

**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 кібер-енергетичних систем»

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

на тему: «Автоматизована система керування конденсаційним модулем нагріву»

Виконав:

студент ІV курсу, групи ТА-92

Аршанський Даніїл Ігорович _____

Керівник:

доцент, к.т.н.,

Степанець Олександр Васильович _____

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 (-ка) _____

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

Аршанський Даніїл Ігорович

1. Тема проєкту «Автоматизована система керування конденсаційним модулем нагріву», керівник проєкту Степанець Олександр Васильович, к.т.н., доцент, затверджені наказом по університету від «29» травня 2023 р. №2039-с

2. Термін подання студентом проєкту _____ 14 червня 2023р. _____

3. Вихідні дані до проєкту: літературні джерела, температура води на виході з модуля нагріву в межах (40...85) °С.

4. Зміст пояснювальної записки

Перелік скорочень і умовних позначень. Вступ. Проектування АСУТП. Інженерний розрахунок САР. Опис графічної частини проєкту. Розробка програмного забезпечення. Імітаційне моделювання АТК. Охорона праці. Розрахунок техніко-економічної ефективності АСК. Висновки. Список використаної літератури.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо)

Схема автоматизації функціональна ТОУ. Схема принципова електрична АСР. Схема структурна ПТК. Креслення загального виду щита. Схема зовнішніх з'єднань. Специфікація обладнання. Відомість дипломного проекту.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
3 питань охорони праці	Доцент С.Ф. Каштанов		

7. Дата видачі завдання _____ 25 квітня 2023р. _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
	Постановка задачі автоматизації ТОУ	30.04.2023	
	Схема автоматизації. Схема структурна ПТК	07.05.2023	
	Схема принципова електрична АСР. Розрахунок вимірювальних каналів АТК	14.05.2023	
	Креслення щита загального виду. Розрахунок регулювально-виконавчих каналів АТК. Графічні ілюстрації до розрахункової частини проекту	21.05.2023	
	Схема монтажна. Схема зовнішніх з'єднань. Опис графічних документів. Програмування ПТКЗА	28.05.2023	
	Полігонні випробування ІМ і аналіз функціонування АСУ. Охорона праці. Техніко-економічний розрахунок АСУ	04.06.2023	
	Відомість дипломного проекту	11.06.2023	
	Нормоконтроль	18.06.2023	
	Передзахист ДП	18.06.2023	
	Захист ДП	23.06.2023	

Студент

Даніїл АРШАНСЬКИЙ

Керівник

Олександр СТЕПАНЕЦЬ

АНОТАЦІЯ

Під час розробки дипломного проєкту було спроектовано автоматизовану систему керування конденсаційним модулем нагріву. Було розглянуто зміну температури теплоносія на виході з модуля нагріву. Пояснювальна записка складається з наступних розділів: вступ, проєктування АСУТП, інженерний розрахунок САР, опис графічної частини проєкту, розробка програмного забезпечення, імітаційне моделювання АТК, охорона праці, розрахунок техніко-економічної ефективності АСК, висновки.

У першому розділі проаналізовано конденсаційний модуль нагріву як технологічний об'єкт, обрано структуру системи керування, визначено технологічні параметри та функції системи керування об'єктом, а також визначено джерела техніко-економічної ефективності та описано структуру програмно-технічного комплексу та схему автоматизації.

У другому розділі було визначено вимірювальні канали, проведено розрахунки для вимірювальних каналів та їх захист. Також було ідентифіковано об'єкт управління, апроксимованого його розгінну характеристику, розраховано регулятори систем автоматичного регулювання, виконано функціональне моделювання для об'єкта з створеним регулятором.

В третьому розділі було описано функціональну, структурну, принципову електричну схеми, а також схему монтажну щита, схему зовнішніх з'єднань, креслення загального виду щита та специфікацію обладнання.

В четвертому розділі було розроблено програмне забезпечення для ПЛК, граничного пристрою та HMI/SCADA систему.

П'ятий розділ присвячено імітаційному моделюванню з описом структури полігону моделювання та проаналізовано результати моделювання.

В шостому розділі визначено та описано заходи з охорони праці, з особливою увагою до електрозахисту.

Сьомий розділ присвячено розрахункам техніко-економічної ефективності АСК, складено кошторис впровадження та монтажу системи.

ABSTRACT

During the diploma project development, automated control system of the condensing heating module was developed. Coolant temperature change was taken into account. The explanatory note consists of: introduction, automated control system development, drawing explanations, software development, automated technological complex imitational modelling, occupational safety, automated control system economic efficiency calculations, conclusions.

First section consists of the analysis of condensing heating module as technological control object, choice of control system structure, choice of technological parameters and control system functions. Additionally, sources of technical and economical efficiency are stated, software and hardware structure of complex is described and automation scheme is described as well.

Second section consists of measurement channel consideration, their calculations and protection. Additionally, the identification of control object is carried out, its heating rate is approximated, parameters for regulators are calculated and function modelling of control object with regulators is carried out.

Third section consists of automation, structure scheme, circuit diagram explanations, and also explanations of wiring diagram, external connections diagram, hardware specification and the drawing of the general view of the shield.

Fourth section is devoted to software development for PLC, edge device and for the HMI/SCADA system.

Fifth section is devoted to imitational modelling and modelling test site explanation. Additionally, the analysis of modelling results is carried out.

Sixth section consists of occupational safety consideration and explanation, with increased attention to electric protection.

Seventh section consists control object technical and economical efficiency calculations, implementation and installation estimate calculation.

Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «АСК конденсаційним модулем нагріву»

Київ – 2023 року

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	10
ВСТУП.....	11
РОЗДІЛ 1. ПРОЄКТУВАННЯ АСУТП	12
1.1 Характеристика модуля нагріву.....	12
1.2 Вибір і обґрунтування структури АСУТП ТОВ	15
1.3 Технологічні параметри АСУТП ТОВ	17
1.4 Функції АСУТП ТОВ	18
1.5 Схема автоматизації функціональна	19
1.6 Схема структурна програмно-технічного комплексу	21
1.7 Перелік і аналіз джерел техніко-економічної ефективності АСК ТОВ	24
РОЗДІЛ 2. ІНЖЕНЕРНИЙ РОЗРАХУНОК САР	25
2.1 Інженерний розрахунок вимірювальних каналів САР	25
2.1.1 Перелік вимірювальних каналів	25
2.1.2 Схеми структурні вимірювальних каналів	25
2.1.3 Особливості електричних підключень датчиків вимірювальних каналів.....	26
2.1.4 Монтаж технічних засобів вимірювальних каналів.....	28
2.1.5 Захист технічних засобів вимірювальних каналів від перешкод.....	29
2.1.6 Схеми структурні надійності вимірювальних каналів	30
2.1.7 Метрологічний розрахунок вимірювальних каналів	30
2.1.8 Розрахунок надійності вимірювальних каналів	32
2.1.9 Функції первинної обробки даних вимірювання в ПЛК	33
2.1.10 Висновок щодо роботоздатності вимірювальних каналів САР.....	33
2.2 Інженерний розрахунок регулювально-виконавчих каналів САР	33
2.2.1 Перелік систем автоматичного регулювання	33
2.2.2 Функціональна і структурна схеми САР.....	34
2.2.3 Схема структурна регулювально-виконавчого каналу САР	36
2.2.4 Схема структурна програмно-технічних засобів САР.....	37
2.2.5 Схема структурна надійності реалізації управляючої функції САР	38
2.2.6 Розрахунок надійності реалізації управляючої функції САР.....	38
2.2.7 Ідентифікація об'єкта управління	39

					<i>ТА-92418.001.АТХ.П</i>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Аршанський Д.І.			<i>Автоматизована система керування конденсаційним модулем нагріву</i>	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Степанець О.В.				4	106	
Н. Контр.		Некрашевич О.В.			<i>АЕП, гр. ТА-92</i>			
Затверд.		Волощук В.А.						

РОЗДІЛ 7. РОЗРАХУНОК ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ АСК	99
ВИСНОВКИ	106
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	109

					<i>ТА-92418.0002.001.АТХ.П</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АСК – автоматична система керування;

САР – система автоматичного регулювання;

РО – регулюючий орган;

ВМ – виконавчий механізм;

НМІ – Human Machine Interface;

ПІ - регулятор – пропорційно - інтегральний регулятор;

$W(p)$ – передавальна функція;

РАФХ – метод розширеної амплітудно - фазової характеристики;

ПЛК – програмований-логічний контролер;

SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition;

ВМА – вимірювальна апаратура;

ВКА – виконавча апаратура;

ТОК – технологічний об'єкт керування;

ПТК – програмно-технічний комплекс;

СРА – супервізорний рівень автоматизації;

КРА – контролерний рівень автоматизації;

					ТА-92418.0002.001.АТХ.П	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

ВСТУП

Впродовж останніх років, індивідуальні теплові пункти та системи опалення набувають все більшого і більшого розповсюдження. Разом з тим, як збільшується кількість замовників і установ, індивідуальні теплові пункти мають покращуватись і збільшувати свою ефективність, як за рахунок більш вдалої побудови, так і за рахунок покращення систем керування.

За даними Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства, в Україні 80% багатоповерхівок потребують енергомодернізації [1]. Доволі частим рішенням у великих, розгалужених будинках з великою тепловою потужністю є встановлення декількох індивідуальних теплових пунктів. Однак, такий підхід пов'язаний з певними вимогами до самого обладнання, яке буде використано в рішенні: воно має використовувати сучасні цифрові засоби та мати зв'язок із зовнішнім світом, адже у інших випадках швидкість реагування на аварії буде неприпустимо низькою, вартість заміни обладнання та складність обслуговування також буде рости, а загальна ефективність буде значно нижчою, ніж у конкурентних рішеннях.

Усі ці аспекти ведуть до простих висновків: сучасні системи опалення, незалежно від того, індивідуальні чи централізовані, мають оновлюватись і ставати більш розумними для збільшення власної ефективності. Це стосується всіх їх складових, тому що використання поточних складових з низьким рівнем автоматизації не дозволяє покращувати вже встановлені системи у тривалій перспективі [2].

Найбільший ріст ефективності спостерігається у випадках, коли було покращено модулі нагріву системи та додано до них не лише систему контролю, але й засоби зв'язку з зовнішнім світом.

					ТА-92418.0002.001.АТХ.П	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

РОЗДІЛ 1. ПРОЄКТУВАННЯ АСУТП

1.1 Характеристика модуля нагріву.

Модулі нагріву використовуються для забезпечення опалення та гарячого водопостачання в окремих будинках або житлових комплексах. Вони є ключовими компонентами системи опалення і складаються з наступних елементів [3]:

1. Котел. Центральним елементом модуля нагріву є котел, який виробляє тепло шляхом спалювання палива (газу, нафти, деревини тощо) або за допомогою електричної енергії. Котел може мати різні типи конструкцій, такі як конденсаційні котли, твердопаливні котли або електричні котли.
2. Насосна станція. Насосна станція використовується для циркуляції теплоносія (наприклад, води або гліколю) через систему опалення. Вона забезпечує рух теплоносія від котла до радіаторів або підлогового опалення.
3. Регулюючі пристрої. До модуля нагріву можуть входити різні регулюючі пристрої, такі як термостати, клапани або автоматика. Вони дозволяють контролювати температуру в приміщеннях і підтримувати комфортні умови опалення.
4. Розподільча система. Це система трубопроводів, яка розподіляє теплоносій до радіаторів або підлогового опалення в кожному окремому приміщенні. Вона забезпечує рівномірне розподілення тепла і опалювальний комфорт у всіх частинах будинку.
5. Контрольна та безпекова система. До модуля нагріву можуть входити різні датчики, які контролюють рівень тиску, температуру, пожежну безпеку та інші параметри систем

У модулях нагріву можуть використовуватись різні типи котлів, залежно від використовуваного виду палива та потреб опалення. Розглянемо основні види котлів, що застосовуються в сучасних системах [4].

					<i>ТА-92418.0002.001.АТХ.П</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Газові котли - це найпоширеніший тип котлів, які працюють на природному газі або пропан-бутані. Вони є ефективними, легкими у використанні та забезпечують швидке нагрівання. Газові котли можуть бути конденсаційними, які використовують тепло з водяної пари у вихлопних газах для збільшення ефективності.

Електричні котли використовують електричну енергію для нагріву теплоносія. Вони прості у встановленні та використанні, але можуть бути менш ефективними з екологічної точки зору, особливо якщо електроенергія виробляється з неекологічних джерел.

Твердопаливні котли працюють на вугіллі, дровах, пелетах або інших твердих видах палива. Вони високоефективні і екологічно чисті, але вимагають ручного завантаження палива та регулярної очистки золи.

Рідкопаливні котли. Ці котли використовують нафту або дизельне паливо для нагріву теплоносія. Вони досить ефективні, але нафта є дорожчим видом палива у порівнянні з газом або твердим паливом, а також потребує зберігання паливного бака.

Також інколи використовуються геотермальні котли, які також називають тепловими насосами. Це спеціальні котли, які використовують тепло, що виділяється з землі або ґрунту, як джерело енергії. Вони є доволі екологічно чистими та енергоефективними, але вимагають складної установки.

Технологічним об'єктом керування (ТОК) є конденсаційний модуль нагріву (рис. 1.1), що складається з двох окремо розташованих нагрівальних елементів «Isothermic 7+2» виробництва Sermeta (Франція) [5], які представляють собою проточні водонагрівачі. Кожен з нагрівальних елементів складається з конденсаційного теплообмінника, всередині якого теплоносій проходить крізь паралельно підключені спіральні трубчасті елементи, які складають камеру згоряння, в центрі якої знаходиться газовий пальник типу премікс [6] з електродом розпалювання.

					ТА-92418.0002.001.АТХ.П	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

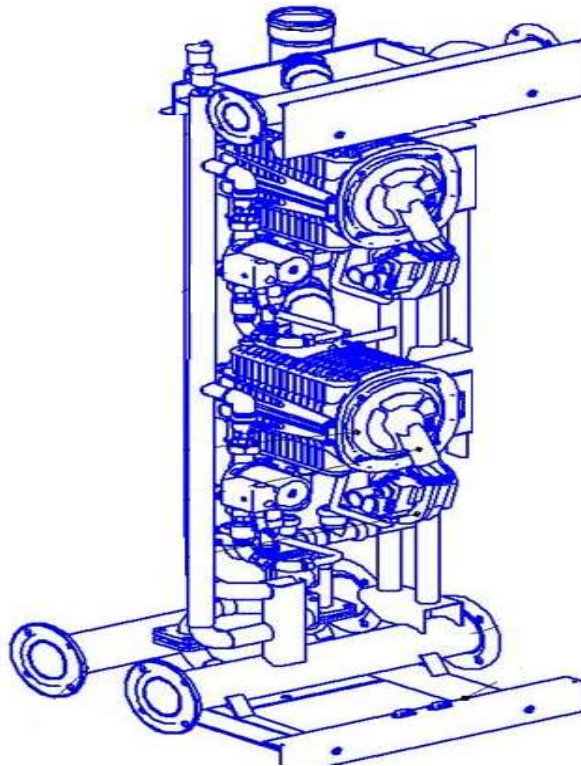


Рисунок 1.1 - Конденсаційний модуль нагріву

В ТОК відбувається передача попередньо підготованої суміші газу з повітрям на пальник вентилятором через газопровід. Використання вентилятору зі змінною кількістю обертів дозволяє здійснювати «модуляцію полум'я» в межах від 20% до 100% від номіналу.

