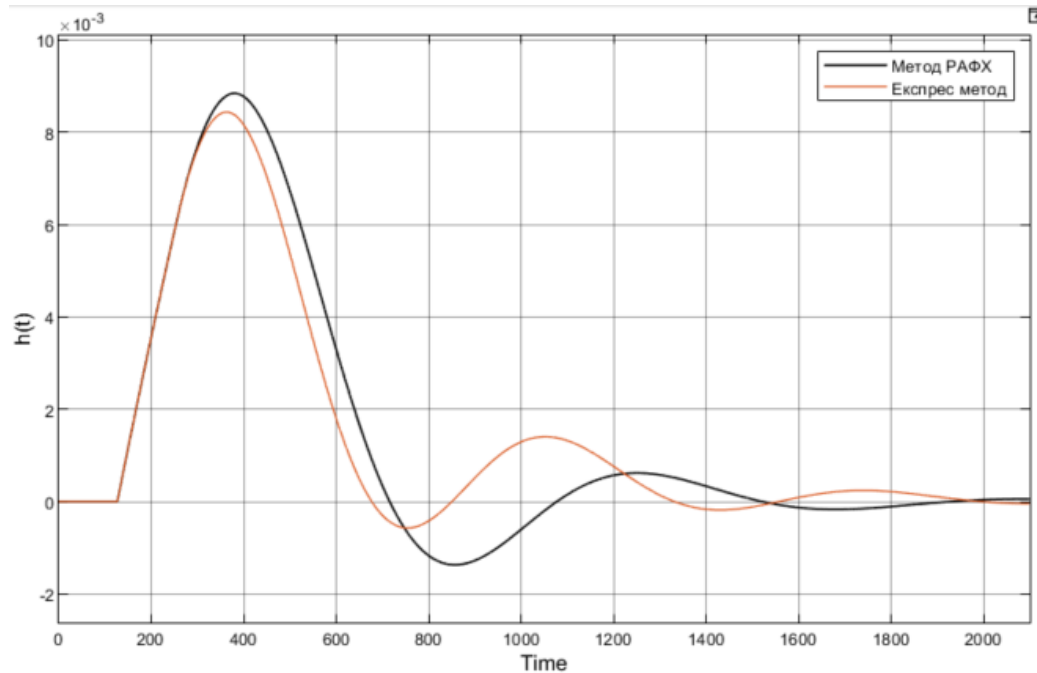


Рисунок 2.59 – Графік перехідного процесу для двох методів за каналом збурення-вихід

Таблиця 2.11 – Порівняння показників якості для системи за методами РАФХ та Ziegler and Nichols

Показник якості	Метод РАФХ	Експрес-метод
Статична похибка $\Delta_{ст}$	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0,008	0,0084
Перерегулювання σ ,	16	67,8
Степінь затухання Ψ	0,93	0,83
Час перехідного процесу $t_{пп}$, с	1377	1254

Проаналізувавши прямі показники якості для обох методів, можна зробити висновок, що метод Ziegler and Nichols показав кращі результати порівняно з методом РАФХ як у каналі збурення-вихід, так і у каналі завдання-вихід. Таким чином, прийняті наступні параметри налаштування для регулятора з використанням методу Ziegler and Nichols:

$$K_p = 140,3$$

$$T_i = 422,9$$

Розрахунок контуру температури в приміщенні

Виконаємо аналогічну послідовність дій для розрахунку параметрів регулятора для температури в приміщенні при зміні витрати газу в котлі, використовуючи метод РАФХ та Ziegler and Nichols.

Побудуємо залежність $K_i = f(K_p)$.

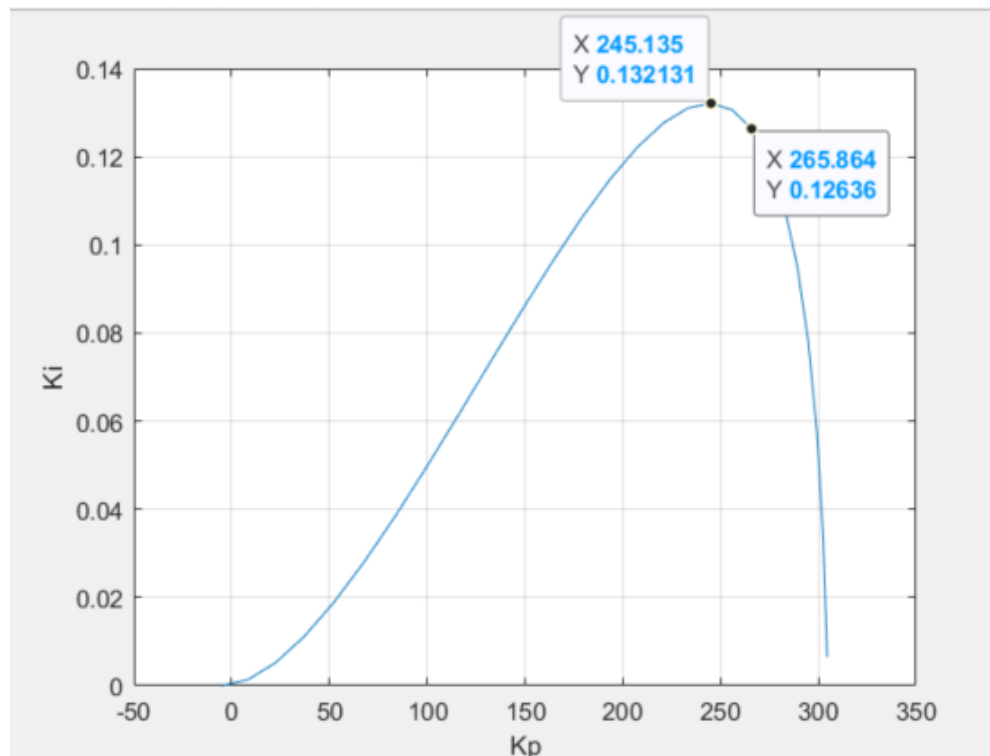


Рисунок 2.60 – Графік залежності $K_i = f(K_p)$

Для точки $K_i = 0,95 \max(K_i)$ будуть наступними налаштування ПІ-регулятора:

$$K_p = 265,8$$

$$K_i = 0,126$$

$$T_i = \frac{K_p}{K_i} = \frac{265,8}{0,126} = 2109$$

Побудуємо годограф РАФХ розімкнутої системи об'єкта керування, щоб підтвердити правильність розрахунків.

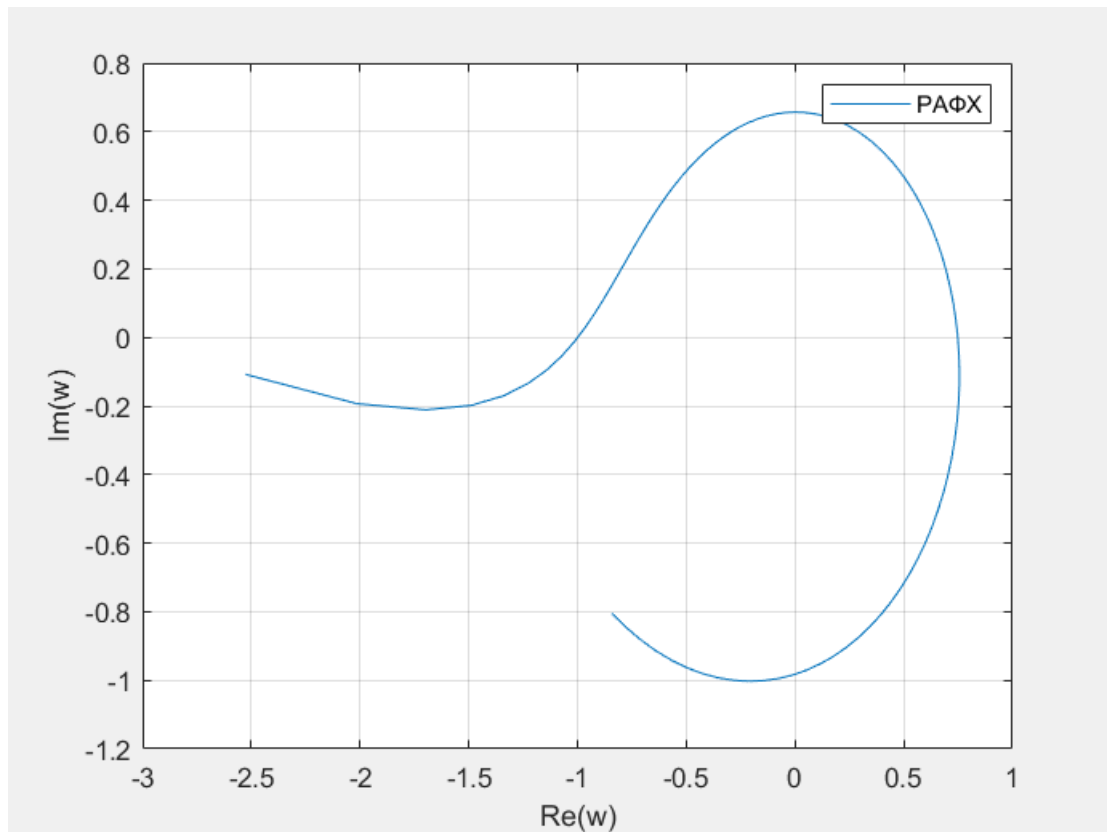


Рисунок 2.61 – РАФХ розімкнутої системи об'єкта керування

Отже бачимо, що РАФХ розімкненої системи проходить через точку $(-1;j0)$. Це означає, що система має кореневий показник коливальності $m=0,366$.

Далі побудуємо перехідні процеси для даної системи за каналами завдання-вихід та завдання-вихід за допомогою Matlab Simulink

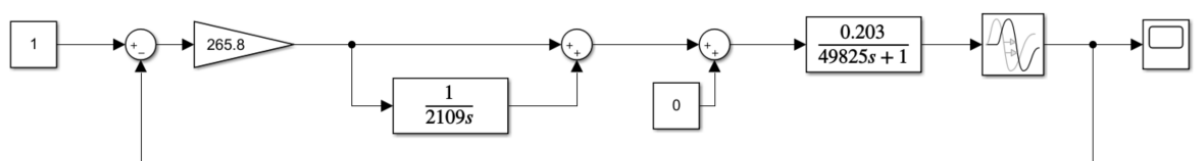


Рисунок 2.62 – Структурна схема за каналом завдання-вихід

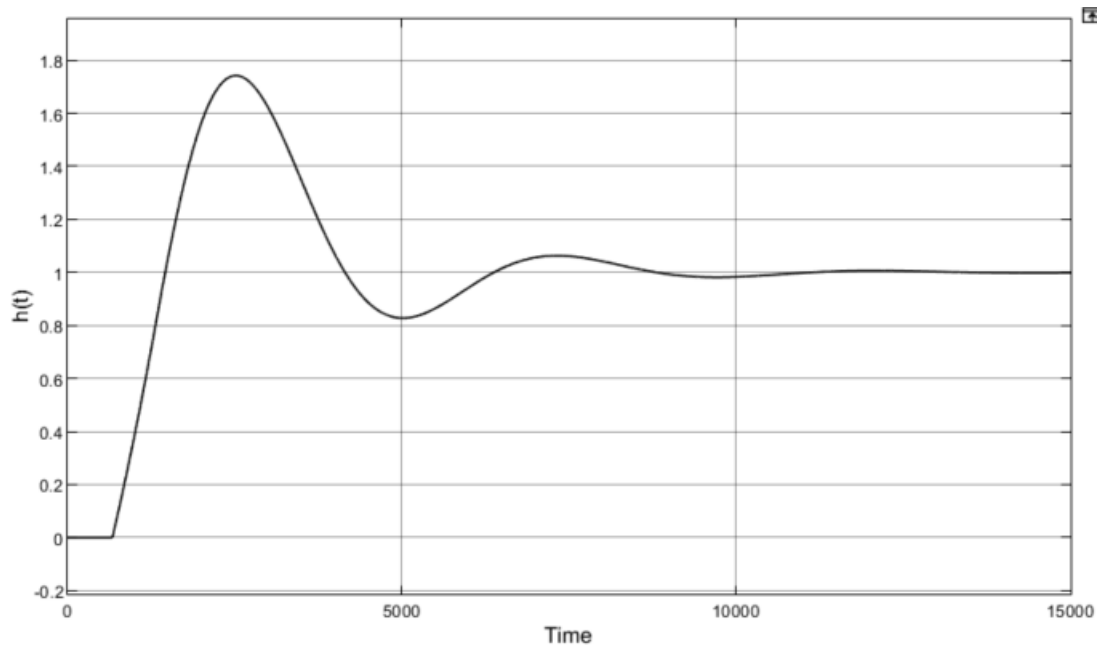


Рисунок 2.63 – Графік перехідного процесу за каналом завдання-вихід

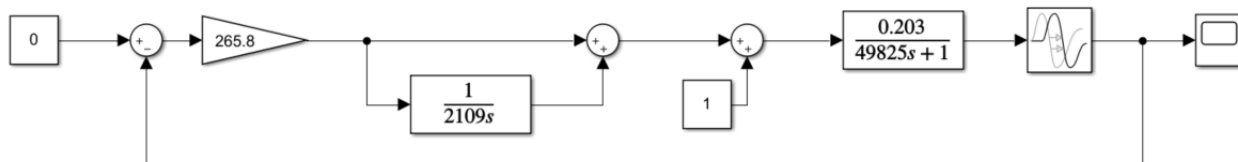


Рисунок 2.64 – Структурна схема за каналом збурення-вихід

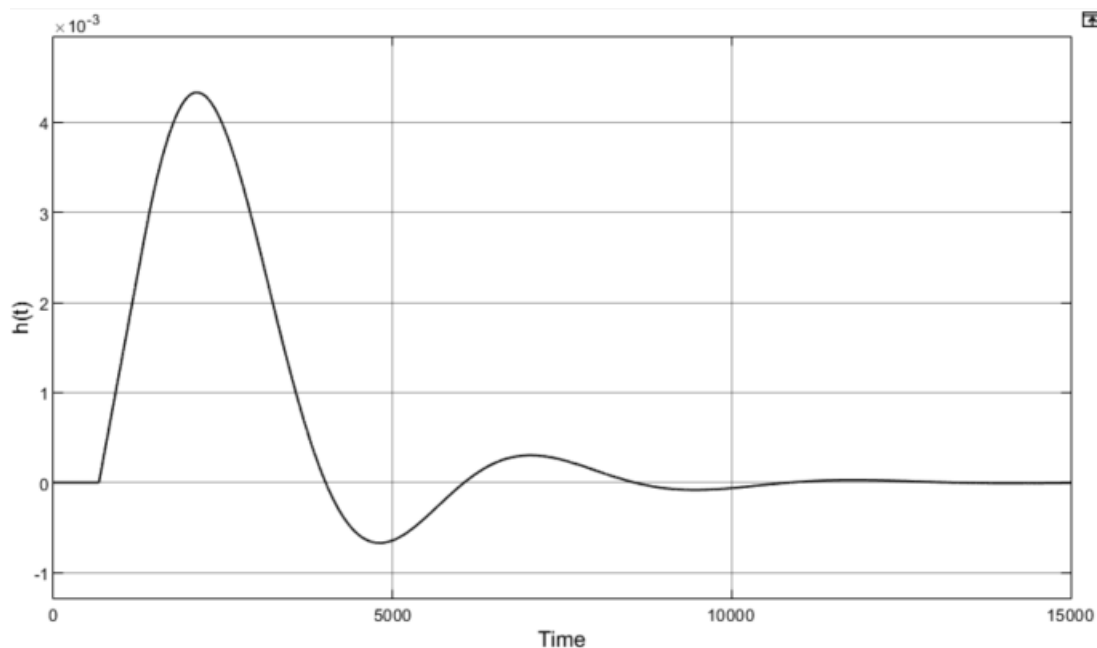


Рисунок 2.65 – Графік перехідного процесу за каналом збурення-вихід

Розрахуємо прямі показники якості системи для методу РАФХ

Таблиця 2.12 – Показники якості для системи за методом РАФХ

Показник якості	Завдання-вихід	Збурення-вихід
Статична похибка $\Delta_{ст}$	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0,742	0,0043
Перерегулювання σ ,	74.2	15
Степінь затухання Ψ	0,916	0,93
Час перехідного процесу $t_{пп}$, с	7824	7734

Розрахунок налаштувань регулятора експрес-методом

Для того, щоб розрахувати ПІ-регулятор використаємо експрес метод Ziegler and Nichols.

Для використання даного методу необхідно, щоб наступна нерівність виконувалась:

$$\frac{\tau_{об}}{T_{об}} \leq 1$$

Підставимо ці значення з функції передачі:

$$\frac{3150}{43575} \leq 1$$

Так як дана нерівність виконується, можемо використати обраний метод. Розрахуємо налаштування регулятора за наступними формулами:

$$K_p = \frac{0,9}{K_{об}} \cdot \frac{T_{об}}{\tau_{об}} = \frac{0,9}{0,203} \cdot \frac{49825}{670} = 329,7$$

$$T_i = 3,33 \cdot \tau_{об} = 3,33 \cdot 670 = 2231,1$$

Далі побудуємо перехідні процеси для даної системи за каналами збурення-вихід та завдання-вихід за допомогою Matlab Simulink.

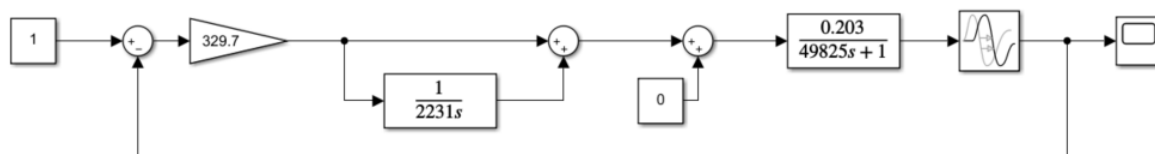


Рисунок 2.66 – Структурна схема за каналом завдання-вихід

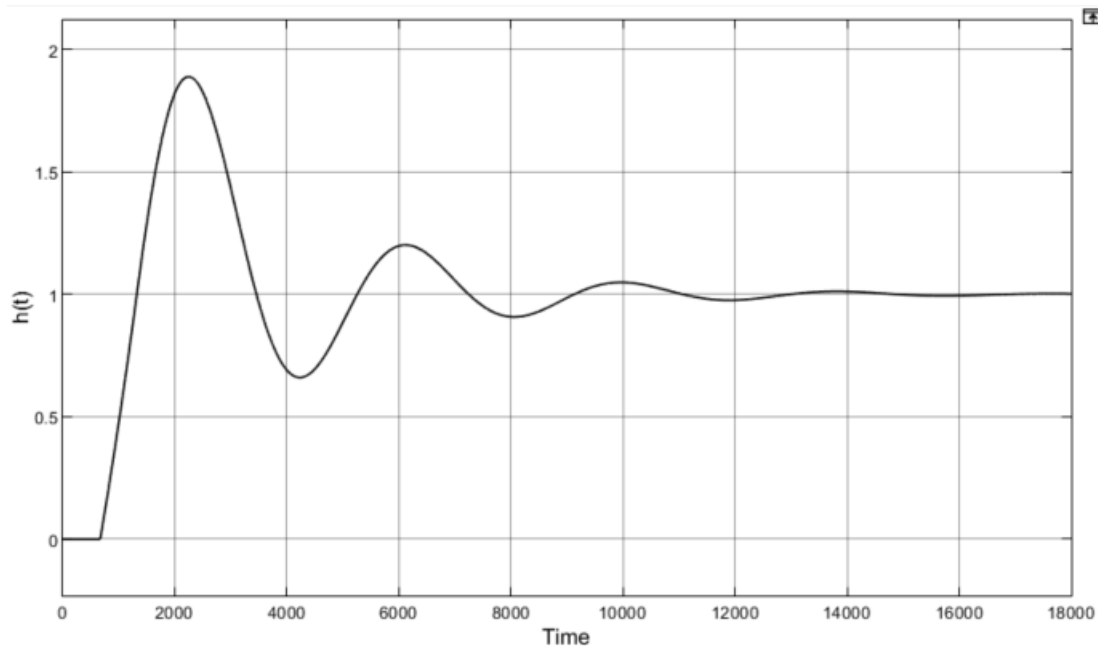


Рисунок 2.67 – Графік перехідного процесу за каналом завдання-вихід

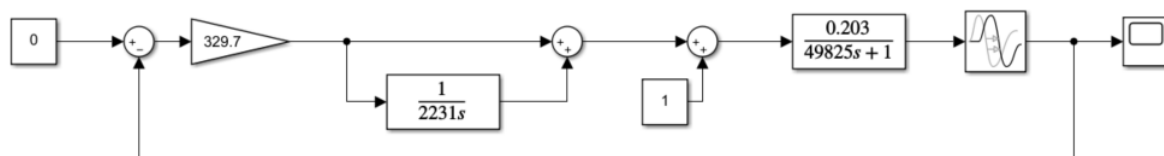


Рисунок 2.68 – Структурна схема за каналом збурення-вихід

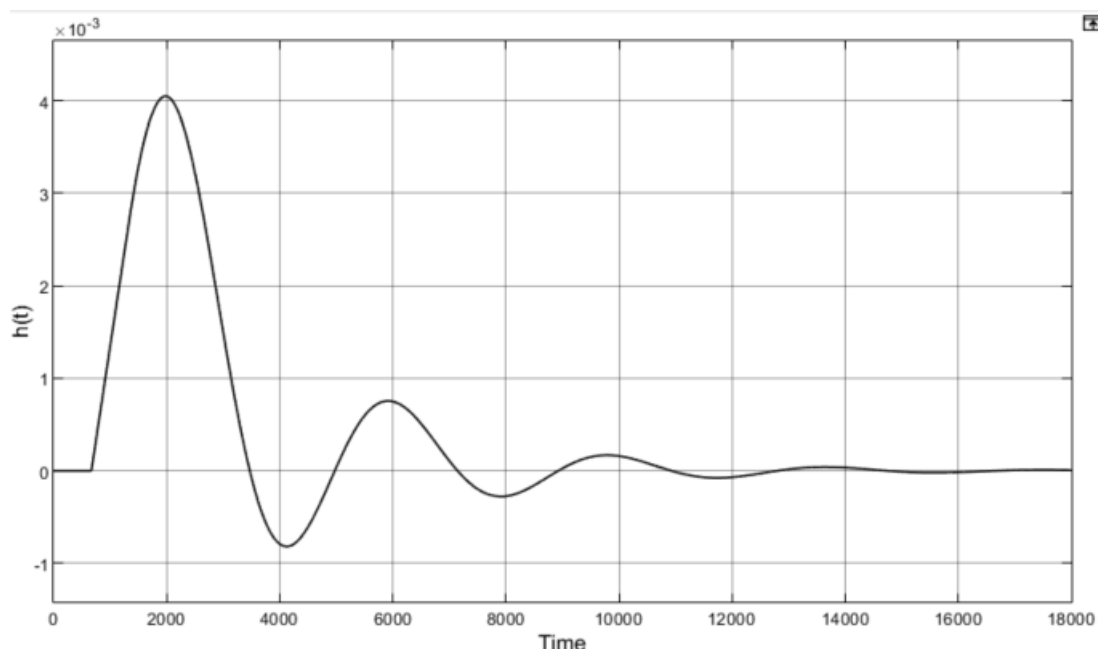


Рисунок 2.69 – Графік перехідного процесу за каналом збурення-вихід

Розрахуємо прямі показники якості для системи для методу Ziegler and Nichols

					ТА91405.0004.001.АТХ.П	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

Таблиця 2.13 – Показники якості для системи за методом Ziegler and Nichols

Показник якості	Завдання-вихід	Збурення-вихід
Статична похибка $\Delta_{\text{ст}}$	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{\text{дин}}$	0,889	0,004
Перерегулювання σ , %	88,9	20
Степінь затухання Ψ	0,773	0,812
Час перехідного процесу $t_{\text{пп}}$, с	8691	8366

Порівнюємо отримані результати з двох методів, щоб визначити який є більш підходящий. Порівнюємо отримані перехідні характеристики та їх показники якості в Matlab Simulink.

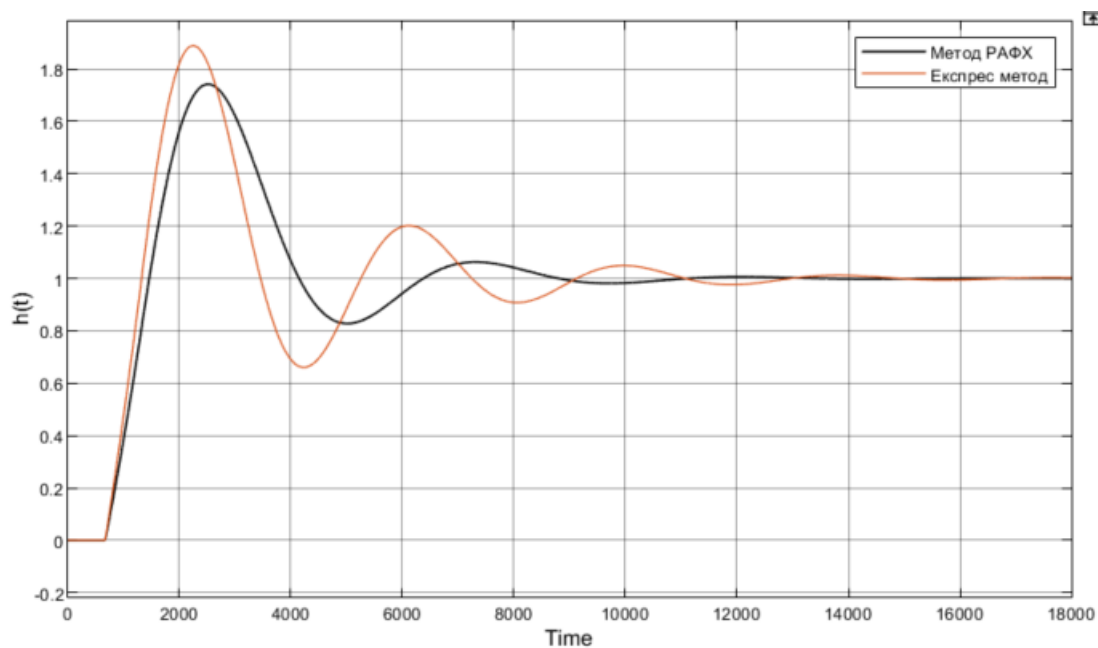


Рисунок 2.70 – Графік перехідного процесу для двох методів за каналом завдання-вихід

Таблиця 2.14 – Порівняння показників якості для системи за методами РАФХ та Ziegler and Nichols

Показник якості	Метод РАФХ	Експрес-метод
Статична похибка $\Delta_{\text{ст}}$	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{\text{дин}}$	0,742	0,889
Перерегулювання σ ,	74.2	88,9
Степінь затухання Ψ	0,916	0,773
Час перехідного процесу $t_{\text{пп}}$, с	7824	8691