Повітря втягується вентилятором через сопло, пов'язане з газовим клапаном, який подає на вхід вентилятору газ в кількості, пропорційній кількості поданого повітря. Продукти згоряння прибираються з розташованих всередині теплообмінників в димохід. Конденсат, що утворюється всередині димоходів та камер згоряння, збирається в сифони-конденсатозбірники, звідки надходить до системи видалення конденсату.

Теплоносій з колектора зворотної лінії системи опалення подається до теплообмінників через трубопроводи з витратомірами за рахунок роботи циркуляційних насосів, після чого надходить до колектору.

Наявна необхідність в відключенні від загальної системи окремих елементів модуля для проведення обслуговування без відкачування теплоносія

					ТА-92418.0002.001.АТХ.П	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

з системи, для чого трубопроводи було обладнано запірною арматурою. В верхній частині трубопровідної системи теплоносія наявні повітропроводи.

Зворотній і прямий колектори мають встановлені на кінцях фланці, що дозволяє монтувати модулі в котельні установки. Також такі фланці наявні на газовому колекторі, що дозволяє отримати загальний газовий колектор у випадку необхідності під час об'єднання модулів [7].

1.2 Вибір і обґрунтування структури АСУТП ТОУ

Індивідуальні теплові пункти набувають все більш широкого розповсюдження протягом останніх років, що призводить до збільшення варіативності їх побудов. Оскільки обраний модуль нагріву може бути використано як частину індивідуального теплового пункту або як окремий тепловий пункт, необхідно чітко усвідомлювати переваги і недоліки існуючих систем керування.

Було розглянуто декілька систем керування, а саме одноконтурна система керування без додаткових умов, погодозалежна система керування та каскадна схема керування.

Одноконтурна система керування передбачає встановлення модуля нагріву у систему ГВП без додаткових змін. Система управління в такому випадку не потребує встановлення додаткових датчиків температури і замкнена повністю на модуль нагріву. Встановлюється датчик температури на виході з модуля нагріву, датчик температури на вході в модуль нагріву та можливість зміни уставки температури або підтримання заданої. У випадку, коли температура води на вході нижча за температуру уставки (з врахуванням зони нечутливості), відбувається розпалення пальника, перевірка на розпалення, після чого в пальник подається суміш газу та повітря. Регулювання температури відбувається за рахунок зміни швидкості обертання вентилятора на подачі газоповітряної суміші. Така система є найпростішою з розглянутих, до її переваг також можна віднести невелику вартість створення, відсутність необхідності в встановленні додаткового обладнання. Серед недоліків варто

					ТА-92418.0002.001.АТХ.П	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

виокремити велику швидкість зносу обладнання, ігнорування стану в середовищі кінцевого споживача, одночасне завантаження обох пальників навіть у випадку, коли це не є необхідним.

Погодозалежна система керування (рис. 1.2) базується на одноконтурній системі керування, однак додатково використовує дані про зовнішнє середовище та використовує алгоритм зміни уставки температури на виході з модуля нагріву в залежності від поточних погодних даних. Таку систему можливо реалізувати за допомогою зовнішнього датчика температури або отримання глобальних погодних умов за допомогою різноманітних систем, наприклад: GSM-дані, Internet, вбудовані або власностворені температурні бази даних. Серед переваг такої системи необхідно виділити ефективне використання тепла в залежності від зовнішніх умов, зменшення витрат на електроенергію та збільшення економії палива. Однак, така система має ряд недоліків, серед яких зазначимо складність обчислень та програмування системи управління у випадку використання вбудованих баз даних або GSM/Інтернет-системи отримання даних, можливість недостатнього постачання тепла в періоди надмірно холодної погоди, що може призвести до незадоволення споживачів

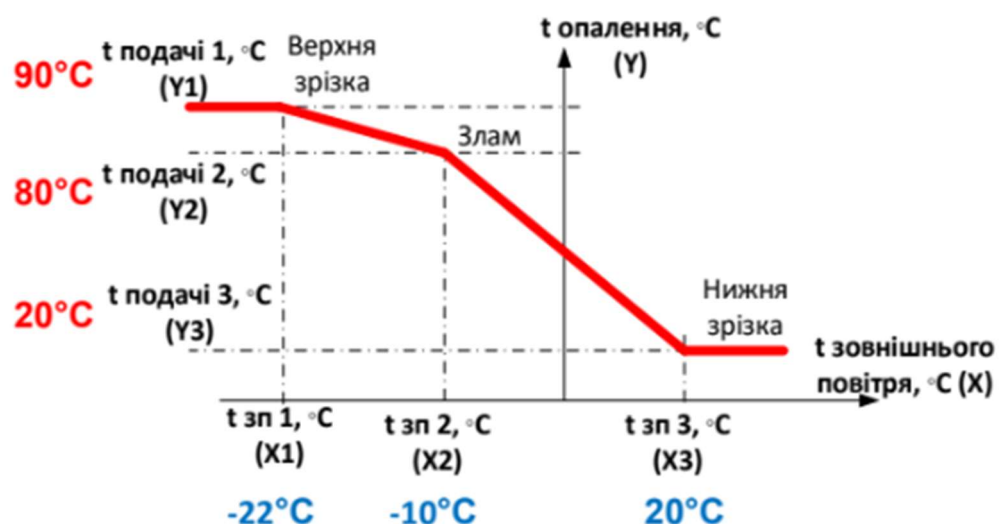


Рисунок 1.2 - Температурний графік погодозалежної системи керування

Система керування каскадом передбачає керування пальниками послідовно, в залежності від навантаження. Таким чином, у випадку низької потреби в нагріванні вхідної рідини буде використовуватись лише один нагрівальний елемент з двох наявних, проте в момент необхідності більшої потужності буде ввімкнено в роботу другий нагрівальний елемент для забезпечення необхідної кількості тепла. Каскадна схема дозволяє забезпечувати стабільну роботу системи та зменшує витрати на експлуатацію та обслуговування, оскільки дозволяє ефективніше використовувати теплогенеруючі установки. До її переваг можемо віднести стабільну роботу та можливість швидкого реагування на зміни в потребах споживачів, ефективне використання палива та енергії завдяки можливості регулювання навантаження на різних теплогенеруючих установках, однак це компенсується складністю управління та координацією роботи різних теплогенеруючих установок.

Для поточної установки було обрано погодозалежну систему керування технологічним процесом з використанням додаткового датчика температури для отримання температурних показників повітря. Цю систему керування було обрано з міркувань економічності, енергоефективності та можливості гнучкого налаштування в залежності від розташування модуля нагріву без необхідності зміни параметрів налаштувань. Така структура також дозволить отримати ряд переваг над звичайною одноконтурною системою керування, оскільки дозволяє отримати більшу ефективність та економічність використання ТОВ у порівнянні з вищеназваною системою. Визначним є саме врахування температурних умов в конкретний момент часу, що є визначним для споживачів, тому використано погодозалежну систему керування, однак для спрощення її реалізації та полегшення керування було обрано одноконтурну, а не каскадну схему.

1.3 Технологічні параметри АСУТП ТОВ

До режимних параметрів об'єкту відносимо наступні параметри:

- температура води на виході з модулю нагріву – має знаходитись в межах від 40-85°C;

					<i>ТА-92418.0002.001.АТХ.П</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

- швидкість обертання вентилятора на подачі газоповітряної суміші – максимальна швидкість обертання складає 8500 обертів на хвилину, регулювання в межах від 420 до 3600 обертів на хвилину у випадку мінімальної потужності котла в режимі опалення, від 1200 до 8500 обертів на хвилину у випадку максимальної потужності котла.

До захисних параметрів об'єкту відносимо наступні параметри:

- тиск газу в трубопроводі – номінальне значення складає 1960 Па, вимірюється перед нагрівальними елементами;
- тиск теплоносія в контурі опалення – не має перевищувати значення в 0.3 Мпа, вимірюється перед нагрівальними елементами;
- температура води в контурі – не має перевищувати значення 85 °С для попередження закипання води.

До інформаційних параметрів відносимо:

- датчик температури продуктів згоряння на виході з модуля – температура продуктів згоряння складає не менше 40-60 °С;
- датчик температури зовнішнього повітря - температура зовнішнього повітря вважається такою, що не виходить за межі від -30 до +40°С. Береться значення для об'єктів, які знаходяться в місті Київ або в Київській області.

1.4 Функції АСУТП ТОУ

Управляючі функції АСУ:

- одноконтурна стабілізація швидкості обертання вентилятору перед пальниками шляхом модуляції ШІМ сигналу на виході з ПЛК;
- одноконтурна стабілізація температури води на виході з модулю нагріву шляхом зміни швидкості обертання вентилятору, який встановлено перед пальниками.

Захисні функції АСУ:

					ТА-92418.0002.001.АТХ.П	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

- реалізація аварійного захисту шляхом контролю тиску газу в трубопроводі перед пальниками і формування аварійного сигналу у випадку відсутності тиску в системі;

- реалізація аварійного захисту шляхом контролю тиску теплоносія в контурі зворотної води і формування аварійного сигналу у випадку відсутності тиску в трубопроводах, що може значити відсутність води, аварію насосу або розгерметизацію контуру;

- реалізація аварійного захисту шляхом вимірювання температури води в трубопроводі та недопущення температури більше 85 °С, формування аварійних сигналів у випадку досягнення 80 градусів з самоскидом та зупинки роботи модуля у випадку досягнення 85 °С з необхідністю ручного скидання аварії оператором.

Інформаційні функції АСУ:

- вимірювання температури газів продуктів згоряння після пальників, в димоході;

- вимірювання температури зовнішнього повітря для погодозалежного керування;

- вимірювання температури води на вході в модуль нагріву.

1.5 Схема автоматизації функціональна

На основі отриманих даних щодо ТОК, було розроблено функціональну схему автоматизації (рис 1.3).

					<i>ТА-92418.0002.001.АТХ.П</i>	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

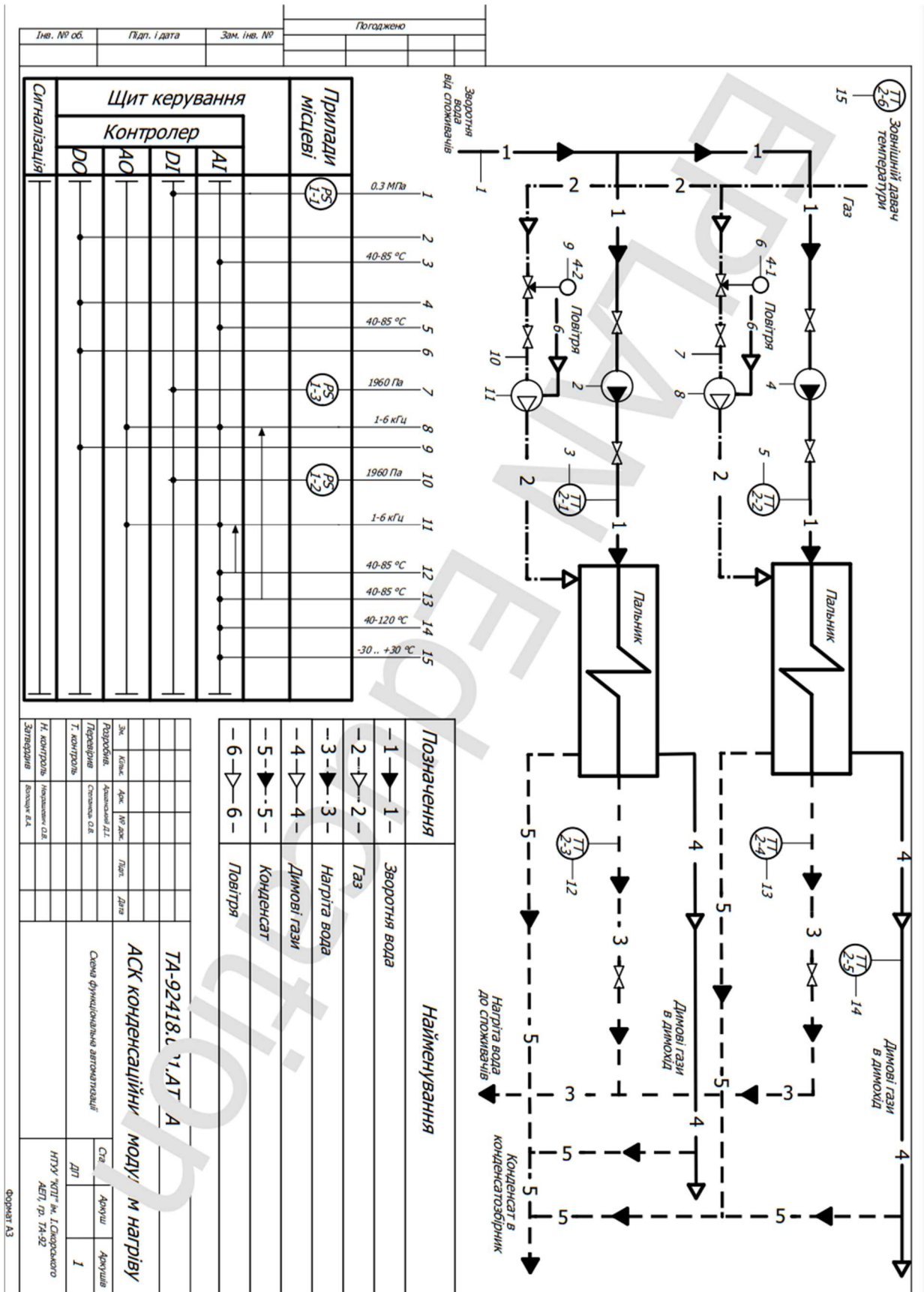


Рис. 1.3 Схема автоматизації функціональна

Тиск теплоносія від споживачів, тиск газу на подачі в пальники вимірюємо датчиками-реле PS1-1, PS1-2, PS1-3, які поступають на відповідні дискретні входи контролера. Тиск теплоносія вимірюємо до розгалудження на пальники. Тиск газу вимірюємо до вентиляторів, для того, щоб визначити наявність необхідного для роботи системи тиску газу в газопроводі.