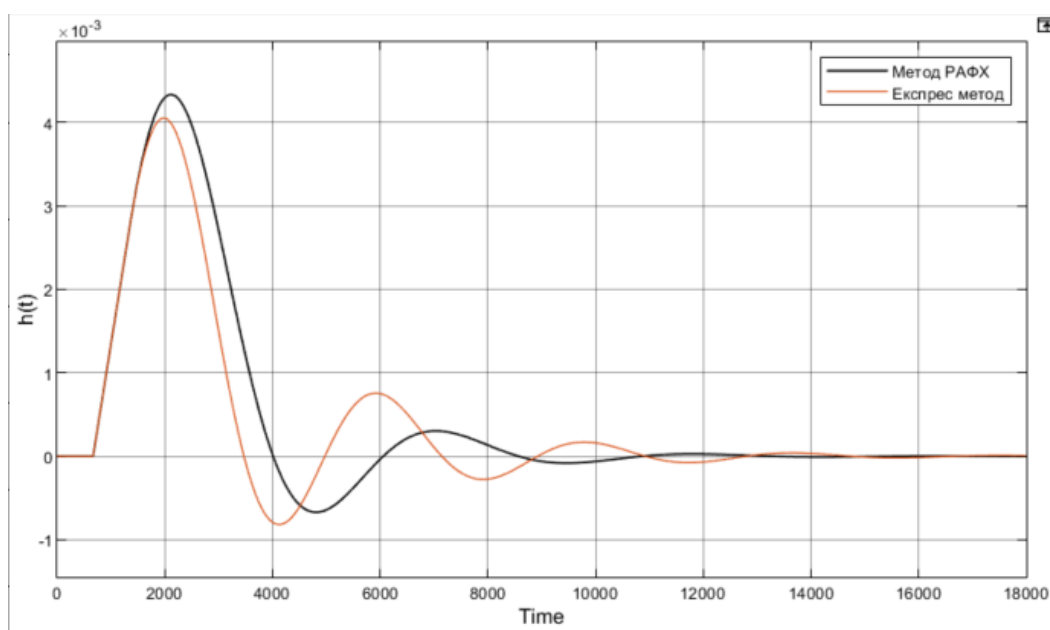


Рисунок 2.71 – Графік перехідного процесу для двох методів за каналом збурення-вихід

Таблиця 2.15 – Порівняння показників якості для системи за методами РАФХ та Ziegler and Nichols

Показник якості	Метод РАФХ	Експрес-метод
Статична похибка $\Delta_{\text{ст}}$	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{\text{дин}}$	0,0043	0,004
Перерегулювання σ ,	15	20
Степінь затухання Ψ	0,93	0,812
Час перехідного процесу $t_{\text{пп}}$, с	7734	8366

Проаналізувавши прямі показники якості для обох методів, можна зробити висновок, що метод РАФХ показав кращі результати порівняно з методом Ziegler and Nichols як у каналі збурення-вихід, так і у каналі завдання-вихід. Таким чином, прийняті наступні параметри налаштування для регулятора з використанням методу РАФХ:

$$K_p = 265,8$$

$$T_i = 2109$$

					ТА91405.0004.001.АТХ.П	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3. ОПИС ГРАФІЧНОЇ ЧАСТИНИ ПРОЄКТУ

3.1 Схема принципова електрична АСР

Дана схема містить структурну схему; схему головних (силових) ланцюгів; елементні схеми регулювання; блокування, захисту, сигналізації; перелік апаратури. Елементи отримують живлення від трифазної шини, в якій є потенціали: L, N, РЕ. Живлення датчиків, модуля розширення та ПЛК постачається блоком живлення, який перетворює напругу на 24 В. Для запобігання короткого замикання використовують автоматичні вимикачі. Щоб увімкнути елементи, такі як електромотор, вентилятор або насоси, використовують пускові реле.

У даній АСУ наявні декілька контурів регулювання, що підлягають автоматичному регулюванню: контур регулювання температури в приміщенні, контур регулювання вологості в приміщенні та контур регулювання подачі повітря до приміщення.

Для регулювання температури в приміщенні використовується датчик (поз. ТТЗ - 14), який передає вхідний сигнал до контролера. Контролер порівнює сигнал від датчика з заданим значенням температури і видає вихідний сигнал на виконавчий механізм системи опалення або кондиціонування повітря, щоб зберегти задану температуру. Якщо вхідний сигнал від датчика не відповідає заданому значенню температури, контролер коригує вихідний сигнал до приводу, щоб зберегти задану температуру в приміщенні. Також в системі використовується регулювання температури в приміщенні за участю незалежної системи опалення. У системі опалення, яка працює незалежно від системи вентиляції та вологості, використовується регулювання температури в приміщенні. Для цього використовується незалежний контур опалення, який працює за принципом теплової мережі. Основним елементом системи є котел, який виступає в якості теплообмінника. Вода циркулює в двох контурах: контурі теплової мережі та контурі в приміщенні. Контур теплової мережі відповідає за подачу тепла в

					ТА91405.0004.001.АТХ.П	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

систему опалення, а контур в приміщенні забезпечує розподіл тепла у приміщенні. Для регулювання температури в приміщенні використовується датчик (поз. ТЕЗ-15), який вимірює температуру прямої води на подачу в приміщення в контурі приміщення. Аналоговий сигнал від датчика передається до програмованого логічного контролера (ПЛК). На основі цього сигналу, ПЛК здійснює контроль роботи насосів (поз. Н1, Н2), які відповідають за циркуляцію гарячої води в системі опалення. Зміна роботи насосів дозволяє підтримувати задану температуру в приміщенні шляхом регулювання подачі гарячої води до батарей, які встановлені в приміщенні. Ця система опалення працює незалежно від системи вентиляції та вологості, але забезпечує комфортні умови температури у приміщенні шляхом регулювання теплообміну в батареях та контролю роботи насосів за допомогою ПЛК.

Для регулювання вологості в приміщенні використовується датчик (МЕ1 - 12), який передає вхідний сигнал до контролера. Контролер порівнює сигнал з заданим значенням вологості і видає вихідний сигнал на виконавчий механізм системи зволоження або вентиляції, щоб зберегти задану вологість.

У контурі регулювання подачі повітря в приміщення на вхід системи мікроклімату використовуються сигнали від датчика температури повітря на вхід у систему (поз. ТТ1 - 1) За допомогою цих сигналів програмований логічний контролер здійснює регулювання подачі повітря в установку, за допомогою виконавчого механізму (поз. А4 - 2).

Для виконання задач у нашій АСУ було використано ПЛК Unitronics Unisteam USC-PB10. Даний ПЛК призначений для використання в системах автоматизованого керування технологічними процесами, включаючи системи керування мікрокліматом у приміщенні.

У контролері Unitronics Unisteam USC-PB10 є 10 вхідних каналів, які можуть використовуватись для підключення датчиків вологості, температури, тиску та інших параметрів, що можуть впливати на мікроклімат в приміщенні. Контролер має 4 аналогових входи (0-10 В або 4-20 мА) та 6

					ТА91405.0004.001.АТХ.П	Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

цифрових входів, які можуть використовуватись для підключення датчиків зволоження, температури та інших параметрів. Крім вхідних каналів, контролер має 10 вихідних каналів, які можуть використовуватись для керування різними пристроями, такими як насоси, клапани, приводи та інші. Контролер має 4 аналогових виходи (0-10 В або 4-20 мА) та 6 цифрових виходів, які можуть використовуватись для керування пристроями зволоження, вентиляції та іншими пристроями.

3.2 Креслення загального виду щита

Креслення загального виду щита автоматизації "БМ-106+П IP54, 1200x600x300" складається з двох частин: виду на фасадну площину щита з зображенням всіх встановлених на ній засобів автоматизації та апаратури управління, а також виду на монтажну площину панелі щита (розгортку) з зображенням всіх встановлених на ній приладів, допоміжної апаратури та монтажних виробів. Цей щит має розміри 1200x600x300 мм та відповідає стандарту захисту IP54.

У щиті розташовано чотири ряди DIN-рейок шириною 35 мм для монтажу апаратури. Верхній ряд містить програмований логічний контролер (A1), який використовується для управління системою мікроклімату. В другому ряду розташовані вимикач автоматичний ВА63 3П 63А С (S1), який забезпечує захист від перевантаження, вимикач навантаження Hager MC225A (SA1), що відповідає за включення та виключення блока живлення, і блок живлення MEAN WELL DC 24V 36W 1,5A (PS1), який забезпечує живлення для програмованого логічного контролера та датчиків.

У третьому та четвертому рядах розташовані клеми Hager KXA10NH (XT1) та Simet (XT2), які використовуються для підключення дротів та кабелів. Клема Hager KXA10NH (XT1) присутня у кількості 30 штук, а клема Simet (XT2) - 50 штук.

Кожен прилад та апаратура мають своє призначення та підключені згідно монтажною схемою щита. Вони розташовані таким чином, щоб забезпечити зручний доступ для перегляду, налаштування та обслуговування.

					ТА91405.0004.001.АТХ.П	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Щит має чітке маркування та підписи, що ідентифікують кожен прилад та його призначення.

Усі розташовані на щиті апарати та клемники задовольняють ергономічні вимоги. Розміщення апаратури забезпечує логічну організацію та зручний доступ до неї. Клемний простір достатньо широкий для комфортного монтажу та зберігання дротів. Клеми розташовані у відповідних рядах і виглядають симетрично та організовано. Клеми також мають чітке позначення та маркування для легкого ідентифікування та зручного підключення.

3.3 Схема монтажна щита

Монтажна схема щита автоматизації відображає взаємне розташування елементів на панелі щита, комутацію електричних та трубних проводок, підключення зовнішніх проводів до комутаційних затискачів та перелік монтажних матеріалів. Вона графічно показує розміщення апаратів на щиті та з'єднання між ними. У схемі вказують панельні номери апаратів, що відповідають їх місцю розташування на щиті, позначають всі електричні та трубні лінії, а також зовнішні дроти та кабелі.

Блок живлення MEAN WELL DC 24V 36W 1,5A (PS1) використовується для живлення програмованого логічного контролера та датчиків. Він забезпечує безперебійне живлення та стабільну напругу 24V для ефективної роботи ПЛК та датчиків. Блок живлення перетворює вхідну напругу 220V або 360V на вихідну напругу 24V. Пускове реле ATS22, 62A (KM1-KM2) використовується для управління вентиляторами. Воно контролює включення та виключення цих пристроїв залежно від потреб системи. Клеми Hager KXA10NH (XT1) та Simet (XT2) використовуються для підключення дротів та кабелів. Вони забезпечують надійне і зручне з'єднання електричних проводів у щиті. Крім того, в схемі вказуються інші елементи, такі як частотні перетворювачі ATV320C, які використовуються для регулювання роботи циркуляційних насосів.

					ТА91405.0004.001.АТХ.П	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.4 Схема зовнішніх з'єднань

Схема зовнішніх з'єднань виконується у вигляді однолінійної схеми і призначена для відображення зовнішніх проводок всієї системи керування. Вона зображає з'єднання та комунікацію між різними пристроями та елементами, які знаходяться поза щитами.

На цій схемі відображені такі елементи:

- Первинні вимірювальні прилади, які використовуються для збору вихідних даних та вимірювання параметрів системи.
- Відбірні пристрої, які використовуються для вибору конкретних ліній та проводок для подальшої обробки або моніторингу.
- Виконавчі механізми та інші пристрої та засоби автоматизації, що розташовані поза щитами, такі як мотори, насоси, клапани тощо.
- З'єднувальні електричні та трубні лінії, які прокладені поза щитами і забезпечують фізичну комунікацію та передачу сигналів між різними пристроями та елементами системи.
- Пояснювальні надписи, які надають додаткову інформацію про позначення, функції та характеристики елементів на схемі.
- Перелік монтажних виробів та матеріалів, які використовуються при монтажі та з'єднанні системи.

Для забезпечення комунікації та передачі сигналів між різними елементами системи керування та автоматизації у даній схемі використовуються такі кабелі КВВГ з чотирма жилами діаметром 0,75 мм та двома жилами діаметром 0,75 мм.

3.5 Специфікація обладнання

1) Температура повітря в системі (позиція ТТ1 - 1, ТТ2 - 13, ТТ3 – 14, ТТ4 – 26, ТТ5 – 27)

Температура вимірюється перед регулюючим органом, в повітропроводі безпосередньо перед приміщенням та в самому приміщенні. Використовується вимірювання температури за допомогою датчика Siemens QAC3171. Даний датчик має діапазон -50...50 °С, клас точності 0,4.

					ТА91405.0004.001.АТХ.П	Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2) Перепад тиску повітря в системі (позиція PDS1 - 3, PDS2 - 8)

Вимірювання перепаду тиску системи в зоні фільтру та в зоні вентилятора. У даній установці використовується реле перепаду тиску марки Vents DTV 500. Даний прилад дозволяє точно вимірювати перепад тиску в системі вентиляції, що допомагає забезпечувати оптимальну роботу системи та виокремлювати проблеми, які можуть знижувати ефективність вентиляційної системи. Діапазон значень вимірювання 50...500 Па, клас точності 1.

3) Температура води в трубопроводі (позиція TE1 - 5, TE2 – 9, TE3 – 15, TE4 – 19, TE5 – TE8 – 29, TE9 – 28)

Вимірювання температури прямої води водяного калориферу та температури води, що входить у модуль зволожувача. Для даних задач використовується термоперетворювач опору Овен ДТС5М-И. Прилад працює на принципі зміни опору матеріалу при зміні температури. За допомогою різних схем, цей змінний опір може бути перетворений на вимірювану величину, тобто на температуру. Прилад має діапазон вимірюваних значень 0...150 °С, клас точності 0,2.

4) Вологість повітря в системі (позиція ME1 - 12)

Вимірювання вологості повітря в модулі зволожувача. Використано датчик вологості марки Thermasens RFF2071. Значення, які можуть бути виміряні датчиком вологості Thermasens RFF2071, можуть використовуватись в системах контролю та управління мікрокліматом в приміщенні, наприклад, в системах кондиціонування повітря, вентиляції та зволоження. Прилад має здатність вимірювати відносну вологість від 0% до 100% при температурі від -40 °С до +125 °С, клас точності 3.

5) Перепад тиску води в системі (позиція PDS3 - 16)

Вимірювання перепаду тиску води системи водяного опалення для зворотної води У даній установці використовується реле перепаду тиску марки Danfoss YNS-C106X. Даний прилад дозволяє точно вимірювати перепад тиску в системі опалення, що допомагає забезпечувати оптимальну роботу системи та виокремлювати проблеми, які можуть знижувати

					ТА91405.0004.001.АТХ.П	Арк.
						86
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ефективність вентиляційної системи. Діапазон значень вимірювання 0...15 бар, клас точності 1,5.

6) Тиск води в системі водяного опалення (позиція PT1 – 22, PT2 – 23, PT3 – 25, PT4 – 24)

Вимірювання тиску теплоносія (води) у системі водяного опалення. У даній установці використовується датчик тиску марки Danfoss MBS 3050. Датчик здатний точно виміряти тиск води в контурі системи опалення. Це дозволяє контролювати тиск в системі та виявляти відхилення, що можуть впливати на роботу опалювальної системи. Діапазон вимірювання: (0...400) бар, IP 67, клас точності 0,5.

7) Витрата води (позиція FEI – 21)

Витрата води в контурі системи водяного опалення. Для вимірювання витрати теплоносія (води) в контурі системи опалення використовується датчик витрати рідини Promag 53P. Датчик забезпечує точне вимірювання витрати теплоносія (води) в системі опалення. Це дозволяє контролювати та регулювати подачу тепла до приміщення, забезпечуючи оптимальну температуру та комфорт. Діапазон вимірювання $(0 \dots 9) \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$, клас точності 0,2.

8) Регулювання подачі повітря в систему вентиляції (позиція A4 - 2, A5 - 8)

Регулювання подачі повітря в систему вентиляції виконується за допомогою виконавчого механізму Belimo LF230-S. Цей механізм є електрично-приводним пристроєм, який контролює відкриття та закриття вентиляційних заслонок та клапанів. Завдяки цьому механізму можна точно контролювати пропускну здатність повітряного потоку в системі вентиляції. Напруга живлення приладу становить 230 В, потужність 5 Вт.

9) Регулювання подачі теплоносія(води) в контурі теплообмінника (позиція A1 - 6, A2 – 11, A6 – 20)

Регулювання подачі теплоносія(води) в контурі теплообмінника за допомогою виконавчого механізму Belimo LR24A-SR. Цей механізм є електроприводним пристроєм, який забезпечує контроль за відкриттям та закриттям клапану теплообмінника. Belimo LR24A-SR працює з

					TA91405.0004.001.ATX.П	Арк.
						87
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використанням електричного сигналу, який надходить з системи керування. Завдяки цьому механізму можна точно регулювати пропускну здатність теплоносія в контурі теплообмінника. Напруга живлення приладу становить 24 В, потужність 2 Вт.

10) Циркуляційний насос (позиція Н1 - 6, Н2 – 17, А6 - 18)

Для переміщення теплоносія (води) в контурі опалення приміщення використовується циркуляційний насос Wilo Star-RS 25/4-180. Даний насос є надійним та потужним циркуляційним насосом, який працює з використанням електричного живлення. Він має компактну конструкцію та може бути легко встановлений на систему опалення. Напруга живлення приладу становить 230 В, 50Гц, IP 20, максимальний тиск 10 бар.

11) Деттєвий вентилятор (позиція DV1 – 7, DV2 – 10)

Для здійснення руху повітря в системі вентиляції та кондиціонування використовується вентилятор каналу повітропроводу Vents ВКМ 200. Вентилятор використовується для руху повітря в системі вентиляції та кондиціонування. Він здійснює переміщення повітря з приміщення та у приміщення, забезпечуючи його циркуляцію та обмін. Напруга живлення приладу становить 230 В, 50Гц, потужність 135 Вт.

12) Частотний перетворювач (позиція FK1, FK2)

Для керування частотою роботи циркуляційних насосів використовується частотний перетворювач марки Altivar Machine ATV320. Даний частотний перетворювач розроблений для керування частотою роботи циркуляційних насосів. Він забезпечує точне регулювання частоти обертання насосів, що дозволяє змінювати їх продуктивність та потік руху теплоносія. Напруга живлення приладу становить 230 В, 50Гц, номінальний вихідний струм 1,5 А потужність 135 Вт. Кількість входів/виходів: 10/4.

13) Блок живлення (позиція PS1, PS2)

Для забезпечення живлення приладів, які функціонують в системі використовується блок живлення марки MEAN WELL DC. Даний блок живлення є досить надійним та стабільним у роботі. Він забезпечує стабільне

					ТА91405.0004.001.АТХ.П	Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

постійне живлення для приладів у системі, уникаючи нестабільних коливань або переривань в постачанні енергії. Напруга живлення приладу становить 220 В, 50Гц, потужність 36 Вт, вихідна напруга 24 В, IP 20

14) Програмований логічний контролер (позиція А1)

У даній системі використовується ПЛК марки Unitronics OPLC Unistream USC-P-B10. Напруга живлення приладу становить 24 В, споживаюча потужність 2,5 Вт, кількість входів/виходів 22.

15) Модуль розширення аналогового вводу (позиція А7)

Для додаткового використання підключення до входів та виходів використовується модуль розширення аналогового вводу Delta Electronics AS, 8 AI. Напруга живлення приладу становить 24 В. споживаюча потужність 2,5 Вт, кількість аналоговий входів 8.

16) Щит автоматизації марки “БМ-106+П IP54, 1200x600x300”

17) Вимикач автоматичний ВА63 3П 63А С (позиція S1)

18) Вимикач навантаження Hager MC225A (позиція SA1)

19) Пускове реле ATS22, 62А (позиція KM1-KM2)

20) Клема Hager KXA10NH (позиція XT1, XT3)

21) Клема Simet (XT2)

					ТА91405.0004.001.АТХ.П	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		89

РОЗДІЛ 4. ПРОГРАМУВАННЯ ПТКЗА

4.1 Програмування функціональності ПЛК

Для реалізації керування каскадною САР температури повітря в приміщенні та програмування ПЛК використовується середовище CODESYS. Зовнішній вигляд реалізації програми керування взаємодії ПІД-регулятора із виконавчим механізмом відбувається на мову CFC (рис4.2).

Маємо перелік змінних, що використовуються в контурі регулювання.

1	VAR	PID_Adjust	PID		
2	VAR	PID_Stabile	PID		
3	VAR	ADC_FB1	ADC_FB		
4	VAR	Alarm_FB1	Alarm_FB		
5	VAR	Alarm_FB2	Alarm_FB		
6	VAR	ADC_FB2	ADC_FB		
7	VAR	RegVM1	RegVM		
8	VAR	VM_BELIMO1	VM_BELIMO		
9	VAR	rInputSignalTemp1	REAL	25	Сигнал від датчика температури №1
10	VAR	rMinRangeTemp1	REAL	-50	Мінімальне значення з датчика №1
11	VAR	rMaxRangeTemp1	REAL	50	Максимальне значення з датчика №1
12	VAR	rOutputMinTemp1	REAL	4	Мінімальне значення на виході АЦП
13	VAR	rOutputMaxTemp1	REAL	20	Максимальне значення на виході з АЦП
14	VAR	rInputSignalTemp2	REAL	26	Сигнал від датчика температури №2
15	VAR	rMinRangeTemp2	REAL	-50	Мінімальне значення з датчика №2
16	VAR	rMaxRangeTemp2	REAL	50	Максимальне значення з датчика №2
17	VAR	rOutputMinTemp2	REAL	4	Мінімальне значення на виході АЦП
18	VAR	rOutputMaxTemp2	REAL	20	Максимальне значення на виході з АЦП
19	VAR	rSET_POINT	INT	27	Уставка
20	VAR	Kp	REAL	265	Кр регулятора №1
21	VAR	Ti	REAL	2109	Ті регулятора №1
22	VAR	Td	INT		Kd регулятора №1
23	VAR	rY_MANUAL	REAL		
24	VAR	xMANUAL	BOOL		Режим роботи регулятора №1
25	VAR	KpSt	REAL	256	Кр регулятора №2
26	VAR	TiSt	REAL	2109	Ті регулятора №2
27	VAR	TdSt	REAL		Kd регулятора №2
28	VAR	Y_MANUAL_St	REAL		
29	VAR	xMANUAL_St	BOOL		Режим роботи регулятора №2
30	VAR	rHighLimitTemp1	REAL		Верхнє значення межі температури
31	VAR	rLowLimitTemp1	REAL		Нижнє значення межі температури
32	VAR	xHighAlarmTemp1	BOOL		Верхнє значення попередження температури
33	VAR	xLowAlarmTemp1	BOOL		Нижнє значення попередження температури
34	VAR	rHighLimitTemp2	REAL		Верхнє значення попередження температури
35	VAR	rLowLimitTemp2	REAL		Нижнє значення попередження температури
36	VAR	xHighAlarmTemp2	BOOL		Верхнє значення попередження температури
37	VAR	xLowAlarmTemp2	BOOL		Нижнє значення попередження температури
38	VAR	rValvePosition	REAL		

Рисунок 4.1 – Перелік змінних в контурі регулювання

Програма PLC_PRG:

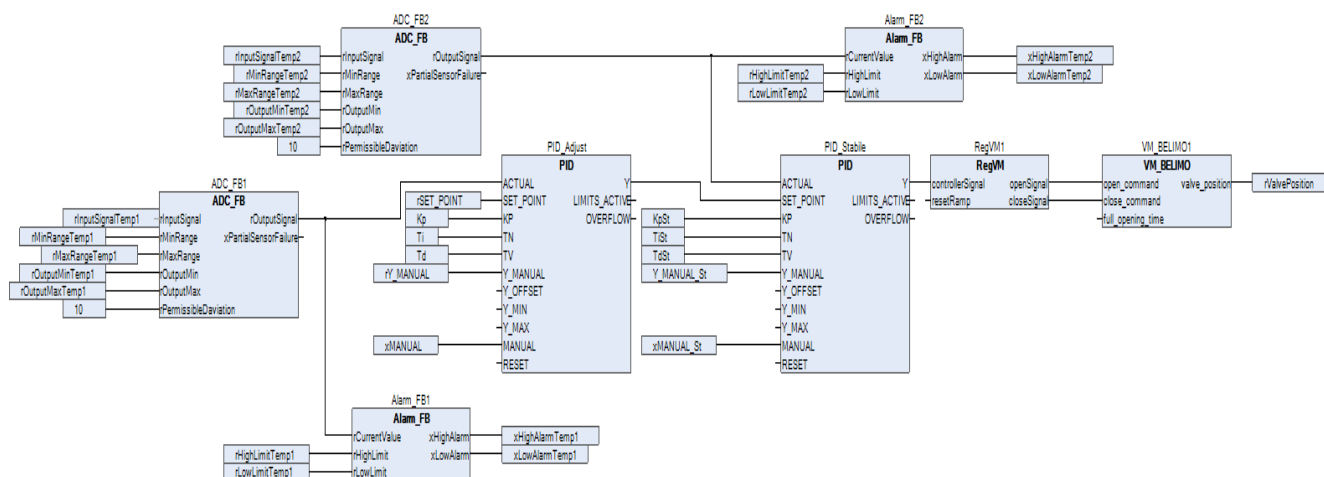


Рисунок 4.2 – Реалізація контуру регулювання з ПІД-регуляторами

Програма містить наступні функціональні блоки:

PID – блок ПІД-регулятора;

ADC_FB – блок аналого-цифрового перетворювача (АЦП);

Alarm_FB – блок аварійної події;

RegVM – блок створення сигналу відкриття/закриття на виконавчий механізм;

VM_BELIMO – блок виконавчого механізму;

Початкові значення температури з датчиків потрапляють до блоку ADC_FB, який виконує перетворення аналогового сигналу на цифровий. Після цього сигнал може бути перехоплений блоком Alarm_FB, якщо він перевищує допустимі значення на виході з АЦП, спричиняючи виникнення аварійної події.

Після перевірки на аварійні значення, сигнал подається до блоку PID (ПІД-регулятора), який виконує регулювання температури. У даному випадку, застосовується два блоки ПІД-регуляторів, що працюють послідовно. Перший блок ПІД-регулятора обробляє сигнал, а другий корегує його після обробки першим регулятором. Таким чином, використання каскадної структури дозволяє досягти більш точного та стабільного регулювання. Після регулювання в блоках ПІД-регуляторів, сигнал потрапляє до блоку RegVM,

де відбувається генерація сигналу для відкриття або закриття виконавчого механізму. Цей сигнал подається до блоку VM_BELIMO, який відповідає за безпосереднє управління виконавчим механізмом. VM_BELIMO генерує сигнал, який відображає ступінь відкриття регулюючого органу. Таким чином, забезпечується регулювання температури приміщення шляхом управління ступенем відкриття регулюючого органу залежно від отриманого сигналу температури та налаштувань ПІД-регуляторів.

Розглянемо роботу блоку аналого-цифрового перетворювача (ADC_FB).

```

1  // Обчислюємо діапазон вхідних значень АЦП
2  rAdcRange := rMaxRange - rMinRange;
3
4  // Обчислюємо коефіцієнт масштабування
5  rAcaleFactor := (rOutputMax - rOutputMin) / rAdcRange;
6  // Масштабуємо вхідне значення і додаємо зміщення
7  rOutputSignal := (rInputSignal - rMinRange) * rAcaleFactor + rOutputMin;
8
9  IF rOutputSignal <> OutValue THEN
10     rAvarageMeasurementValue := ((rAvarageMeasurementValue*rMeasurementNumber)+rOutputSignal)/(rMeasurementNumber+1);
11     rMeasurementNumber := rMeasurementNumber + 1;
12 END_IF
13
14 IF ABS(rOutputSignal - rAvarageMeasurementValue) > rPermissibleDaviation THEN
15     xPartialSensorFailure := TRUE;
16     RETURN;
17 END_IF
18
19 OutValue := rOutputSignal;

```

Рисунок 4.3 – Реалізація блоку АЦП

Змінні блоку аналого-цифрового перетворювача.