Керування циркуляційними насосами виконується за рахунок формування дискретного вихідного сигналу з ПЛК.

Вимірювання температури зворотного теплоносія перед теплообмінником та нагрітого теплоносія після теплообмінника, а також температури продуктів згоряння після пальника виконується за рахунок термоперетворювачів опору ТТ2-1, ТТ2-2, ТТ2-3, ТТ2-4, ТТ2-5 з уніфікованим вихідним сигналом 4-20 мА, які поступають на відповідні аналогові входи ПЛК.

Керування вентиляторами здійснюється за рахунок формування вихідного ШІМ сигналу з ПЛК та передачі його на відповідну клему вентилятора, який в свою чергу перетворює його та змінює частоту обертів.

Вимірювання температури зовнішнього середовища виконується за рахунок давача зовнішньої температури ТТ2-6 з уніфікованим вихідним сигналом 4-20 мА, який поступає на аналоговий вхід ПЛК.

ПЛК закріплено на дверях щита керування для можливості роботи з встановленим на ПЛК екраном без відкривання щита.

1.6 Схема структурна програмно-технічного комплексу

Розглянемо структурну схему програмно-технічного комплексу (рис 1.4).

					<i>ТА-92418.0002.001.АТХ.П</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		21

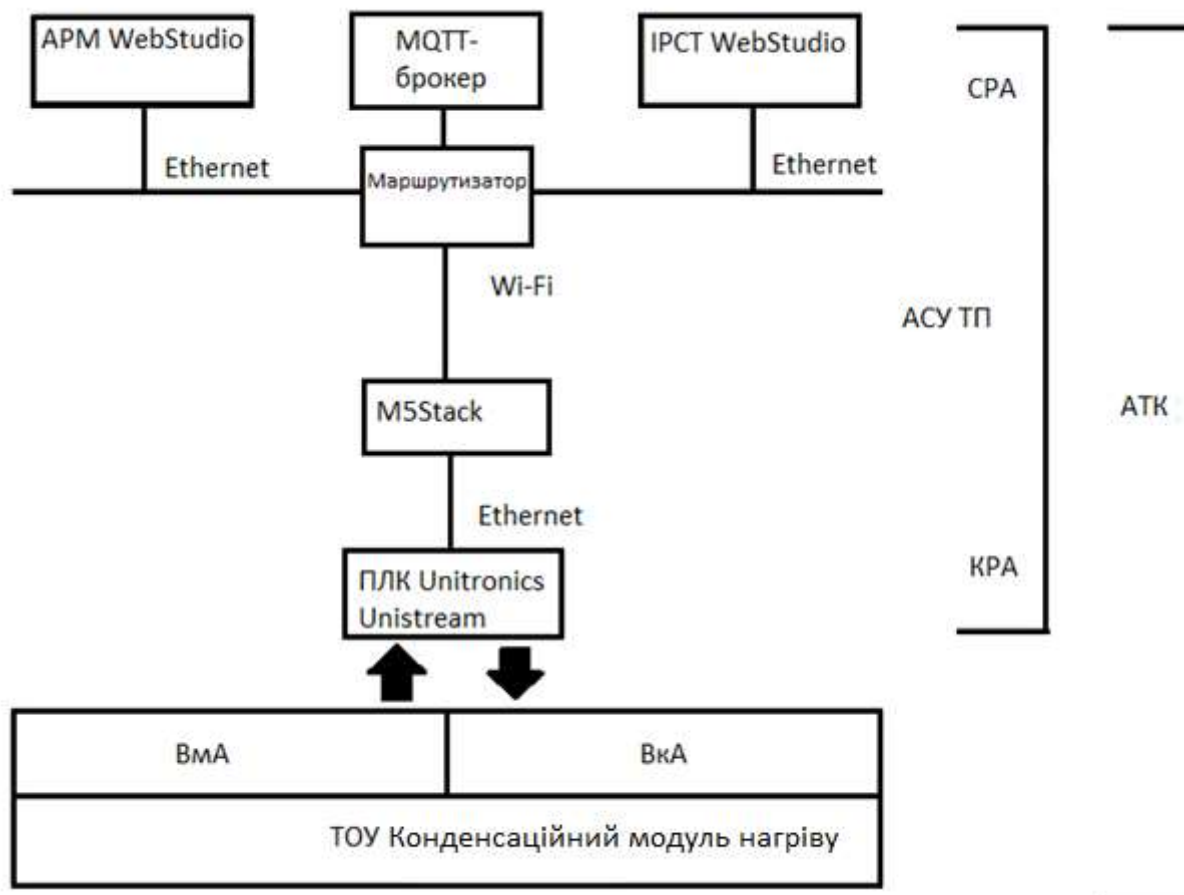


Рисунок 1.4 - Схема структурна програмно-технічного комплексу

Розглянемо архітектуру програмно-технічного комплексу. На найнижчому рівні знаходиться сам технологічний об'єкт управління, вимірювальна апаратура та виконавча апаратура, які до нього приєднані. На цьому рівні відбувається вимірювання параметрів та зміна параметрів устаткування в залежності від сигналу на вході виконавчої апаратури. Вимірювальна апаратура, в свою чергу, має бути під'єднана до ПЛК і постійно надсилати уніфікований або інший тип сигналу, чиє значення буде відповідати реальним показникам на об'єкті.

На рівні контролерної автоматизації знаходиться сам ПЛК Unitronics Unistream та обладнання, яке йому необхідне для коректного функціонування. В цьому конкретному випадку до нього було додано модуль розширення для збільшення кількості аналогових входів. На цьому рівні оброблюються дані, які було отримано від вимірювальної апаратури, на їх основі відбувається розрахунок та прийняття рішень по зміні стану виконавчої апаратури. У

										Арк.
										22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

ТА-92418.0002.001.АТХ.П

випадку необхідності, контролер формує вихідний сигнал заданого типу з відповідної клеми та надсилає його на виконавчу апаратуру. Сигнал, що надсилається, має бути налаштовано саме на конкретний вид апаратури, оскільки неправильне перетворення сигналу може призвести до некоректної роботи. Також це стосується і сигналу, що приймається.

Між супервізорним і контролерним рівнями знаходиться граничний пристрій, чю роль виконує комбінований мікроконтролер M5Stack [8] з модулем розширення для комунікації з використанням інтерфейсу Ethernet або RS485. Даний пристрій дозволяє отримувати дані з ПЛК використовуючи інтерфейс Ethernet, RS485 або WiFi. В цьому конкретному технологічному комплексі було використано протокол передачі даних ModbusTCP для взаємодії між ПЛК та граничним пристроєм. Даний протокол має простий та зрозумілий формат повідомлень, що робить його легким у використанні та розумінні. Це дозволяє швидко налагоджувати та інтегрувати пристрої, які підтримують цей протокол. Також, завдяки розподіленій архітектурі ModbusTCP, з'являється можливість збільшити масштабованість системи за рахунок підключення багатьох пристроїв до одного граничного, а також забезпечити спільний доступ до пристроїв з різних мереж. M5Stack постійно опитує ПЛК та вичитує дані з нього, після чого форматує їх у зручну форму та надсилає на мережевий маршрутизатор через WiFi мережу. Додатково, присутня можливість підключення хмарного сервісу типу "Publisher-Subscriber" для віддаленого моніторингу та зміни параметрів без використання операторської системи. Це також підвищує рівень захисту, оскільки доступ до брокеру можна налаштовувати будь яким чином.

На супервізорному рівні знаходяться системи візуалізації, контролю та архівування даних. Сюди надходять оброблені дані з граничного пристрою (або у разі його відсутності, напряду з ПЛК), після чого виводяться на екрани візуалізації для операторів, відправляються до систем планування та менеджменту ресурсів рівня підприємства, архівуються для створення історичних звітів та подальшого налаштування у випадку необхідності.

					<i>TA-92418.0002.001.ATX.П</i>	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.7 Перелік і аналіз джерел техніко-економічної ефективності АСК ТОВ

Джерелами економічної ефективності є зменшення витрати газу модулем. Також покращення якості стабілізації температури води на виході з пальників, що в свою чергу також призводить до зменшення витрати газу. Джерелами економічної ефективності для функції аварійного захисту, яка виконується шляхом контролю тиску газу є збільшення швидкості реагування на аварію та підвищення захисту системи, що призводить до зменшення зносу та більш тривалого експлуатаційного терміну. Джерелами економічної ефективності для функції аварійного захисту за рахунок контролю тиску теплоносія в контурі зворотної води є підвищення рівня захисту системи взагалом та збільшення експлуатаційного терміну використання.

Джерела економічної ефективності для інформаційних функцій полягають в збільшенні якості керування за рахунок вимірювання температури зовнішньої середовища, що дозволяє зменшити витрати газу в теплі пори року.

					<i>ТА-92418.0002.001.АТХ.П</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		24

РОЗДІЛ 2. ІНЖЕНЕРНИЙ РОЗРАХУНОК САР

2.1 Інженерний розрахунок вимірювальних каналів САР

2.1.1 Перелік вимірювальних каналів

В АСУТП конденсаційним модулем нагріву наявні наступні вимірювальні канали:

- вимірювання температури води на виході з модуля нагріву;
- вимірювання температури води на вході в модуль нагріву;
- вимірювання температури зовнішнього повітря;
- вимірювання температури продуктів згоряння на виході з модуля нагріву;
- вимірювання швидкості обертання вентилятора;

2.1.2 Схеми структурні вимірювальних каналів

Структура ВК ІВС температури води на вході в модуль нагріву, на виході з модуля нагріву, температури продуктів згоряння на виході з модуля нагріву t , °С (Рис. 2.1):

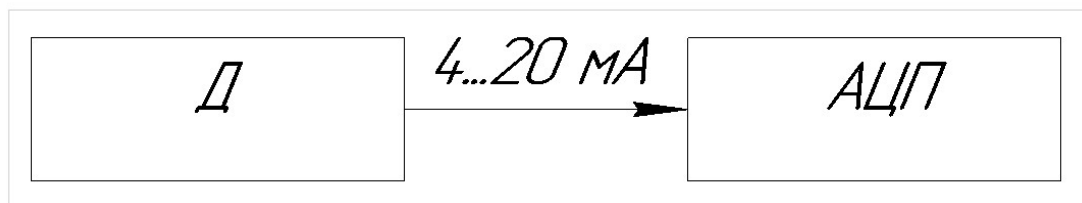


Рисунок 2.1 - Структура ВК ІВС температури

Д – термометр опору Pt100 з уніфікованим вихідним сигналом 4...20мА.

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач.

Вимірювання буде відбуватись термометром опору з робочим діапазоном від -50 до 250 °С, з класом точності 0.5 %, уніфікованим вихідним сигналом 4..20 мА, двопровідною схемою підключення.

					ТА-92418.0002.001.АТХ.П	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для цього використовуємо термометр опору ТЕРА ТСП-У-1-3-Pt100-0,5%-2-250-6-M20x1.5-40-A-100-ТТ-/-50....250/-КА.

Вимірювання швидкості обертання вентилятору ЕВМ PAPST NRV137 виконується за рахунок зчитування показників вбудованого в вентилятор давача Холла з другої клеми інтерфейсу підключення.

Структура ВК ІВС температури зовнішнього повітря t , °С (Рис. 2.2):

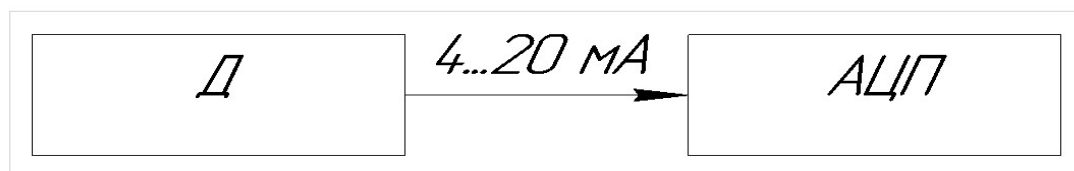


Рисунок 2.2 - Структура ВК ІВС температури

Д – перетворювач температури повітря з уніфікованим вихідним сигналом 4...20мА.

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач.

Вимірювання буде відбуватись термометром опору з робочим діапазоном від -50 до +100 °С, з класом точності 0.5%, уніфікованим вихідним сигналом 4..20 мА, двопровідною схемою підключення.

Для вимірювання температури використовуємо термоперетворювач опору ТЕРА ТСП-У-2-10г-Pt100-0,5%-2-30-6-M4-Z-ТТ-/-50....100/-КА.

2.1.3 Особливості електричних підключень давачів вимірювальних каналів

Підключення термоперетворювачів опору з вбудованим перетворювачем вимірюваного опору в уніфікований вихідний сигнал 4-20 мА для вимірювання температури води на вході в модуль нагріву, на виході з модуля нагріву, температури продуктів згоряння на виході з модуля нагріву виконується за двопровідною схемою підключення. Підключення відбувається до клеми введення струмового аналогового сигналу (Рис. 2.3).

					ТА-92418.0002.001.АТХ.П	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

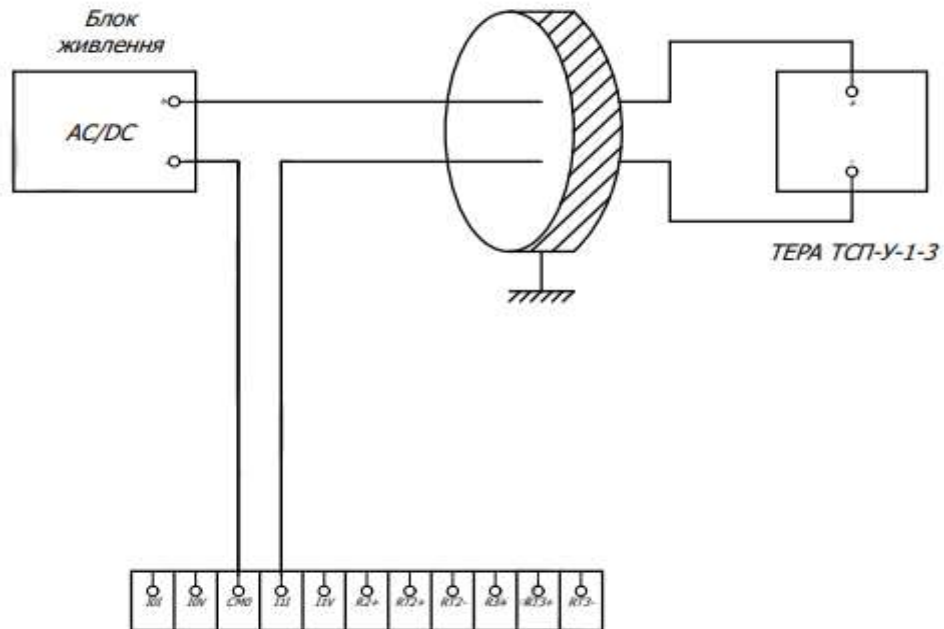


Рисунок 2.3 - Схема принципова електрична ІВС температури

Підключення термоперетворювачів опору для вимірювання температури зовнішнього повітря виконується за двопровідною схемою підключення. Підключення відбувається до клеми введення струмового аналогового сигналу (Рис. 2.4).

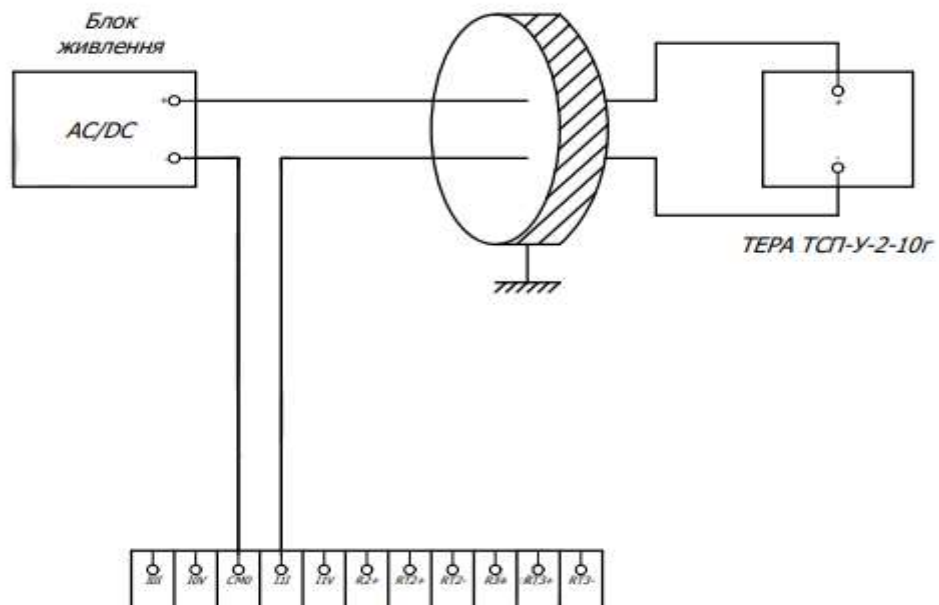


Рисунок 2.4 - Схема принципова електрична ІВС температури зовнішнього повітря

2.1.4 Монтаж технічних засобів вимірювальних каналів

Зовнішній вигляд термоперетворювачів опору ТЕРА ТСП-У-1-3 для вимірювання температури води та продуктів згоряння на виході з модуля (Рис. 2.5)

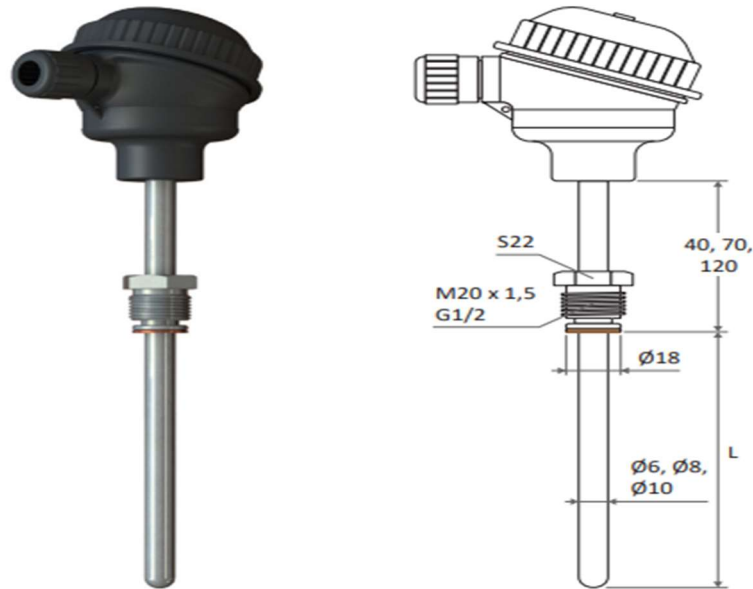


Рисунок 2.5 - Термоперетворювач опору ТЕРА ТСП-У-1-3

Монтаж термоперетворювачів опору для вимірювання температури води на вході в модуль нагріву, на виході з модуля нагріву, температури продуктів згоряння на виході з модуля нагріву відбувається за наступною схемою: (Рис. 2.6)

					<i>TA-92418.0002.001.ATX.П</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Межа основної приведенної похибки каналу давач-контролер: $\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_{\text{д}}^2 + \varepsilon_{\text{ПЛК}}^2} = \sqrt{0.5^2 + 0.05^2} = 0.502\%$

Межа абсолютної похибки:

• давача: $\Delta_{\text{д}} = \varepsilon_{\text{д}}(X_{\text{max}} - X_{\text{min}}) \frac{1}{100} = 0.5(250 + 50) \frac{1}{100} = 1.5^{\circ}\text{C}$

• контролера: $\Delta_{\text{ПЛК}} = \varepsilon_{\text{ПЛК}}(X_{\text{max}} - X_{\text{min}}) \frac{1}{100} = 0.05(250 + 50) \frac{1}{100} = 0.15^{\circ}\text{C}$

• каналу давач-контролер: $\Delta = \sqrt{\Delta_{\text{д}}^2 + \Delta_{\text{ПЛК}}^2} = \sqrt{1.5^2 + 0.15^2} = 1.51^{\circ}\text{C}$

Результат розрахунків за каналом давач-контролер:

$$X_{\text{д-ПЛК}} = x \pm \Delta_{\text{ПЛК}} = x \pm 1.51^{\circ}\text{C}$$

Отримані значення похибок вимірювання менші 2°C , тому можемо зробити висновок, що підібране обладнання задовольняє задану точність вимірювання.

Для температури зовнішнього повітря, можемо знехтувати похибкою вимірювання до 1°C .

Метрологічний розрахунок для ВК САР температури зовнішнього повітря:

Межа основної приведенної похибки давача: $\varepsilon_{\text{д}} = 0.5\%$

Межа основної приведенної похибки контролера: $\varepsilon_{\text{ПЛК}} = 0.05\%$

Межа основної приведенної похибки каналу давач-контролер: $\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_{\text{д}}^2 + \varepsilon_{\text{ПЛК}}^2} = \sqrt{0.5^2 + 0.05^2} = 0.502\%$

Межа абсолютної похибки:

• давача: $\Delta_{\text{д}} = \varepsilon_{\text{д}}(X_{\text{max}} - X_{\text{min}}) \frac{1}{100} = 0.5(100 + 50) \frac{1}{100} = 0.75^{\circ}\text{C}$

• контролера: $\Delta_{\text{ПЛК}} = \varepsilon_{\text{ПЛК}}(X_{\text{max}} - X_{\text{min}}) \frac{1}{100} = 0.05(100 + 50) \frac{1}{100} = 0.075^{\circ}\text{C}$

• каналу давач-контролер: $\Delta = \sqrt{\Delta_{\text{д}}^2 + \Delta_{\text{ПЛК}}^2} = \sqrt{0.75^2 + 0.075^2} = 0.753^{\circ}\text{C}$

Результат розрахунків за каналом давач-контролер:

$$X_{\text{д-ПЛК}} = x \pm \Delta_{\text{ПЛК}} = x \pm 0.753^{\circ}\text{C}$$

					<i>ТА-92418.0002.001.АТХ.П</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Отримані значення похибок вимірювання менші 1°C, тому можемо зробити висновок, що підібране обладнання задовольняє задану точність вимірювання.

2.1.8 Розрахунок надійності вимірювальних каналів

Розрахуємо надійність ВК температури води на виході з модуля нагріву:

Інтенсивність відмов, 1/год:

- Давача: $\lambda_d = \frac{1}{70000} = 1.42 * 10^{-5}$
- Контролера: $\lambda_{плк} = \frac{1}{80000} = 1.25 * 10^{-5}$

Середній час напрацювання на відмову, год:

- Давача: $T_{ср,д} = 70000$ год
- Контролера: $T_{ср,плк} = 80000$ год

За каналом давач-контролер: $T_{ср} = \frac{T_{ср,д} * T_{ср,плк}}{T_{ср,д} + T_{ср,плк}} = \frac{70000 * 80000}{70000 + 80000} = 37333$ год

Розрахуємо надійність ВК температури зовнішнього повітря:

Інтенсивність відмов, 1/год:

- Давача: $\lambda_d = \frac{1}{50000} = 2 * 10^{-5}$
- Контролера: $\lambda_{плк} = \frac{1}{80000} = 1.25 * 10^{-5}$

Середній час напрацювання на відмову, год:

- Давача: $T_{ср,д} = 50000$ год
- Контролера: $T_{ср,плк} = 80000$ год

За каналом давач-контролер: $T_{ср} = \frac{T_{ср,д} * T_{ср,плк}}{T_{ср,д} + T_{ср,плк}} = \frac{50000 * 80000}{50000 + 80000} = 30769$ год

Ймовірність безвідмовної роботи ВК за місяць:

За каналом давач-реєстратор:

$$P_{t-рп}(720) = e^{-\tau/T_{ср}} = e^{-720/37333} = 0.98$$

$$P_{t \text{ зовн-РП}}(720) = e^{-\tau/T_{\text{ср}}} = e^{-720/30769} = 0.967$$

2.1.9 Функції первинної обробки даних вимірювання в ПЛК

Первинна обробка вимірювальних даних в ПЛК відбувається в залежності від типу вхідного сигналу. Для обробки вхідних аналогових сигналів використовується аналогово-цифровий двійковий АЦП, який вбудовано в ПЛК. Далі, після отримання числового еквіваленту вимірюваного струмового або напруженого сигналу, виконуємо лінійну інтерполяцію з межами, які встановлюються для кожного аналогового давача окремо, в залежності від його меж вимірювання. Після перетворення сигналу, маємо можливість використовувати його в подальшій програмі керування.

Для обробки дискретного сигналу, який приходить на відповідний дискретний вхід ПЛК, використовуються булеві змінні, які приймають лише значення TRUE/FALSE.

2.1.10 Висновок щодо роботоздатності вимірювальних каналів САР

Вимірювальні канали задовольняють заданій точності вимірювання, оскільки їх похибки вимірювання не виходять за межі допустимих значень. Також варто зазначити, що час напрацювання на відмову вимірювального обладнання та ймовірність безвідмовної роботи вимірювальних каналів достатні для якісної роботи автоматизованої системи керування.

2.2 Інженерний розрахунок регульовально-виконавчих каналів САР

2.2.1 Перелік систем автоматичного регулювання

Автоматизована система керування конденсаційним модулем нагріву має одну систему автоматичного регулювання, а саме САР температури води на виході з котла.

Вищезазначена САР є одноконтурною, оскільки регулювання відбувається лише за одним параметром, а саме за температурою води на виході з модуля.

					<i>ТА-92418.0002.001.АТХ.П</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Оскільки регулювання відбувається методом зміни швидкості обертання вентиляторів, які подають газоповітряну суміш на пальники, немає необхідності в створенні релейної САР.

Завданням для даної САР є уставка температури води на виході з модуля нагріву.

Регульованим параметром є температура води на виході з модуля нагріву.

Регулюючим органом є вентилятор, зміна швидкості обертання якого змінює кількість газоповітряної суміші на вході в пальник, що в свою чергу збільшує чи зменшує температуру води на виході з модуля нагріву.

Управляючою функцією є одноконтурна стабілізація температури води на виході з модуля нагріву шляхом зміни швидкості обертання вентилятора, який встановлено перед пальниками.

2.2.2 Функціональна і структурна схеми САР

Наведемо схему структурну САР температури води на виході з модуля нагріву (Рис. 2.9).

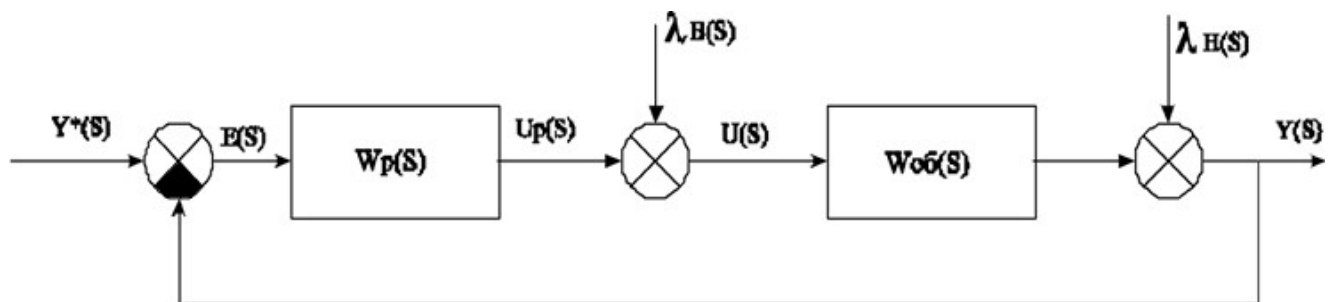


Рисунок 2.9 - Схема структурна САР

Де s – оператор Лапласа (оператор диференціювання d/dt);

$W_{об}(s)$ – передавальна функція температури води на виході з модуля нагріву (ОУ). $Y(s) = W_{об}(s) \times U(s)$;

$W_p(s)$ – передавальна функція регулятора (РЕГ). $U_p(s) = W_p(s) \times E(s)$;

$Y^*(s)$ – задане значення (уставка) температури води на виході з модуля нагріву (Set Value – SV).

$Y(s)$ – поточне виміряне значення температури води на виході з модуля нагріву (Process Value – PV).

$E(s) = [Y^*(s) - Y(s)]$ – розбаланс температури води на виході з модуля нагріву (Error Value – EV).

$U_p(s)$ – управляюча дія регулятора температури води на виході з модуля нагріву (Control Value – CV) – задане положення регулюючого органу РО.

$U(s)$ – управляюча дія на ОУ – витрата енергоносія з урахуванням збурення (ZV).

$\lambda_v(s)$ – сигнальне збурення зі сторони РО (зміна калорійності палива при постійній витраті палива внаслідок подачі газу з іншою хімічною формулою; тощо). Позначається як DV – Disturbance Value.

$\lambda_n(s)$ – сигнальне збурення зі сторони навантаження (зміна продуктивності технологічного агрегату; зміна теплообміну з навколишнім середовищем внаслідок закриття або відкриття дверей і вікон, зміни температурних і атмосферних умов навколишнього середовища).