1	VAR_INPUT	rInputSignal	REAL		Вхідний сигнал
2	VAR_INPUT	rMinRange	REAL	-50	Мінімальне можливе значення сигналу
3	VAR_INPUT	rMaxRange	REAL	50	Максимальне можливе значення сигналу
4	VAR_OUTPUT	rOutputSignal	REAL		Вихідний сигнал
5	VAR_INPUT	rOutputMin	REAL	0	
6	VAR_INPUT	rOutputMax	REAL	10	
7	VAR	rAdcRange	REAL		
8	VAR	rAcaleFactor	REAL		
9	VAR	rAvarageInputValue	REAL		
10	VAR	OutValue	REAL		
11	VAR	rMeasurementNumber	REAL		
12	VAR	rAvarageMeasurementValue	REAL		
13	VAR_INPUT	rPermissibleDaviation	REAL		
14	VAR_OUTPUT	xPartialSensorFailure	BOOL		

Рисунок 4.4 – Список змінних блоку АЦП

Цей код виконує масштабування вхідного сигналу, обчислює середнє значення вимірювання та перевіряє відхилення виміряного сигналу від середнього значення.

Розглянемо роботу блоку аварійних подій (Alarm_FB).

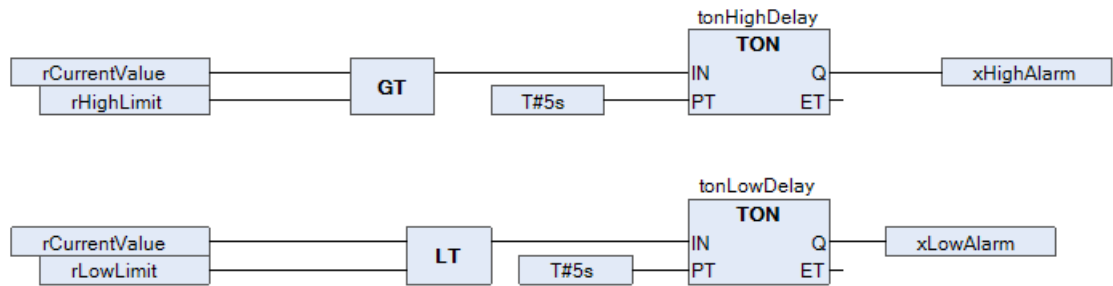


Рисунок 4.5 – Реалізація блоку аварійних подій

1	VAR_INPUT	rCurrentValue	REAL
2	VAR_INPUT	rHighLimit	REAL
3	VAR_INPUT	rLowLimit	REAL
4	VAR	tonHighDelay	TON
5	VAR	tonLowDelay	TON
6	VAR_OUTPUT	xHighAlarm	BOOL
7	VAR_OUTPUT	xLowAlarm	BOOL

Рисунок 4.6 – Список змінних аварійних подій

Реалізація алгоритму аварійних подій відбувається з використанням таймера TON, блоків порівняння GT та LT.

Розглянемо роботу блоку створення сигналу відкриття та закриття виконавчого механізму.

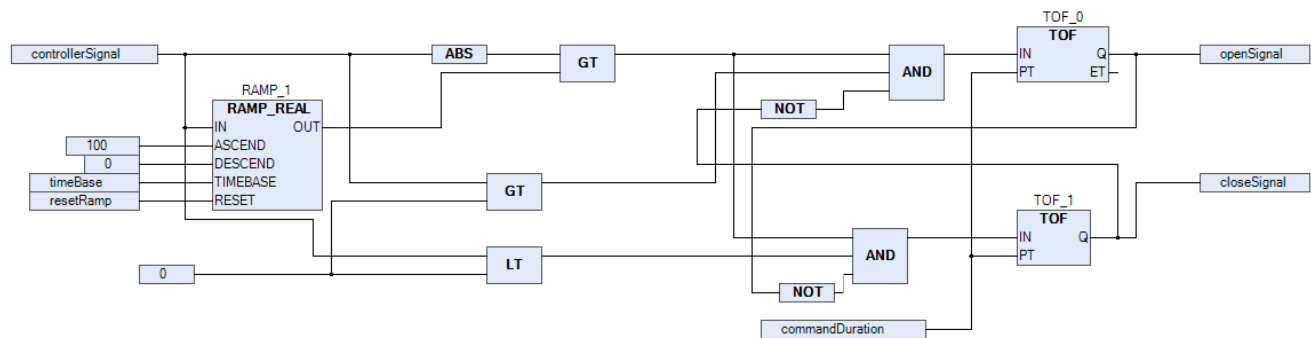


Рисунок 4.7 – Реалізація блоку подачі сигналу відкриття та закриття

Розглянемо роботу блоку виконавчого механізму (VM_BELIMO).

```

1  current_time := TIME();
2
3  IF NOT x_init THEN
4      x_init := TRUE;
5      previous_time := current_time;
6      opening_step := 100 / (TIME_TO_REAL(full_opening_time)*0.001);
7      RETURN;
8  END_IF
9
10 scan_time := TIME_TO_REAL(current_time - previous_time) * 0.001;
11
12 IF open_command AND valve_position < 50 THEN
13     valve_position := valve_position + opening_step * scan_time;
14 ELSIF close_command AND valve_position > -50 THEN
15     valve_position := valve_position - opening_step * scan_time ;
16 END_IF
17
18 previous_time := current_time;

```

Рисунок 4.8 – Реалізація блоку виконавчого механізму

Змінні блоку виконавчого механізму VM_BELIMO.

1	VAR_INPUT	open_command	BOOL		Команда на відкриття клапана
2	VAR_INPUT	close_command	BOOL		Команда на закриття клапана
3	VAR_INPUT	full_opening_time	TIME	T#1s	Час повного відкриття клапана
4	VAR	current_time	TIME		
5	VAR	previous_time	TIME		
6	VAR	opening_step	REAL		
7	VAR	scan_time	REAL		
8	VAR	x_init	BOOL		
9	VAR_OUTPUT	valve_position	REAL	10	Поточне значення відкритості клапан, %

Рисунок 4.9 – Список змінних блоку виконавчого механізму

Даний код блоку виконавчого механізму виконує керування положенням клапана в залежності від команд на відкриття та закриття. Він враховує часові параметри і виконує необхідні обчислення для зміни положення клапана з певною швидкістю.

4.2 Програмування функціональності SCADA-системи

Для візуалізації робочого процесу необхідно розробити модель людино-машинного інтерфейсу та запрограмувати SCADA-систему для графічного представлення об'єкта керування. Для даних цілей використано середовище розробки Indusoft Web Studio.

У проекті Web Studio створено чотири вікна для візуалізації: «1.Menu», «2.Mimics», «3.Alarms», «4.Trends». Після запуску створеного проекту оператор бачить початкове вікно «1.Menu».



Рисунок 4.10 – Відображення вікна «1.Menu»

На рисунку 4.10 можемо помітити п'ять кнопок, які при натисканні відкривають відповідні вікна. Слід зазначити, що після першого запуску проекту деякі кнопки не будуть активними, до моменту коли користувач виконає авторизацію.

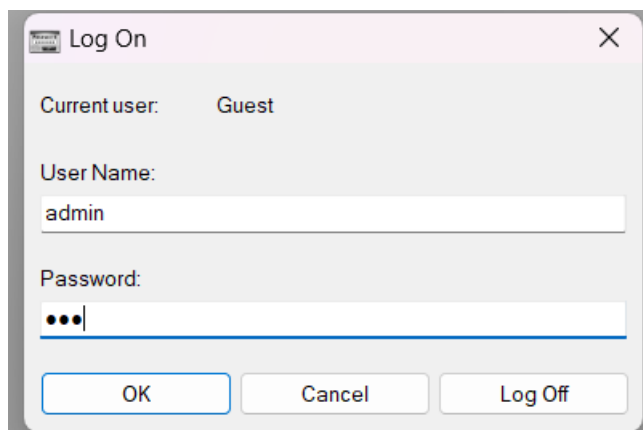


Рисунок 4.11 – Вікно авторизації

При натисканні на кнопку Mimics відкриється вікно, де зображенні компоненти керування мнемосхеми.

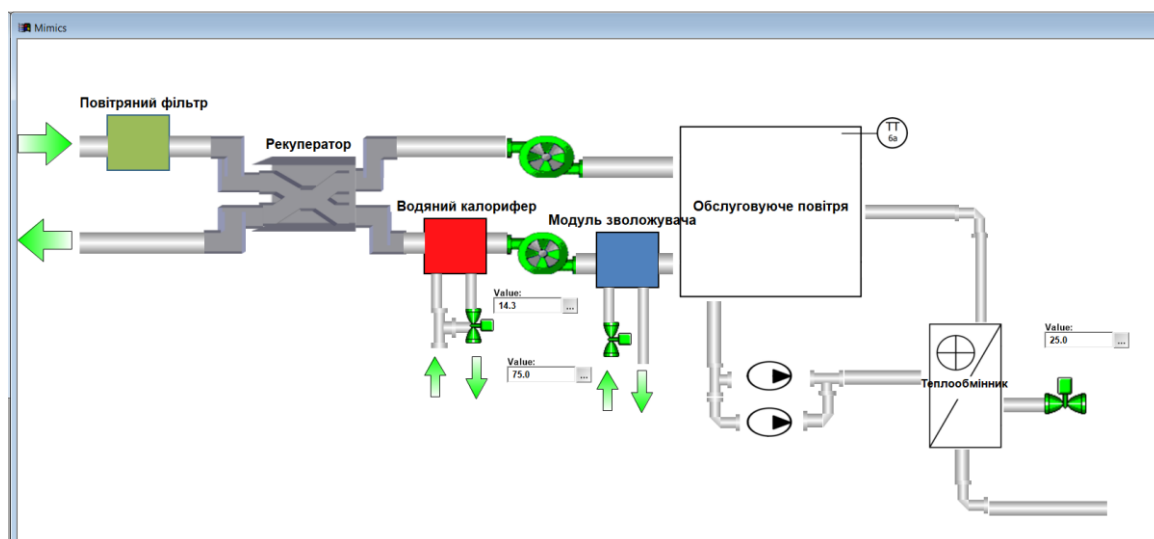


Рисунок 4.12 – Вікно «2.Mimics»

На вікні рисунку 4.12 зображений об'єкт керування та контури, що функціонують в системі вентиляції та в системі водяного опалення. Також надається інформація про стан, положення виконавчих механізмів, що регулюють температуру повітря та відносну вологість в приміщенні.

При натисканні на кнопку Alarms відкриється вікно з відображенням алармів системи.

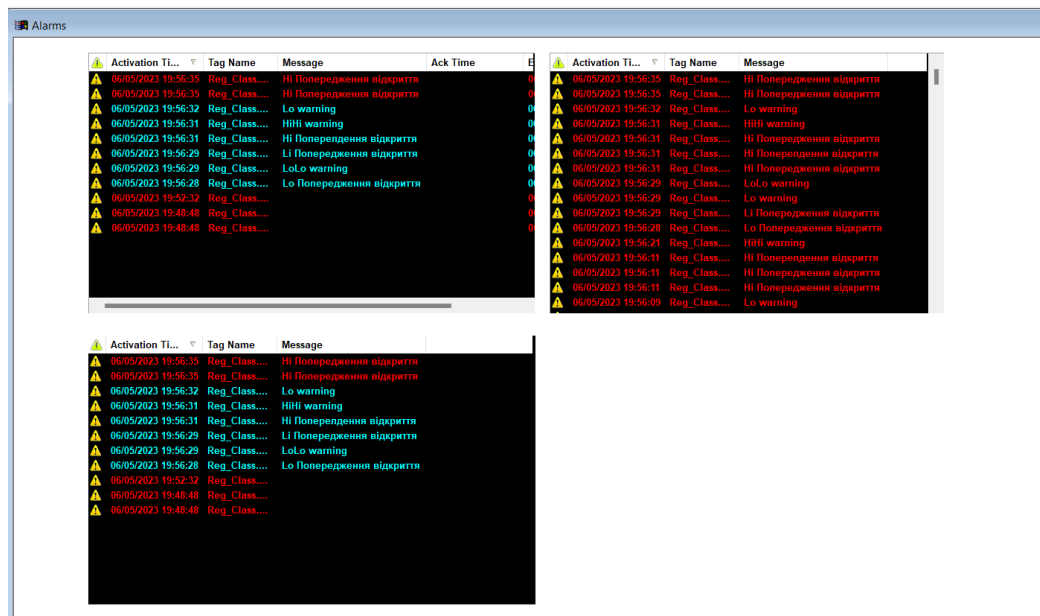


Рисунок 4.13 – Вікно «3.Alarms»

На рисунку 4.13 можна побачити сповіщення, які виникають при спрацюванні подій, тобто досягнення значень степені відкриття виконавчих механізмів тощо. Також слід зазначити, що на рисунку 4.12 зображено вікно Alarm Online для поточних алармів, Alarm History слугує журналом аварійних ситуацій та Event для інших подій в програмі.

При натисканні на кнопку Trends відкриється вікно трендів.