Наведемо схему функціональну САР температури води на виході з модуля нагріву (Рис. 2.10),

					<i>ТА-92418.0002.001.АТХ.П</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

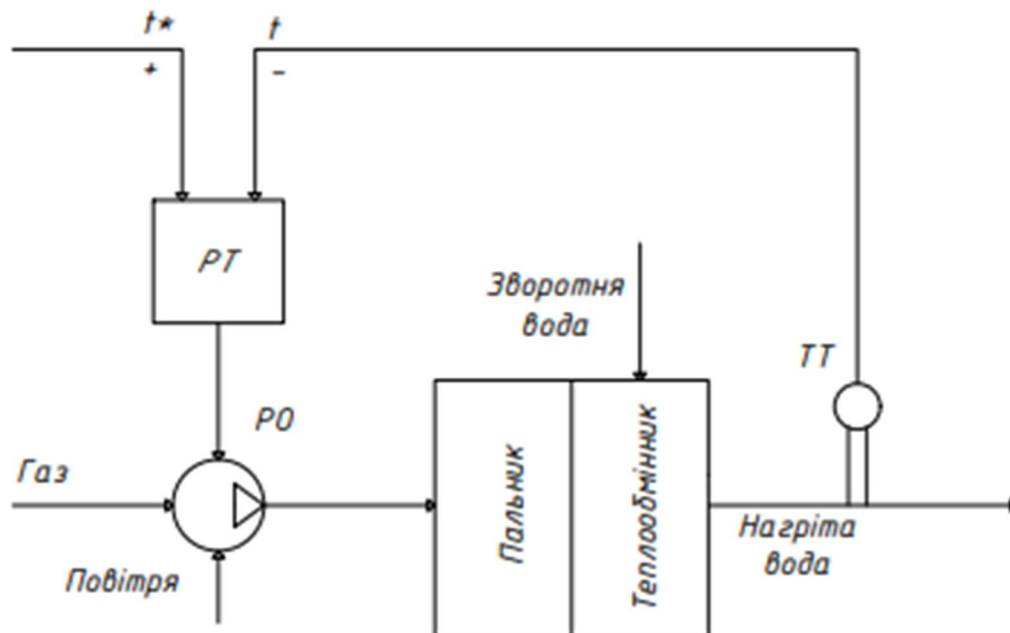


Рисунок 2.10 - Схема функціональна САР температури води на виході з модуля нагріву

де t – поточна виміряна температура,

t^* – задана температура (уставка);

ТТ – терморетворювач опору;

РО – регулюючий орган, вентилятор;

РТ – регулятор температури.

2.2.3 Схема структурна регульовально-виконавчого каналу САР

Наведемо схему структурну регульовально-виконавчого каналу САР температури води на виході з модулю нагріву (Рис. 2.11)

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ТА-92418.0002.001.АТХ.П

Арк.

36

де Д – термоперетворювач опору з уніфікованим вихідним сигналом 4-20 мА,

АЦП – модуль аналого-цифрового перетворення,

SV – Set Value, уставка температури води на виході з модуля нагріву,

PV – Process Value, поточна температура води на вході в модуль нагріву,

ФБ РЕГ – функціональний блок ПІД-регулятора.

Для передачі даних з ПЛК використовується граничний пристрій, який отримує та відправляє дані використовуючи інтерфейс Ethernet та протокол Modbus-TCP, обробляє та відсилає дані на SCADA систему, яка формує запити для зміни СУБД та відсилає дані на MQTT-брокер за рахунок формування JSON-повідомлення.

2.2.5 Схема структурна надійності реалізації управляючої функції САР

Наведемо схему структурну надійності реалізації управляючої функції САР температури води на виході з модуля нагріву (Рис. 2.13):

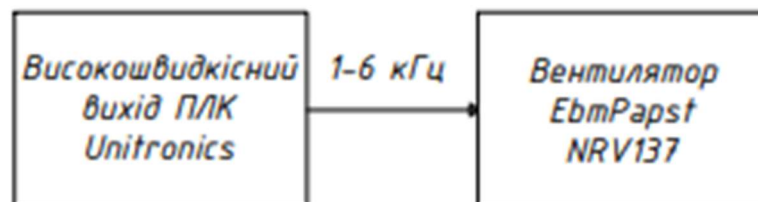


Рисунок 2.13 - Схема структурна надійності реалізації управляючої функції САР

2.2.6 Розрахунок надійності реалізації управляючої функції САР

Задамо середній час напрацювання на відмову $T_{\text{ср}}^* = 60\,000$ год та коефіцієнт готовності $K_{\text{гот}} = 0,9995$.

Середній час напрацювання на відмову приладів:

$$T_{\text{ср}}^{\text{конт}} = 250\,000 \text{ год}$$

					ТА-92418.0002.001.АТХ.П	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38



Рисунок 2.16 - Графік зміни температури води на виході з моменту зміни уставки до стабілізації параметра

Як бачимо, лінія тренду має значення відхилення приблизно 0.98, що дуже близько до одиниці, а отже, можемо використовувати формулу для отримання апроксимованих значень перехідного процесу. Перехідний процес буде апроксимовано аперіодичною ланкою першого порядку. Наведемо графік апроксимованих значень, з якого буде отримано параметри передавальної функції (Рис. 2.17).

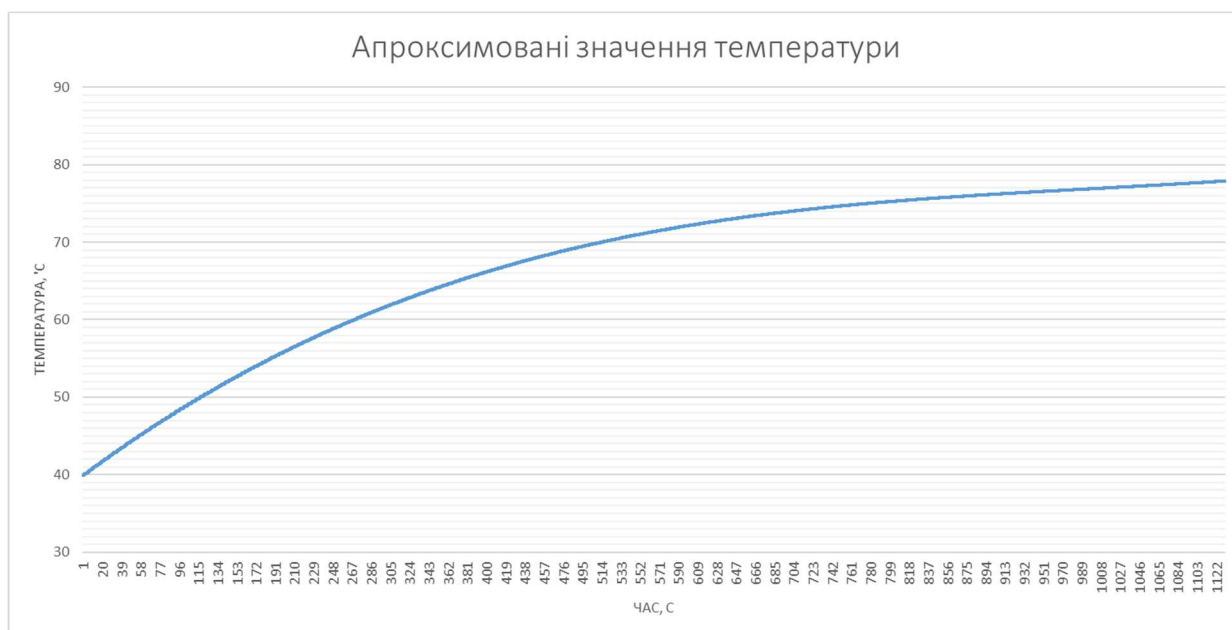


Рисунок 2.17 - Апроксимовані значення температури

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ТА-92418.0002.001.АТХ.П

Арк.

41

Далі апроксимуємо отриману характеристику аперіодичною ланкою першого порядку методом логарифмування. Для цього додамо дві прямих температур (Рис. 2.18), чії значення отримуємо з формул $t_A = f(0.33K_{об})$, $t_B = (f0.7K_{об})$, а також розрахуємо параметри ланки за формулами: $T = 1.25 \cdot (t_B - t_A)$, $\tau = 0.5 \cdot (3t_A - t_B)$.

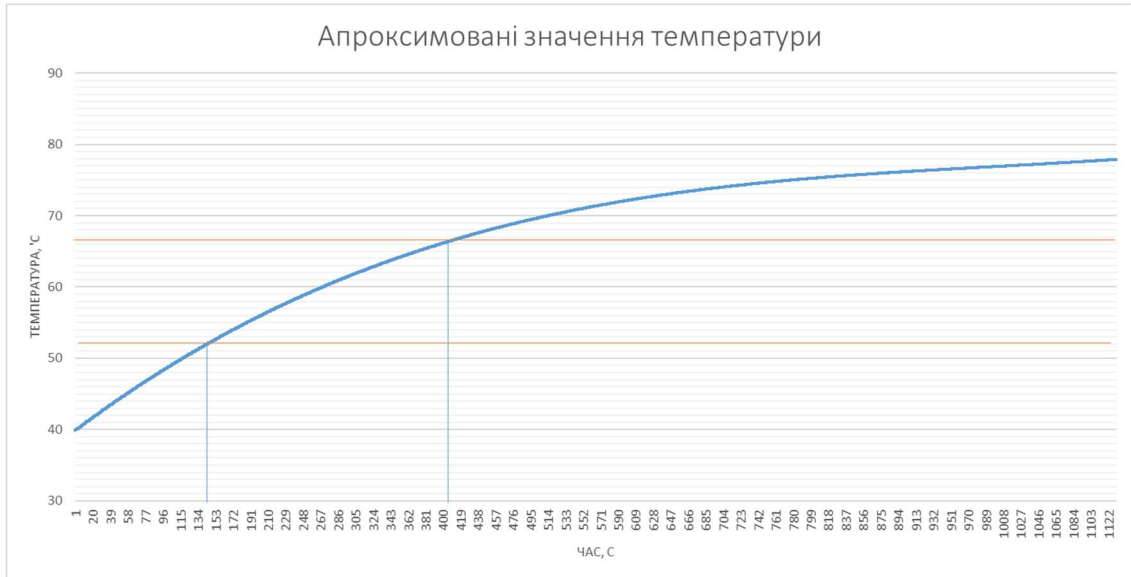


Рисунок 2.18 - Графік з доданими прямими температур t_A, t_B

З отриманого графіка на рисунку 2.18 отримали такі значення для моделі, що описує зміну температури води на виході з пальника:

$$K_{об} = \frac{(78 - 38)^\circ\text{C}}{(80)\%BM} = 0.5 \frac{^\circ\text{C}}{\%BM}$$

$$t_A = f(0.33K_{об}) = 145 \text{ с}$$

$$t_B = (f0.7K_{об}) = 402 \text{ с}$$

$$T = 1.25 \cdot (t_B - t_A) = 1.25 \cdot (402 - 145) = 321.3\text{с}$$

$$\tau = 0.5 \cdot (3t_A - t_B) = 0.5 \cdot (3 \cdot 145 - 402) = 16.5\text{с}$$

Таким чином, отримали параметри передавальної функції моделі об'єкту, яка має вид:

$$W(p) = \frac{K_{об}}{T \cdot s + 1} e^{-\tau s} = \frac{0.5}{321.3 \cdot s + 1} e^{-16.5s}$$

2.2.8 Розрахунок регуляторів САР

Отримаємо параметри регулятора для одноконтурної САР температури води на виході з модуля нагріву, чия передавальна функція виглядає наступним чином:

$$W(p) = \frac{0.5}{321.3 \cdot s + 1} e^{-16.5s}$$

Регулятор має забезпечувати аперіодичний перехідний технологічний процес, що означає відсутність перерегулювання та коливань, а також має забезпечувати найшвидший час регулювання.

Для цього, побудуємо об'єкт в середовищі Matlab Simulink (Рис. 2.19).

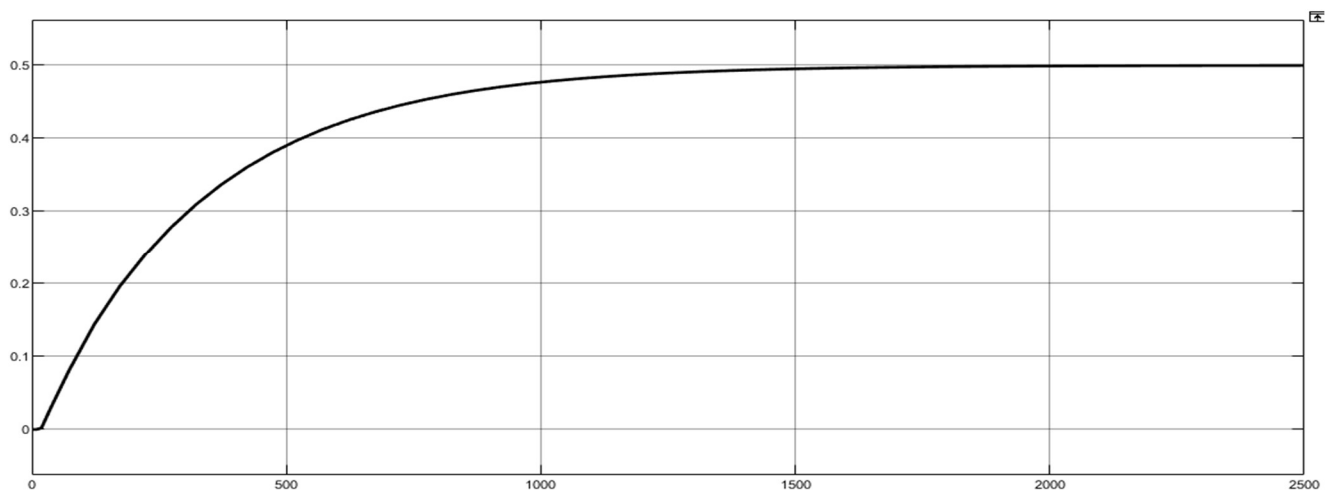


Рисунок 2.19 - Крива розгону для контуру регулювання температури

Параметри регулятора обчислюємо за допомогою методу РАФХ, оскільки він дозволяє отримати ступінь затухання наближену до одиниці, що є необхідним для аперіодичного процесу. Визначимо ступінь коливальної стійкості m за якого ступінь затухання $\psi = 0.995$.