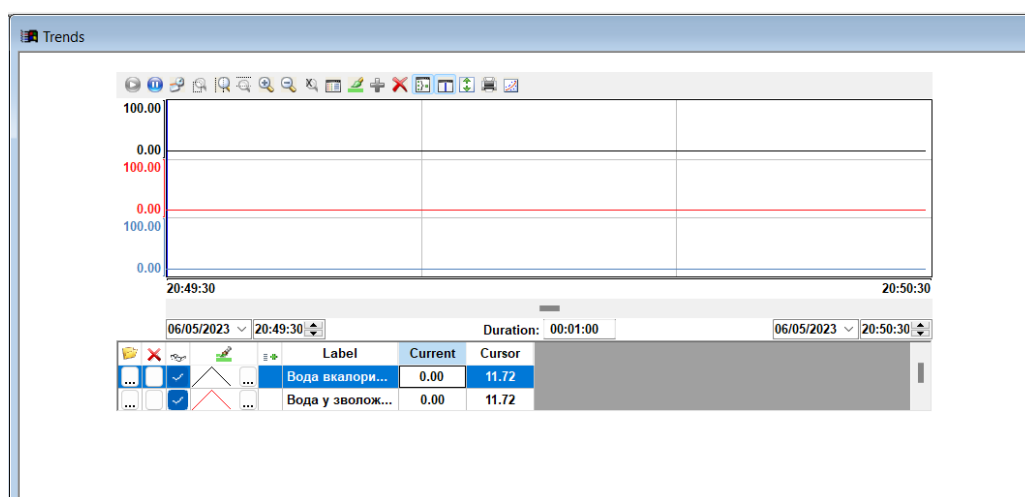


Рисунок 4.14 – Вікно «4.Trends»

На рисунку 4.14 відкрите вікно «4.Trends» на якому зображений тренд зміни положення виконавчого механізму, які ми можемо спостерігати в реальному часі.

РОЗДІЛ 5. ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АТК

5.1 Схема структурна полігону імітаційного моделювання АТК ТОВ

Для забезпечення моделювання та контролю системи виконується реалізація імітаційного моделювання керування мікрокліматом офісного приміщення. В ході цього застосовуються такі програмні засоби як: Matlab Simulink, CODESYS, Indusoft WebStudio. Обмін інформацією та зв'язок між цими програмними засобами реалізується за допомогою OPC сервера, що забезпечує взаємодію компонентів системи. Для перевірки правильності функціонування системи рекомендується проводити полігонні випробування, які дозволяють перевірити роботу регуляторів та їх налаштування. Коли фактичні значення наближаються до заданих уставок, це говорить про те, що система стає готовою до використання.

5.2 Функціональне моделювання ОУ в СКМ Matlab Simulink

За допомогою програмного засобу Matlab Simulink створимо схеми керування контурів регулювання температури в системі вентиляції та в приміщенні.

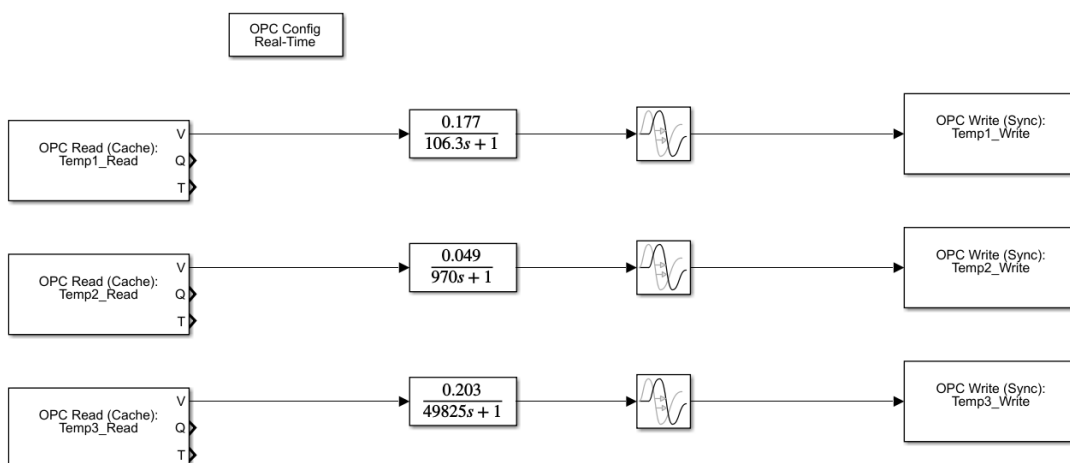


Рисунок 5.1 – Модель контурів регулювання в Matlab Simulink

5.3 Реалізація контролерної функціональності САР в софтіПЛК CoDeSys

Регулювання температури у системі вентиляції та приміщенні виконується за допомогою написання програмного забезпечення в середовищі Codesys. На основі каскадної САР температури повітря в приміщенні було створено функціонал із регулюванням технологічної змінної при взаємодії ПІД-регуляторів та виконавчим механізмом. Слід зазначити, що взаємодія між софтіПЛК та контуром регулювання в Matlab відбувається через OPC Server.

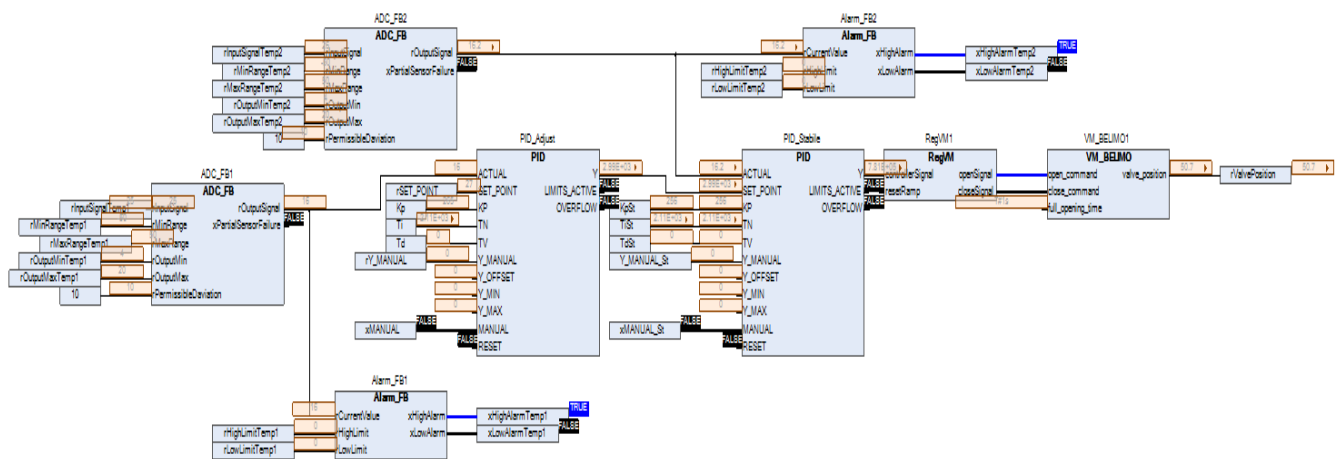


Рисунок 5.2 – Робота САР в режимі запуску

5.4 Реалізація супервізорної HMI-Standard функціональності в HMI/SCADA-системі WebStudio

Для створення візуалізації робочого процесу розроблено модель інтерфейсу людина-машини і налаштувати SCADA-систему, що дає можливість графічно відображати об'єкт управління. Для цих цілей використовується середовище розробки Indusoft Web Studio. У рамках проекту Web Studio було створено чотири вікно Mimics, що дозволяє стежити за роботою об'єкта управління, станом АСР і також аварійними ситуаціями.

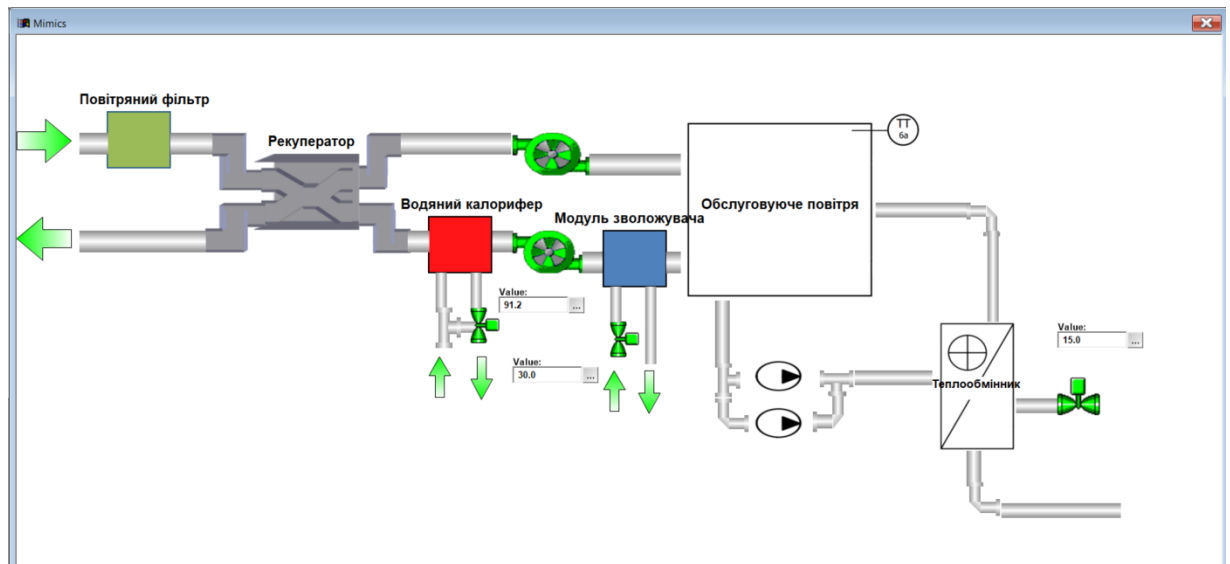


Рисунок 5.3 – Візуалізація регулювання в Indusoft Web Studio в режимі запуску

Для того, щоб повідомити про події, які виникають при досягненні певних значень, таких як ступені відкриття виконавчих механізмів і т.д., використовується система сповіщень. На рисунку 5.4 зображено вікно "Alarm Online", яке відображає поточні алярми, "Alarm History" використовується для журналювання аварійних ситуацій, а "Event" слугує для відстеження інших подій у програмі.

Activation Time	Tag Name	Message	Ack Time
06/05/2023 23:42:04	Reg_Class...	Ні Попередження відкриття	0
06/05/2023 23:42:04	Reg_Class...	Ні Попередження відкриття	0
06/05/2023 23:42:04	Reg_Class...	Ні попередження відкриття	0
06/05/2023 23:42:03	Reg_Class...	Лі Попередження відкриття	0
06/05/2023 23:42:03	Reg_Class...	Lo Попередження відкриття	0
06/05/2023 23:41:57	Reg_Class...		0
06/05/2023 23:41:57	Reg_Class...		0
06/05/2023 23:31:32	Reg_Class...		0
06/05/2023 23:31:32	Reg_Class...		0

Activation Time	Tag Name	Message
06/05/2023 23:42:04	Reg_Class...	Ні Попередження відкриття
06/05/2023 23:42:04	Reg_Class...	Ні Попередження відкриття
06/05/2023 23:42:04	Reg_Class...	Ні попередження відкриття
06/05/2023 23:42:03	Reg_Class...	Лі Попередження відкриття
06/05/2023 23:42:03	Reg_Class...	Lo Попередження відкриття
06/05/2023 23:41:57	Reg_Class...	
06/05/2023 23:41:57	Reg_Class...	
06/05/2023 23:31:32	Reg_Class...	
06/05/2023 23:31:32	Reg_Class...	

Activation Time	Tag Name	Message
06/05/2023 23:42:04	Reg_Class...	Ні Попередження відкриття
06/05/2023 23:42:04	Reg_Class...	Ні Попередження відкриття
06/05/2023 23:42:04	Reg_Class...	Ні попередження відкриття
06/05/2023 23:42:03	Reg_Class...	Лі Попередження відкриття
06/05/2023 23:42:03	Reg_Class...	Lo Попередження відкриття
06/05/2023 23:41:57	Reg_Class...	
06/05/2023 23:41:57	Reg_Class...	
06/05/2023 23:31:32	Reg_Class...	
06/05/2023 23:31:32	Reg_Class...	

Рисунок 5.4 – Вікно сповіщень Alarms в режимі запуску проекту

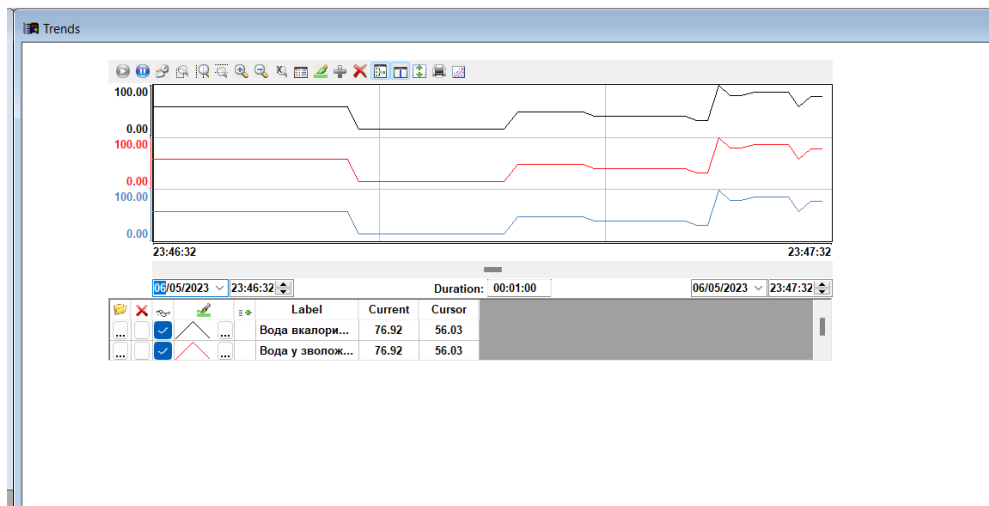


Рисунок 5.5 – Вікно трендів в режимі запуску проекту

Перейшовши у вікно «4.Trends» у запущеному проекті Indasoft в реальному часі можна спостерігати тренди зі зміною регулюючого значення положення виконавчого механізму.

РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці має велике значення в системі автоматизованого керування мікрокліматом офісного приміщення. Враховуючи соціальні аспекти, політичні та економічні наслідки, а також протиріччя, пов'язані зі станом охорони праці, можна виокремити важливі моменти щодо забезпечення необхідного рівня охорони праці.

З економічного погляду, недостатній рівень охорони праці може призводити до значних втрат для суспільства. Забезпечення безпеки та здоров'я на робочих місцях є важливим фактором у забезпеченні ефективного функціонування бізнесу та підтримання стабільного економічного розвитку.

З політичного погляду, незадовільний стан охорони праці може призводити до накопичення негативної напруги в суспільстві. Недостатня увага до безпеки та здоров'я працівників може спричиняти незадоволення серед населення та формувати політичний стан, що підсилює вимоги до політичних органів влади стосовно покращення умов праці.

Отже, охорона праці в автоматизованій системі керування мікрокліматом офісного приміщення має велике значення як соціальний чинник. Вона впливає на політичний стан суспільства, економічну стійкість, а також забезпечує безпеку та захист працівників від негативних наслідків праці. Посилення уваги до охорони праці сприятиме покращенню якості життя працівників та загального розвитку суспільства.

Зазначимо, що темою дипломного проєкту є «Автоматизована система керування мікрокліматом в офісному приміщенні». Об'єктом управління є офісне приміщення площею 170 м.кв. Це одноповерхове приміщення висотою 3 метри. У приміщенні розташовані вузол приєднання системи водяного опалення будівлі до тепломережі, а також система вентиляції та кондиціонування. Воно обладнане необхідним устаткуванням для роботи теплопункту з точки зору теплотехніки, включаючи давачі, що зазначені у специфікації. Виконавчий механізм у вигляді електроприводу та щит керування також присутні, а в щиті керування знаходяться засоби автоматизації. Умови експлуатації чи виконання роботи в офісному приміщенні включають забезпечення комфортного мікроклімату, контроль температури, вологості та якості повітря. Для розробки рішень з охорони праці важливо враховувати ці особливості та параметри об'єкту з метою забезпечення безпечних та здорових умов праці для працівників, які працюють в офісному приміщенні.

6.1 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки експлуатації засобів автоматизації

Для забезпечення безпеки експлуатації засобів автоматизації в офісному приміщенні при виборі та монтажі засобів автоматизації та технологічного устаткування використовуються наступні технічні рішення та організаційні заходи:

- Використання сталевих щитів зі ступенем захисту IP54: Для надійного захисту встановленого обладнання від механічних пошкоджень обрано сталевий щит зі ступенем захисту IP54, товщиною металу 1 мм та

					ТА91405.0004.001.АТХ.П	Арк.
						102
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кліматичним виконанням У2. Це забезпечує безпеку та надійність обладнання.

- Прокладання кабелів та дротів у гофротрубах чи пластикових коробах: Усі кабелі та дроти прокладаються у гофротрубах чи пластикових коробах. Це забезпечує захист кабелів та дротів від механічних пошкоджень та полегшує обслуговування обладнання.
- Маркування кабелів та дротів: Усі кабелі та дроти мають маркування у щиті для полегшення обслуговування електричних ланцюгів системи. Це сприяє безпечній та зручній експлуатації обладнання.
- Замок з ключем на дверцятах щита керування: Щит керування має замок з ключем на дверцятах. Його наявність забезпечує обмежений доступ до обладнання лише фахівцям, які обслуговують пристрої автоматизації, забезпечуючи безпеку та запобігаючи несанкціонованому доступу.
- Безпечні проходи та розміщення виконавчих механізмів: Виконавчі механізми розміщені в місцях, що виключають випадковий доступ людини і захищені захисною сіткою, що забезпечує безпечну експлуатацію обладнання. Передбачені безпечні та зручні за конструкцією проходи та обладнання для ведення робіт, з урахуванням вимог СН 245-71.
- Спеціальний прохід між стіною та дверима щита: При монтажі щита передбачається спеціальний прохід між стіною та відкритими дверима щита з відстанню не менше 0,8 м, щоб забезпечити зручність та безпечність його експлуатації.
- Маркування приладів та контролерів: Всі прилади, контролери, органи дистанційного керування виконавчими механізмами мають пояснюючі надписи, на яких зазначений регульований або контрольований параметр та виконавчий механізм, яким дистанційно керується. Це сприяє зручності та безпеці при експлуатації системи автоматизації.

					ТА91405.0004.001.АТХ.П	Арк.
						103
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6.2 Технічні рішення та організаційні заходи з гігієни праці та виробничої санітарії

Згідно зі стандартом ДСТУ ІЕС 61140:2015, основне електрообладнання, що розташоване в робочому приміщенні, відноситься до І класу електрозахисту. Це пояснюється тим, що воно має робочу ізоляцію і підключається до електромережі за допомогою трьохконтактних вилок, один з виводів яких підключений до заземленого виводу розетки. Підключення цього обладнання виконане відповідно до вимог ПУЕ-2017 та НПАОП 40.1-1.21-98.

Робоче приміщення, є нежарким і сухим. Воно відноситься до класу приміщень, де немає підвищеної небезпеки ураження персоналу електричним струмом, оскільки відносна вологість повітря не перевищує 75%, температура не підвищується понад 35°C, і відсутні хімічно агресивні середовища згідно з ПУЕ-2017. Крім того, відсутня можливість одночасного дотику до металоконструкцій будівлі, які мають контакт з землею з одного боку, і струмопровідних елементів електрообладнання з іншого боку. Живлення електричних пристроїв у робочому приміщенні здійснюється від 5-провідної трифазної мережі з глухозаземленою нейтраллю, що має напругу 220 В і частоту 50 Гц, за допомогою автоматів максимального струмового захисту. У приміщенні застосована схема захисного заземлення типу TN-S (занулення).

Для зниження значень напруги дотику і відповідних значень струму під час нормального та аварійного режимів роботи електрообладнання необхідно здійснити повторне заземлення захисного РЕ-провідника.

Визначення вимикаючої здатності автоматів максимального струмового захисту включає розрахунок значення струму короткого замикання (К.З.) при аварійному режимі роботи електрообладнання, яке відповідає пробою робочої ізоляції, а також перевірку, чи відповідає це значення кратності номінальному струму спрацювання пристроїв максимального струмового захисту. Для розрахунку маємо такі вихідні дані:

					ТА91405.0004.001.АТХ.П	Арк.
						104
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

а) $U_{\phi} = 220 \text{ В}$ – фазова напруга;

б) кабель чотирьох жильний, матеріал – алюміній ($\rho = 0,028 \text{ Ом} \cdot \frac{\text{мм}^2}{\text{м}}$);

в) відстань від трансформатора до споживача (L) = 100м;

г) номінальний струм спрацьовування автомата захисту ($I_{\text{ном}}$) = 20 А. Струм однофазного К.З. визначається за формулою:

$$I_{\text{к.з.}} = \frac{U_{\phi}}{R_{\phi} + R_0 + \frac{Zm}{3}} = \frac{220}{1,9 + 3,0 + 0,15} = 43,6 \text{ А}$$

де:

$R_{\phi} = 1,9 \text{ Ом}$ – активний опір фазного проводу;

$R_0 = 3,0 \text{ Ом}$ – активний опір РЕ-проводника;

$Zm/3 = 0,15 \text{ Ом}$ – розрахунковий опір трансформатора потужністю 250 Вт.

Для забезпечення надійної роботи автомата максимального струмового захисту необхідно виконувати таку умову:

$$K_M = \frac{I_{\text{к.з.}}}{I_{\text{ном.}}} > 1,4$$

де: K_M - кратність струму однофазного короткого замикання щодо номінального струму спрацьовування автомата максимального струмового захисту;

$I_{\text{к.з.}}$ - струм короткого замикання (49 А);

$I_{\text{ном}}$ - номінальний струм спрацьовування автомата максимального струмового захисту (20 А). У нашому випадку:

$$K_M > 2,45$$

З розрахунків видно, що автомат максимального струмового захисту з електромагнітним відключенням, такі, як встановлені у робочому приміщенні, будуть надійно спрацьовувати при однофазному короткому замиканні.

При однофазному К.З. максимальне значення напруги на корпусах електрообладнання щодо землі при аварійному режимі його роботи за час спрацьовування максимального струмового захисту, U_{max} :

$$U_{\text{max}} = I_{\text{к.з.}} \cdot R_0 = 43,6 \cdot 2,0 = 87,2 \text{ В.}$$

					ТА91405.0004.001.АТХ.П	Арк.
						105
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ця напруга менша $U_{\text{доп}} = 500 \text{ В}$ ($t_{\text{дії}} < 0,1 \text{ сек.}$) згідно з ПУЕ-2017.

Таблиця 6.1 – Допустимі значення напруг на корпусах ЕУ в залежності від часу спрацювання захисних пристроїв (ПУЕ-2017)

t (сек)	до 0,1	0,2	0,5	0,7	0.9	>1 сек. до 5 сек.
$U_{\text{доп.дот}} \text{ (В)}$	500	400	200	130	100	65

Для зниження значення U_{max} як у нормальному, так і у аварійному режимі може бути застосоване повторне заземлення нульового провідника

6.3 Відповідність параметрів мікроклімату в робочій зоні санітарним нормам

Відповідно до ДСН 3.3.6.042–99 "Державні санітарні норми параметрів мікроклімату у виробничих приміщеннях", для регулювання клімату в фісному приміщенні необхідно мати систему опалення та кондиціонування повітря з можливістю індивідуального налаштування температури та об'єму подаваного повітря відповідно до вимог ДБН В.2.5 – 67:2013 "Опалення, вентиляція та кондиціонування".

Робота на робочому місці виконується в сидячому положенні і не вимагає фізичного навантаження. Цю діяльність можна віднести до категорії Іа, яка охоплює види діяльності з енерговитратами до 120 ккал/год.

Згідно з ДСН 3.3.6.042–99 "Державні санітарні норми параметрів мікроклімату у виробничих приміщеннях", нормуються такі показники мікроклімату: температура повітря (t , °С), відносна вологість (W , %) та швидкість руху повітря (V , м/с).

Умови, що розглядаються (категорія робіт та період року), визначені оптимальні та допустимі параметри мікроклімату наведені в наступній таблиці:

					ТА91405.0004.001.АТХ.П	Арк.
						106
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 6.2 – Параметри мікроклімату

Період Року	Оптимальні			Допустимі		
	$t,^{\circ}\text{C}$	$W, \%$	$V, \text{м/с}$	$t,^{\circ}\text{C}$	$W, \%$	$V, \text{м/с}$
Теплий	23- 25	40- 60	0,1	22- 28	55	0,2- 0,1
Холодний	22- 24	40- 60	0,1	21- 25	75	$\leq 0,1$

Параметри мікроклімату в робочій зоні відповідають встановленим нормам згідно з ДСН 3.3.6.042–99.

6.4 Виробниче освітлення

Згідно з вимогами ДБН В.2.5–28–2018, приміщення повинні мати природне та штучне освітлення. Природне світло повинно проникати через бічні світлопрорізи, спрямовані переважно на північ чи північний схід, забезпечуючи коефіцієнт природної освітленості не менше 1,5%. Крім того, приміщення повинні бути обладнані регульованими пристроями для відкривання та жалюзі, завіски, зовнішніми козирками. Коефіцієнт природної освітленості розраховується згідно з ДБН В.2.5–28–2018. Приміщення повинні мати природне та штучне освітлення відповідно до ДБН В.2.5–28–2006.

Робоче приміщення має бічне природне та штучне освітлення, а також центральне водяне опалення. У приміщенні є три вікна розміром 2х2,2 метра. Штучне освітлення забезпечується чотирма люмінесцентними світильниками з лампами ЛБ–40, розташованими у ряд. З цими характеристиками приміщення відповідає вимогам ДБН В.2.5–28–2018.

6.5 Виробничий шум

Згідно з ДСН 3.3.6.037-99, встановлюються нормативні значення звукового тиску $L=20\lg P_i/P_o$, дБ (P_i - середньоквадратичне значення звукового тиску, в

					ТА91405.0004.001.АТХ.П	Арк.
						107
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Па за розглядуваний період часу, та P_o - значення звукового тиску на нижньому порозі слухової сприйнятливості в октавній смузі з середньгеометричною частотою 1000 Гц) в залежності від частоти, характеру робіт і характеру шуму. Також встановлюються допустимі значення звуку $LA=20lgPA_i/P_o$, дБА (PA_i - середньоквадратичне значення звукового тиску з корекцією А шумоміра) в залежності від характеру робіт і характеру шуму. Для тонального і непостійного шуму значення L та LA менші на 5 одиниць. Таблиця 6.3 містить допустимі значення звукового тиску і рівні звуку для постійного (непостійного) широкополосного (тонального) шуму.

Таблиця 6.3 – Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного (непостійного) широкополосного (тонального) шуму

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах частот із середньо геометричними значеннями									Допустимий рівень звуку (дБА)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Виробниче приміщення	99	98	92	86	80	75	76	74	72	80
Приміщення управління, робочої кімнати	70	70	63	63	55	52	50	49	60	60

У самому тепlopункті головними джерелами шуму є потік теплоносія через труби та циркуляційні насоси. Шум, що виникає від теплоносія, не є значним через компактні розміри самого тепlopункту, а також завдяки циркуляційним насосам Wilo Star-RS 25/4-180, які не перевищують рівень 70 дБА, що відповідає допустимим нормам, встановленим у ДСН 3.3.6.037-99.

6.6 Пожежна безпека та профілактика

Робоче приміщення, що розглядається, відповідає категорії В за вибухопожежною небезпекою відповідно до ДСТУ Б.В.1.1-36:2016 "Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною небезпекою". Згідно з ПУЕ-2017 та НПАОП 40.1-1.32-01, клас робочих зон приміщення лабораторії за пожежонебезпекою є П-Па.

Основними можливими причинами пожежі в цьому приміщенні є несправність електроустаткування, коротке замикання проводки та порушення протипожежного режиму, такі як використання побутових нагрівальних приладів та паління.

Відповідно до вимог ПБЕ та ПУЕ, рекомендується вживати наступні заходи безпеки:

- Ретельно ізолювати всі електричні проводки, які ведуть до робочих місць, та періодично перевіряти їх ізоляцію.
- Суворо дотримуватися норм протипожежної безпеки на робочих місцях.
- Приймати відповідні організаційні заходи, такі як заборона паління та проведення інструктажів.