$$\psi = 1 - e^{-2\pi m}$$

$$e^{-2\pi m} = 1 - \psi$$

$$\ln(e^{-2\pi m}) = \ln(1 - \psi)$$

$$-2\pi m = \ln(1 - \psi)$$

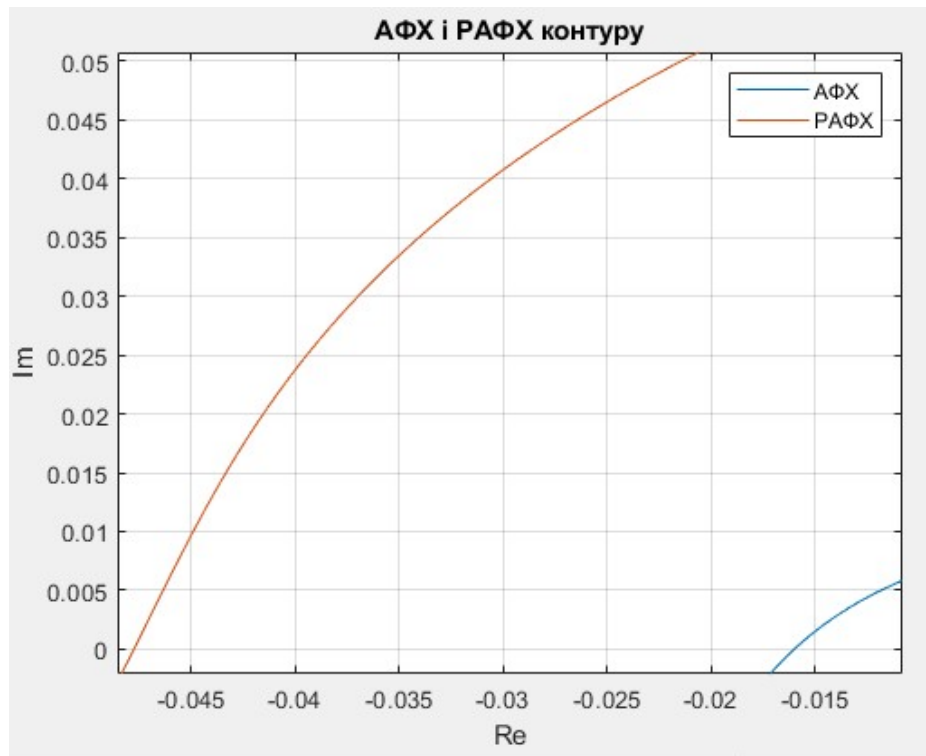


Рисунок 2.21 - Перетин АФХ і РАФХ з дійсною віссю

Розрахуємо параметри налаштувань для регулятора. Для побудови кривої заданого ступеня коливальності (рис. 2.22) скористаємось формулами для визначення параметрів ПІ-регулятора. Запишемо код для побудови кривої коефіцієнтів в середовищі Matlab:

```
w = 0 : 0.0001 : 0.5;
p = -m .* w + 1 .* j .* w;
m = 0.84;
W = (0.5 .* exp(-16.5 .* p)) ./ (321.3 .* p + 1);
Re = real(W);
Im = imag(W);
Kp = - (m .* Im + Re) ./ (Im .^2 + Re .^2);
Ki = -w .* (m .^2 + 1) .* Im ./ (Im .^2 + Re .^2);
plot (Kp, Ki, '-k');
xlabel ( 'Kp' );
ylabel ( 'Ki' );
grid on;
title ('Крива коефіцієнтів');
```

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

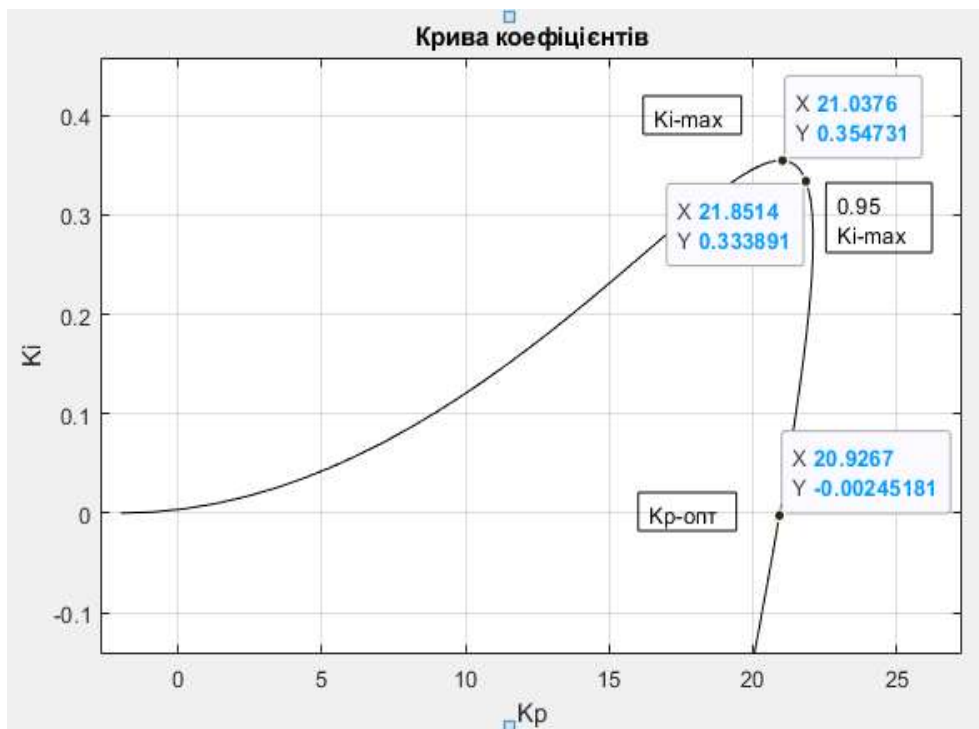


Рисунок 2.22 - Крива заданого степеня коливальності з позначеними точками K_{i_max} (максимальне значення K_i), $0,95 \cdot K_{i_max}$, та K_{p_opt} (оптимальне значення K_p для П-регулятора)

Як оптимальні параметри регулятора обираємо значення параметрів при значенні K_i , яке дорівнює 0,95 від максимального значення K_i .

Таким чином, маємо наступні параметри регулятора ПІ-типу:

$$K_p = 21.85$$

$$K_i = 0.334$$

$$T_i = \frac{K_p}{K_i} = \frac{21.85}{0.334} = 64.41$$

Запишемо передавальну функцію для ПІ-регулятора:

$$W(p) = 21.85 \cdot \left(1 + \frac{1}{64.41s}\right)$$

Наступним кроком перевіримо правильність розрахунків за допомогою побудови АФХ і РАФХ розімкненої системи з доданим ПІ-регулятором (Рис. 2.23-2.24). Запишемо необхідний код в середовищі Matlab:

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

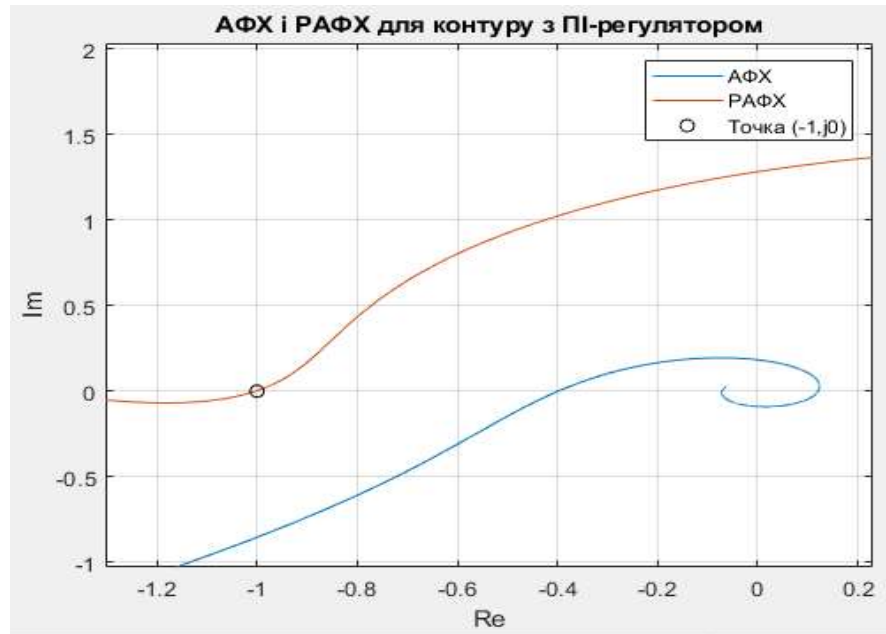


Рисунок 2.24 - Перетин АФХ і РАФХ з дійсною віссю

З отриманих рисунків можемо побачити, що РАФХ проходить через точку $(-1, j0)$, отже система була розрахована правильно і має ступінь коливальної стійкості, який ми бажали отримати.

Розрахуємо ПІ-регулятор також методом Ротача [9]. Для цього використаємо номограму (Рис. 2.25)

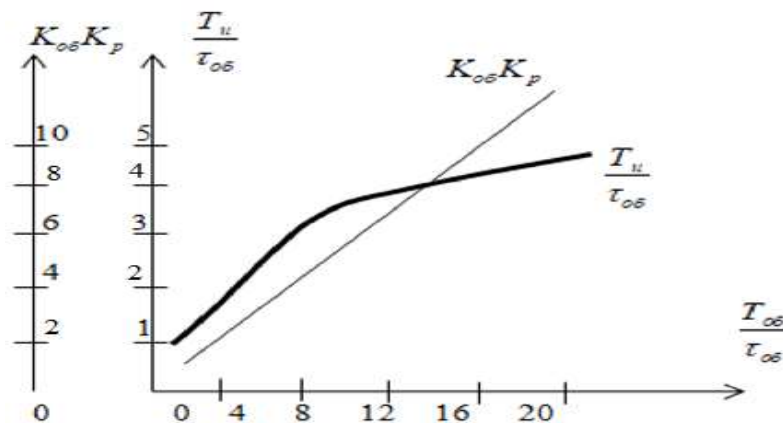


Рисунок 2.25 - Номограма для визначення параметрів регулятора методом Ротача

Отримано параметри налаштування ПІ регулятора за допомогою номограми:

$$K_p = 26$$

									Арк.
									48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

$$T_i = 74.25$$

Запишемо передавальну функцію для ПІ-регулятора:

$$W(p) = 26 \cdot \left(1 + \frac{1}{74.25s}\right)$$

Необхідно визначити найбільш оптимальні параметри ПІ-регулятора. Для цього визначимо показники якості системи з різними регуляторами.

Побудуємо графіки за каналом «завдання-вихід» для обох розрахованих регуляторів (Рис. 2.26-2.27).

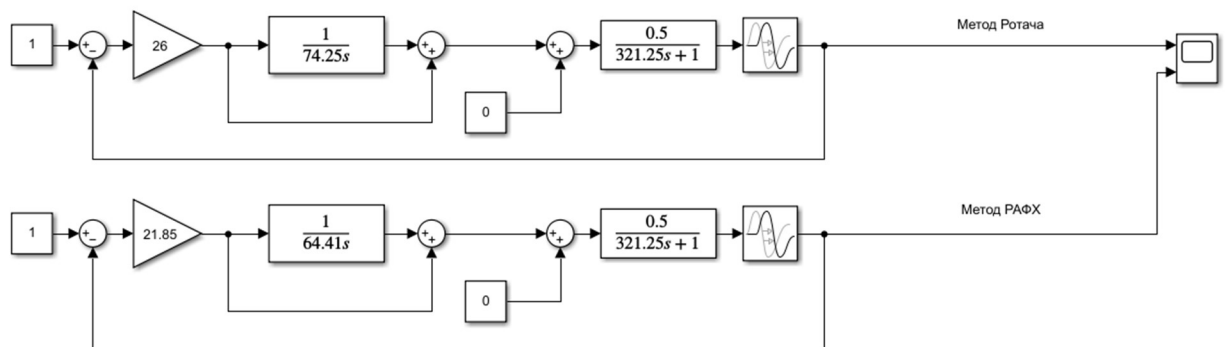


Рисунок 2.26 - Схема для отримання перехідних характеристик систем за каналом «завдання-вихід»

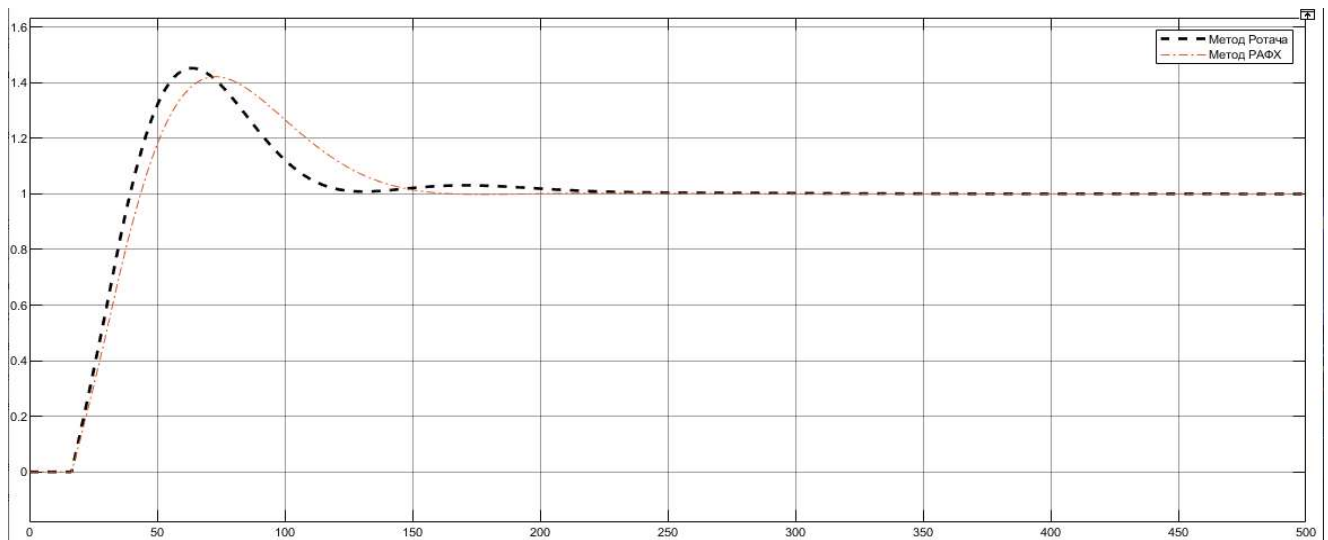


Рисунок 2.27 - Перехідні характеристики систем за каналом «завдання-вихід»

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Визначимо прямі показники якості за каналом «завдання-вихід» для регуляторів, розрахованих двома методами та внесемо їх до таблиці 2.1

Таблиця 2.1 – Прямі показники якості систем за каналом «завдання вихід»

Прямий показник якості	Метод РАФХ	Метод Ротача
Статична похибка $\Delta_{ст}$	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0.42	0.452
Перерегулювання σ , %	42	45.2
Ступінь затухання ψ	1	0.977
Час перехідного процесу $t_{пп}$, с	123	112

Оптимальними вважаємо показники, розраховані методом РАФХ, оскільки у порівнянні з методом Ротача, отримуємо меншу динамічну похибку, перерегулювання, а також більшу ступінь затухання. Різниця в часі перехідного процесу несуттєва для надання переваги параметрам, отриманим методом Ротача.

Побудуємо графіки за основним для даної САР каналом «збурення-вихід» для обох розрахованих регуляторів (Рис. 2.28 -2.29).

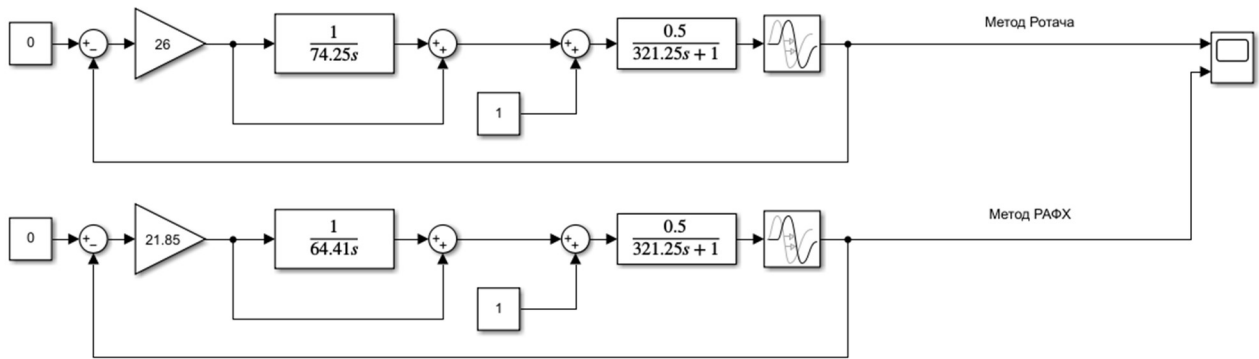


Рисунок 2.28 - Схема для отримання перехідних характеристик систем за каналом «збурення-вихід»

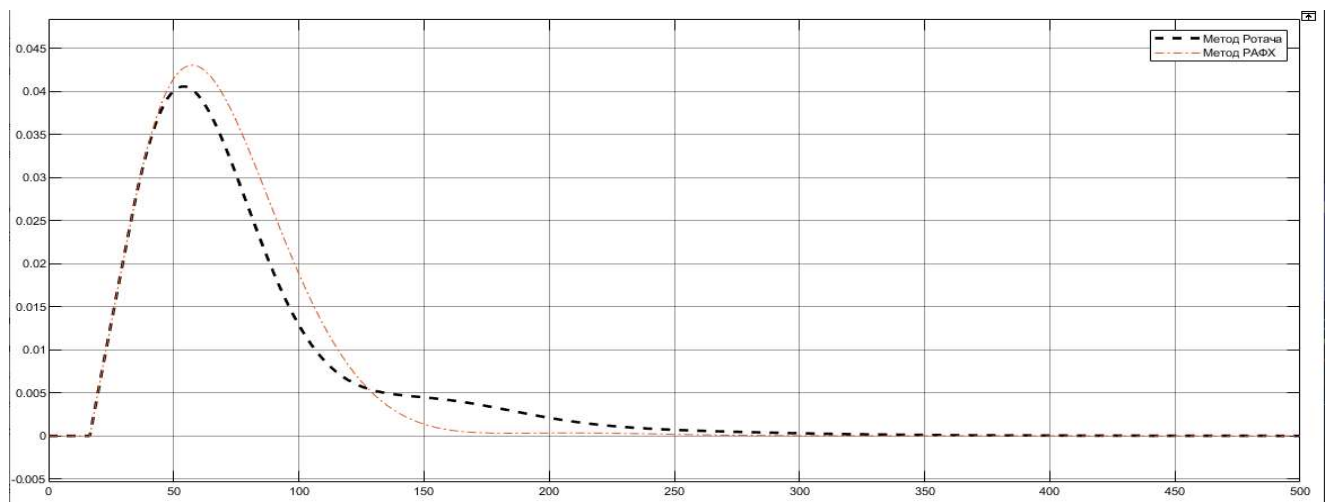


Рисунок 2.29 – Прямі показники якості систем за каналом «збурення-вихід»

Визначимо прямі показники якості за каналом «збурення-вихід» для регуляторів, розрахованих двома методами та внесемо їх до таблиці 2.2

Таблиця 2.2 – Прямі показники якості систем за каналом «збурення-вихід»

Прямий показник якості	Метод РАФХ	Метод Ротача
Статична похибка $\Delta_{ст}$	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0.043	0.041

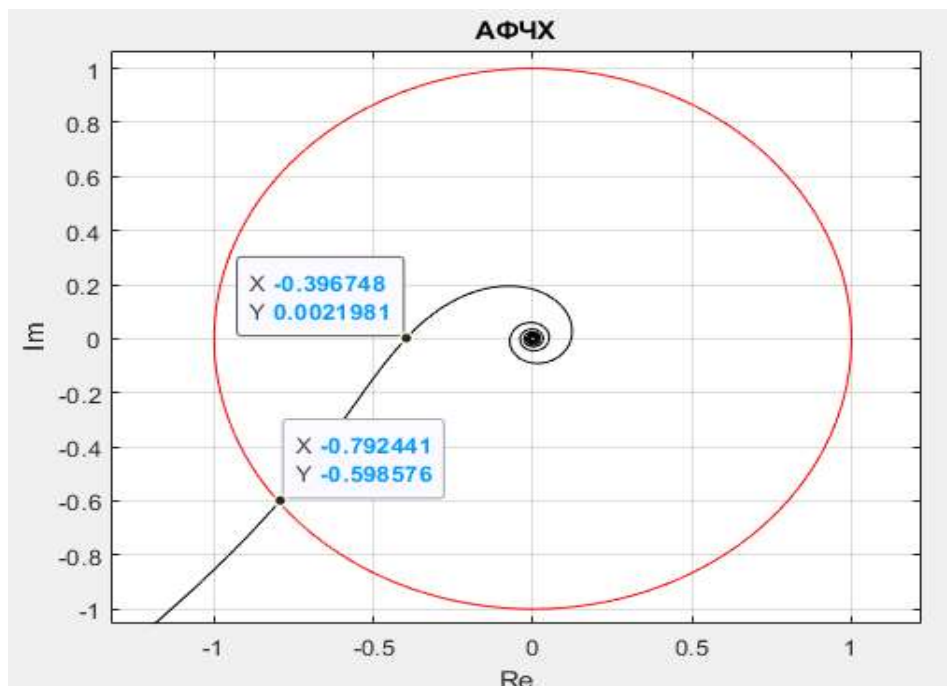


Рисунок 2.30 - Годограф АФЧХ для системи з ПІ-регулятором, параметри якого отримані методом РАФХ

З отриманого графіку визначимо запаси стійкості за фазою та за модулем.

Запас за фазою:

$$\beta = \arctg \left(\frac{\text{Im}(\omega)}{\text{Re}(\omega)} \right) \Bigg|_{A=1} = \arctg \left(\frac{-0.598}{-0.792} \right) = 37^\circ$$

Запас за модулем:

$$\Delta_M = |W_{PC}(j\omega) - 1| = |0.397 - 1| = 0.603$$

Побудуємо АФЧХ для системи з параметрами ПІ-регулятора, отримані методом Ротача (Рис. 2.31).

Код у Matlab:

```
w = 0.01 : 0.001 : 5;
p = 1 .* j .* w;
m = 0.84;
Wob = (0.5 .* exp(-16.5 .* p)) ./ (321.3 .* p + 1);
Kp = 26;
Ti = 74.25;
Wr = Kp .* (1 + 1 ./ (Ti .* p));
Wos = Wr .* Wob;
Re = real(Wos);
Im = imag(Wos);
plot(Re, Im, 'k');
xlabel('Re');
```

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

```

ylabel ( 'Im' );
grid on;
hold on;
ang = 0 : 0.001 : 2 .* pi;
x = cos (ang);
y = sin (ang);
plot (x, y, 'r');
title ("АФЧХ");

```

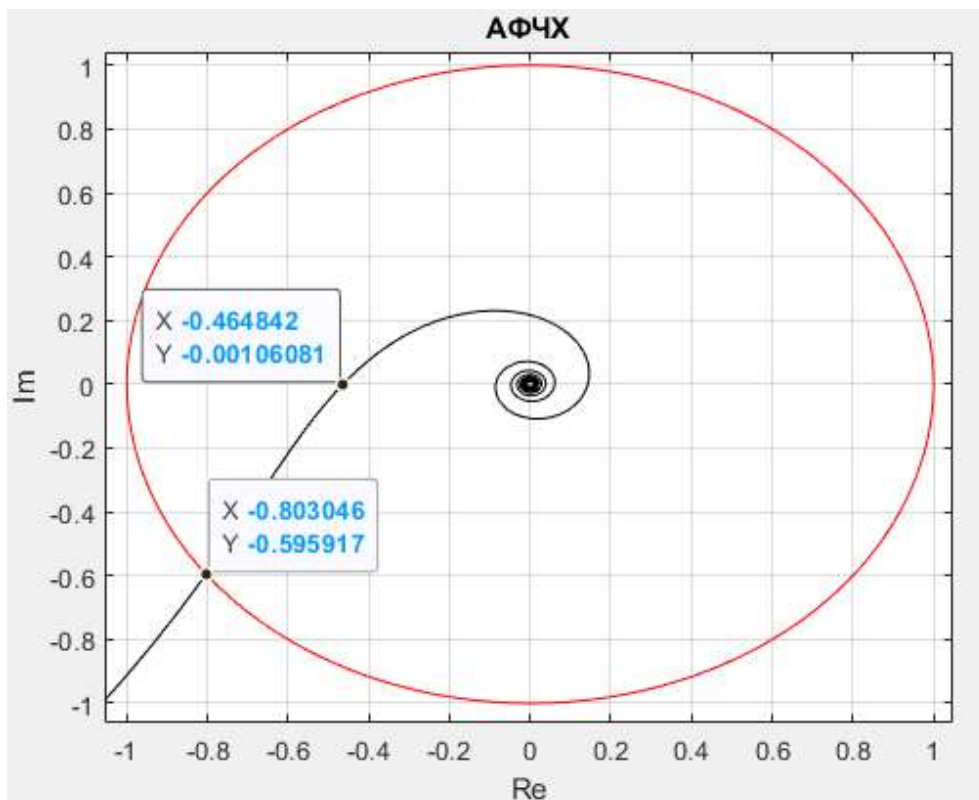


Рисунок 2.31 - Годограф АФЧХ для системи з ПІ-регулятором, параметри якого отримані методом Ротача

З отриманого графіку визначимо запаси стійкості за фазою та за модулем.

Запас за фазою:

$$\beta = \arctg \left(\frac{\text{Im}(\omega)}{\text{Re}(\omega)} \right) \Big|_{A=1} = \arctg \left(\frac{-0.596}{-0.803} \right) = 36^\circ$$

Запас за модулем:

$$\Delta_M = |W_{PC}(j\omega) - 1| = |0.464 - 1| = 0.536$$

Таблиця 2.3 – Прямі показники якості систем за каналом «збурення-вихід»

Частотний показник якості	Метод РАФХ	Метод Ротача
Запас за фазою $\beta, ^\circ$	37	36
Запас за модулем Δ_M	0.603	0.536

Параметри, отримані методом РАФХ, надають більший запас за модулем та за фазою.

Таким чином, для подальших розрахунків та подальшого використання було обрано наступні параметри ПІ-регулятора:

$$K_p = 21.85$$

$$T_i = 64.41 \text{ с}$$

Вид обраного ПІ-регулятора:

$$W(p) = 21.85 \cdot \left(1 + \frac{1}{64.41s}\right)$$

2.2.9 Функціональне моделювання САР

Виконаємо аналіз САР режимного параметру до параметричних збурень за рахунок зміни параметрів моделі об'єкту за каналом «збурення-вихід» методом визначення прямого критерія якості, а саме часу перехідного процесу і динамічної похибки. Варіювати будемо час транспортного запізнення та коефіцієнт передачі на $\pm 10\%$.

Побудуємо схеми для отримання перехідних характеристик за каналом «збурення-вихід» з варіацією коефіцієнта передачі (Рис. 2.32 – 2.33).