У робочому приміщенні лабораторії встановлено чотири датчики типу ДТЛ, кожен з яких захищає площу 15 м². Датчики розташовані на відстані 4 м один від одного, що відповідає нормам ДБН В.2.5-56-2014. Згідно з ДСТУ 3675-98 та ISO 3941-2007, для гасіння пожежі в робочому приміщенні лабораторії (клас пожежі "Е" - наявність електрообладнання під напругою) використовуються два вуглекислотно-брометиленові вогнегасники ВВБ-3. Вибір цих вогнегасних речовин обґрунтовується можливістю пожежі у присутності електричних пристроїв, які перебувають під напругою.

У коридорі також розташовано два пожежних крани і ящик з піском. Таким чином, кількість, розташування та вміст первинних засобів пожежогасіння відповідають вимогам ISO 3941-2007.

У будівлі також дотримуються всі вимоги ДБН В.1.1-7-2016 щодо вогнестійкості будинку, ширини евакуаційних проходів та виходів з

					ТА91405.0004.001.АТХ.П	Арк.
						109
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

приміщень на зовнішню територію. У коридорі також розташовано два пожежних крани і ящик з піском.

Інформація щодо основних параметрів шляхів евакуації наведена в наступній таблиці:

Таблиця 6.4 — Характеристики і норми евакуаційних виходів

Параметр	Фактичне значення	Норма
Висота дверних прорізів	2,0 м	Не менше 2 м
Ширина дверних прорізів	1,5 м	Не менше 0,8 м
Ширина проходу для евакуації	Більше 1,5 м	Не менше 1 м
Ширина коридору	3 м	Не менше 2 м
Число виходів з коридору	2	Не менше 2
Ширина сходової клітки	1,5 м	Не менше 1 м
Висота поруччя сходів	1 м	Не менше 0,9 м

Усі необхідні заходи пожежної безпеки виконано в робочих приміщеннях відповідно до вимог, встановлених у НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні».

РОЗДІЛ 7 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК

Для визначення техніко-економічної ефективності автоматизованої системи управління технологічним процесом необхідно виконати розрахунок їх показників. Використаємо таблицю таблицю 7.1 для сумісного розрахунку показників техніко-економічної ефективності.

Таблиця 7.1 – Вартість обладнання АСК

№ п/п	Назва обладнання	Одиниці вим.	Кіл-сть	Вартість за одиницю, грн	Загальна вартість, грн
1	Датчик вологості Thermasens RFF2071	шт.	1	3651	3651
2	Реле перепаду тиску Vents DTV 500	шт.	2	2487	4974
3	Реле перепаду тиску Danfoss YNS-C106X	шт.	1	5927	5927
4	Термоперетворювач опору Овен ДТС5М-И	шт.	6	2058	12348
5	Датчик температури Siemens QAC3171	шт.	5	5859	29295
6	Витратомір рідини Promag 53P	шт.	1	24200	24200
7	Датчик тиску Danfoss MBS 3050	шт.	4	11800	47200
8	ПЛК Unitronics OPLC Unistream USC-P-B10	шт.	1	11550	11550
9	Модуль розширення Delta Electronics AS, 8 AI	шт.	1	10826	10826

Продовження таблиці 7.1

№ п/п	Назва обладнання	Одиниці вим.	Кіл-сть	Вартість за одиницю, грн	Загальна вартість, грн
10	Вимикач автоматичний Schneider Electric BA63 C	шт.	1	720	720
11	Вимикач автоматичний Schneider Electric RESI9	шт.	2	125	250
12	Пускове реле Schneider Electric ATS22	шт.	2	34420	68840
13	Блок живлення MEAN WELL DC	шт.	2	671	1342
14	DIN-рейка E.Next	м	2	78	156
15	Короб пластиковий Plastim	м	3	198	594
16	Щит автоматизації БМ- 106+П IP54	шт.	1	8455	8455
17	Кабель КВВГ 4x0,75	м	10 0	25,77	2577
18	Кабель контрольний КВВГ 2x0,75	м	80	20	1600
19	Клемник Hager KXA10NH	шт.	30	73,2	2196
20	Клемник Simet	шт.	50	12,3	615

					ТА91405.0004.001.АТХ.П	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		112

Кінець таблиці 7.1

№ п/п	Назва обладнання	Одиниці вим.	Кіл-сть	Вартість за одиницю, грн	Загальна вартість, грн
21	Вентилятор каналу Vents ВКМ 200	шт.	2	7670	15340
23	Циркуляційний насос Wilo Star-RS 25 /4-180	шт.	2	3599	7198
24	Виконавчий механізм Belimo LF230-S	шт.	2	5993	11986
25	Виконавчий механізм Belimo LR24A-SR	шт.	3	5477	16431
26	Перетворювач частоти Altivar Machine ATV320	шт.	2	37957	75914
27	Світлодіодний індикатор RS Group AD16	шт.	5	37,6	188
28	Розробка SCADA-системи	шт.	1	25000	25000
29	Ліцензія на ПЗ	шт.	1	10000	10000
			Загальна сума		39937 3,0

Враховуючи особливості об'єкта автоматизації, нехай допустимий термін окупності ($T_{ок}^*$) буде становити 3 роки.

Загальна сума обладнання становить:

$$B_o = 399373 \text{ грн}$$

Вартість монтажних робіт становитиме 15% від загальної суми обладнання:

$$B_m = 59906 \text{ грн}$$

Вартість пусконаладжувальних робіт становить 10% від загальної суми обладнання:

$$B_{пн} = 39937 \text{ грн}$$

Вартість на пакування та транспортування становить 3% від загальної суми обладнання:

$$B_{тр} = 11981 \text{ грн}$$

Загальна сума всіх витрат становить:

$$\begin{aligned} B_z &= B_o + B_m + B_{пн} + B_{тр} = 399373 + 59906 + 39937 + 11981 \\ &= 511197 \text{ грн} \end{aligned}$$

Далі потрібно розрахувати економічну ефективність за наступною формулою:

$$\Delta U = E_k - \Delta B_{авт} \quad (7.1)$$

де $\Delta B_{авт}$ – витрати на обслуговування.

E_k – економія від ведення АСР.

Під час роботи АСР мікрокліматом офісного приміщення при найбільш оптимальній якості регулювання забезпечується зменшення витрати коштів на електроенергію, також знизяться витрати обслуговування обладнання.

Задамо показник економії від ведення АСР $E_k = 650000$ грн/рік

Розрахуємо додаткові витрати, що складаються з витрат на електроенергію, періодичний ремонт (реконструкцію), заробітну плату за наступною формулою:

$$\Delta B_{авт} = B_{зп} + B_{ам} + B_p + B_{ел} \quad (7.2)$$

Додаткові витрати на зарплату:

					ТА91405.0004.001.АТХ.П	Арк.
						114
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$B_{\text{зп}} = B_3 \cdot T \cdot n = 10000 \cdot 12 \cdot 3 = 360000 \text{ грн}$$

де B_3 – заробітна плата працівникам в місяць, 10000 грн;

T – кількість робочих місяців;

n – кількість працівників, 3 чол;

Витрати на амортизацію становлять 9% від загальної вартості всіх витрат:

$$B_{\text{ам}} = 0,09 \cdot B_3 = 0,9 \cdot 511197 = 46007 \text{ грн/рік}$$

Витрати на реконструкцію становлять 5% від загальної вартості всіх витрат:

$$B_p = 0,05 \cdot B_3 = 0,5 \cdot 511197 = 25559 \text{ грн/рік}$$

Додаткові витрати на електроенергію:

$$B_{\text{ел}} = C_e \cdot T \cdot N = 1,68 \cdot 8760 \cdot 0,6 = 14716 \text{ грн/рік}$$

C_e – тариф на електроенергію;

T – час роботи обладнання за рік;

N – потужність засобів автоматизації;

Тоді додаткові витрати становлять:

$$\Delta B_{\text{авт}} = 360000 + 46007 + 25559 + 14716 = 446282 \text{ грн}$$

Виходячи з даних розрахунків економічна ефективність буде становити:

$$\Delta U = E_k - \Delta B_{\text{авт}} = 650000 - 446282 = 203718 \text{ грн}$$

Розрахуємо термін окупності за наступною формулою:

$$T_{\text{ок}} = \frac{B_3}{\Delta U} = \frac{511197}{203718} = 2 \text{ роки } 6 \text{ місяців}$$

Бачимо, що виконується нерівність $T_{\text{ок}} < T_{\text{ок}}^*$

$$2,6 \text{ роки} < 3;$$

Так як допустимий термін окупності $T_{\text{ок}}^*$ більший ніж розрахований, то можна стверджувати, що система є економічно доцільною та вигідною.

					ТА91405.0004.001.АТХ.П	Арк.
						115
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

В рамках виконання дипломного проєкту було розроблено та досліджено автоматизовану систему керування мікрокліматом в офісному приміщенні.

На початку було здійснено проектування АСУТП, в ході якого визначено характеристику технологічного об'єкта управління, його аналіз та огляд. Це дало змогу визначити наявні контури в системі вентиляції та кондиціонування, системи керування вологістю та системи водяного опалення. Було визначено технологічні параметри та на їх основі функції автоматизованої системи управління. Розроблено схему автоматизації функціональну, яка містить технічне обладнання всієї системи, органи регулювання та зв'язки між засобами автоматизації.

Наступним етапом було проведення інженерного розрахунку САР. В ході цього були створені структурні схеми вимірювальних каналів системи вентиляції і кондиціонування та системи водяного опалення. Схеми включають підключення та передачу уніфікованого сигналу датчиків температури, термоперетворювачів опору реле перепаду тиску з програмованим логічним контролером. Також було проведено розрахунок надійності вимірювальних каналів для інформаційної, керуючої та захисної функції. В результаті чого можна зробити висновок, що вимірювальні канали відповідають точності, оскільки їх абсолютні похибки (ΔBK) менші за допустимі значення. Це підтверджує придатність цих каналів для використання, а прилади, які використовуються у цих каналах, відповідають вимогам точності та придатні для вимірювання відповідних технологічних параметрів. Крім того, розрахунки надійності вимірювальних каналів показують, що значення відповідають вимогам надійності системи для цих каналів. Це означає, що вимірювальні канали здатні працювати без відмови протягом встановленого періоду часу, забезпечуючи надійний та безперебійний збір даних.

					ТА91405.0004.001.АТХ.П	Арк.
						116
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У ході виконання ідентифікації об'єкту було знято розгінну характеристику по температурі повітря в системі вентиляції (випереджального та інерційного об'єкту), по температурі в приміщенні при зміні витрати газу в газовому котлі на 30 %. Для розрахунків перехідної характеристики, апроксимації та визначення параметрів функції передачі по всіх каналах було використано метод логарифмування. На основі отриманих перехідних характеристик був проведений розрахунок параметрів регуляторів САР для контуру системи вентиляції та системи опалення з використанням двох методів - РАФХ та Зіглера-Нікольса. Проаналізувавши показники якості по обох методах, можна зробити висновок, що метод Зіглера-Нікольса є оптимальним для дослідження контуру температури в системі вентиляції випереджального та інерційного каналу. Для розрахунку параметрів регулятора по контуру температури в приміщенні оптимальним є метод РАФХ

Для програмування програмно-технічного комплексу було використано таке програмне середовища як CODESYS, за допомогою якого реалізовано логіку та алгоритм роботи ПЛК для регулювання САР температури в приміщенні. Для візуалізації та розробки SCADA-системи технологічного об'єкту та його роботи використано Indusoft Web Studio. Імітація роботи системи виконується із використанням Matlab Simulink.

Проведено техніко-економічний розрахунок ефективності системи управління в результаті якого досліджено, що система є економічною та доцільною, так як допустимий термін окупності є більший ніж розрахований ($T_{ок} < T_{ок}^*$).

					ТА91405.0004.001.АТХ.П	Арк.
						117
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мікроклімат та його вплив на працездатність людини. URL: <http://surl.li/fjogr> (дата звернення: 10.09.2018).
2. Авраменко Д. О. Мікроклімат приміщень. Види теплопередачі. Теплообмін теплопровідністю/ред. Авраменко Д. О. Полтава, 2016. С. 10
3. Іщейкіна Ю. О. Гігієна та екологія / ред. Ю. О. Іщейкіна, Л. В. Буря. – Україна, С. 2017. – 305.
4. Устройство принудительной вентиляции в частном доме URL: <https://cutt.ly/I81jRJJ> (дата звернення: 05.04.2021)
5. Е. С.Бондар. Автоматизація систем вентиляції і кондиціонування повітря / Е. С.Бондар, А. С. Гордієнко, В. А. Михайлова, Г. В. Нимич., 2005. С. 560.
6. Purro V. Elektroonika ja automaatika erialade riiklik õppekava / V. Purro, A. Sedjakin, T. Polütehnikum. – Estonia, 2009. С. 163.
7. ДСТУ Б А.2.4-16:2008. Автоматизація технологічних процесів. Зображення умовних приладів і засобів автоматизації в схемах. [Чинний від 2008-06-27]. Вид. офіц. Київ, 2008. 3 с. (Інформація та документація)
8. Faris S. Passive house design with mechanical ventilation and heat recovery (MVHR) URL: https://www.lawrenceduck.com/post/_mechanical-ventilation (дата звернення: 08.11.2021)

					ТА91405.0004.001.АТХ.П	Арк.
						118
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

9. ДСТУ 8302:2015 Інформація та документація. Бібліографічне посилання [Чинний від 2016-07-01]. Вид. офіц. Київ, 2015. 37 с. (Інформація та документація)

10. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків, установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. [Чинний від 2017-01-01]. Вид. офіц. Київ: Український науково-дослідний інститут цивільного захисту УкрНДІЦЗ, 2015. 10 с. (Інформація та документація)

					ТА91405.0004.001.АТХ.П	Арк.
						119
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		