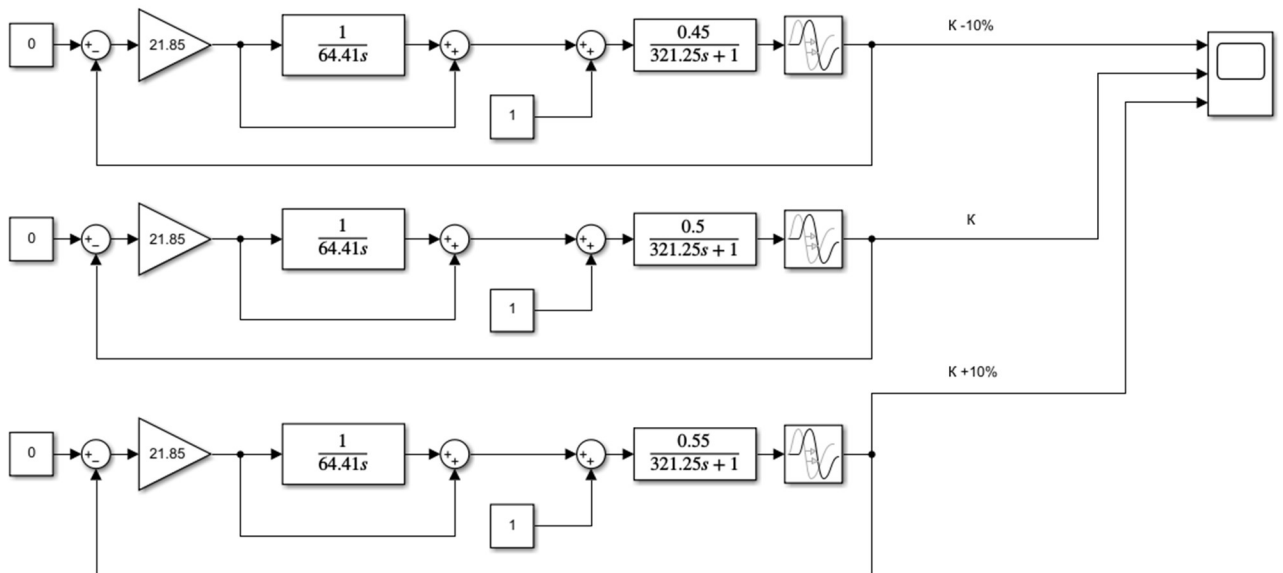


Рисунок 2.32 - Функціональні схеми перехідних характеристик з варіацією коефіцієнта передачі

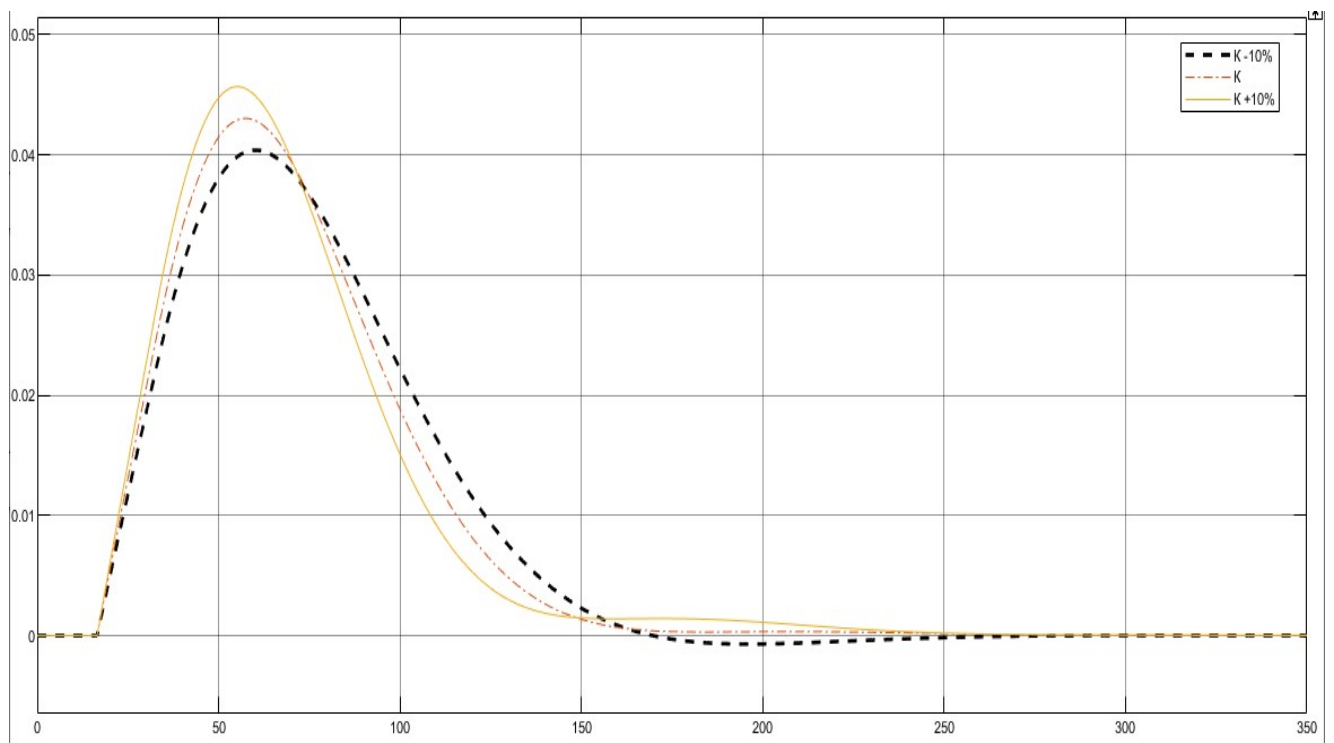


Рисунок 2.33 - Перехідні характеристики з варіацією коефіцієнта передачі

Визначимо прямі показники якості за каналом «збурення-вихід» та внесемо їх до таблиці 2.4

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Таблиця 2.4 – Порівняння прямих показників якості систем за каналом «збурення-вихід»

Прямий показник якості	К -10%	К	К +10%
Статична похибка $\Delta_{ст}$	0	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0.04	0.043	0.046
Перерегулювання σ , %	0	0	0
Ступінь затухання ψ	1	1	1
Час перехідного процесу $t_{пп}$, с	140	132	123

За ступенем затухання, перерегулюванням та статичною похибкою, система є нечутливою, оскільки зміни показників якості відсутні.

Далі необхідно побудувати функцію чутливості для часу перехідного процесу (Рис. 2.34).

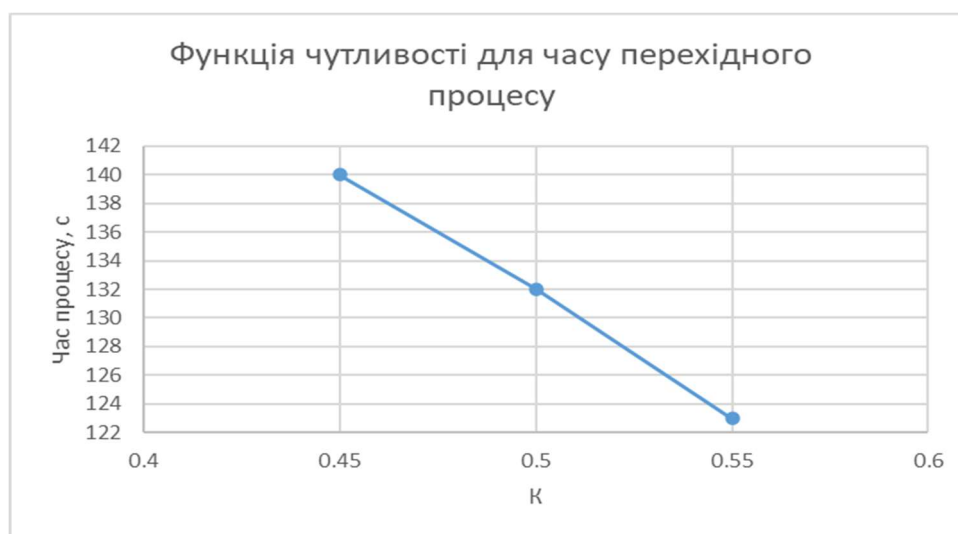


Рисунок 2.34 - Функція чутливості для часу перехідного процесу

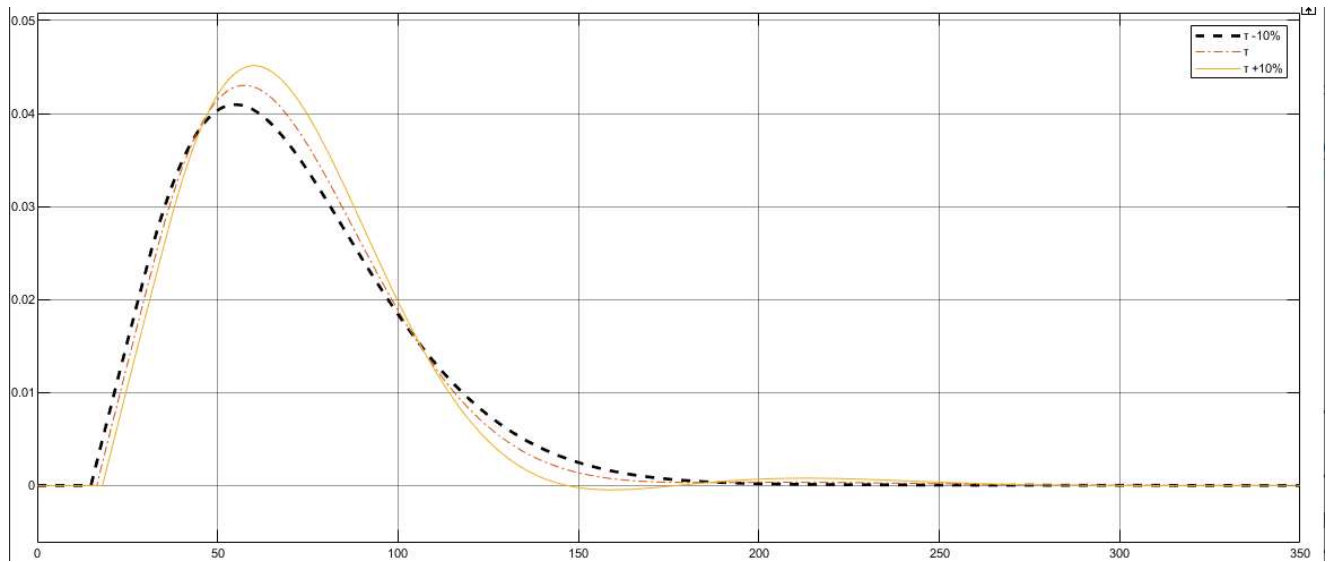


Рисунок 2.37 - Перехідні характеристики з варіацією часу транспортної затримки

Визначимо прямі показники якості за каналом «збурення-вихід» та внесемо їх до таблиці 2.5

Таблиця 2.5 – Порівняння прямих показників якості систем за каналом «збурення-вихід»

Прямий показник якості	$\tau - 10\%$	τ	$\tau + 10\%$
Статична похибка $\Delta_{ст}$	0	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0.041	0.043	0.045
Перерегулювання σ , %	0	0	0
Ступінь затухання ψ	1	1	1
Час перехідного процесу $t_{пп}$, с	125	132	139

За ступенем затухання, перерегулюванням та статичною похибкою, система є нечутливою, оскільки зміни показників якості відсутні.

Далі необхідно побудувати функцію чутливості для часу перехідного процесу (Рис. 2.38).

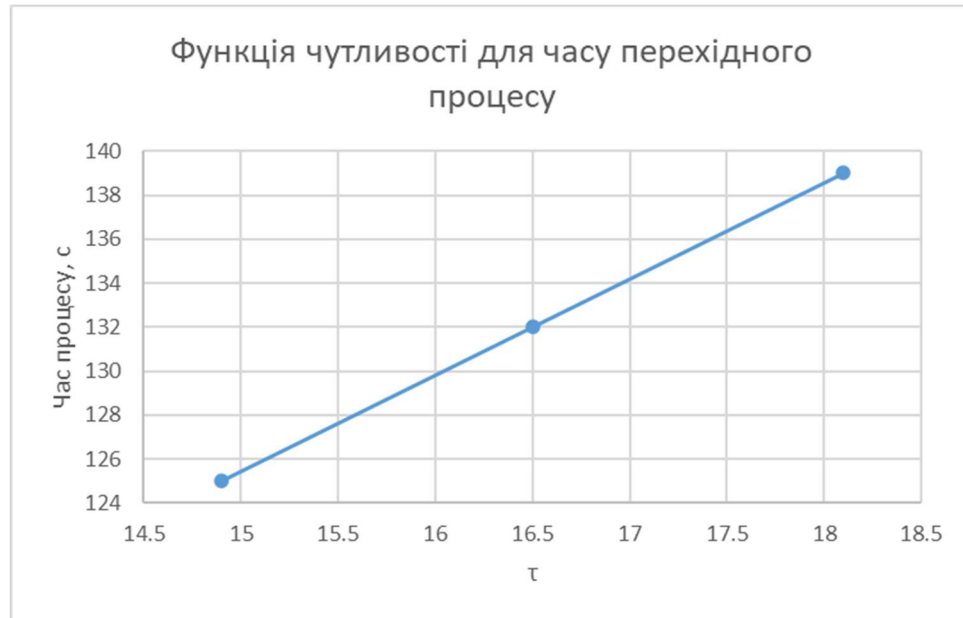


Рисунок 2.38 - Функція чутливості для часу перехідного процесу

Розрахуємо відносний коефіцієнт чутливості K_Z для часу перехідного процесу $t_{пп}$:

$$K_Z t_{пп=125} = \left| \frac{\frac{125 - 132}{132}}{\frac{14.9 - 16.5}{16.5}} \right| = 0.546$$

$$K_Z t_{пп=139} = \left| \frac{\frac{139 - 132}{132}}{\frac{18.1 - 16.5}{16.5}} \right| = 0.55$$

Далі необхідно побудувати функцію чутливості для динамічної похибки (Рис. 2.39).

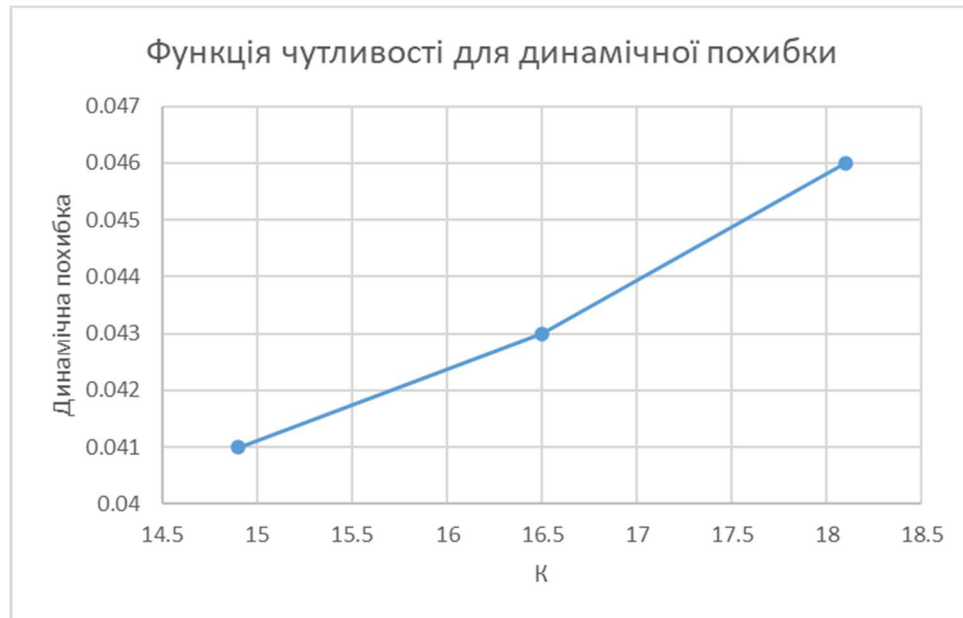


Рисунок 2.39 - Функція чутливості для часу перехідного процесу

Розрахуємо відносний коефіцієнт чутливості K_Z для динамічної похибки

$\Delta_{\text{дин}}$:

$$K_Z \Delta_{\text{дин}=0.041} = \left| \frac{\frac{0.041 - 0.043}{0.043}}{\frac{14.9 - 16.5}{16.5}} \right| = 0.45$$

$$K_Z \Delta_{\text{дин}=0.045} = \left| \frac{\frac{0.046 - 0.043}{0.043}}{\frac{18.1 - 16.5}{16.5}} \right| = 0.72$$

Зведемо всі коефіцієнти чутливості в одну таблицю для варіації обох параметрів системи в таблицю 2.6

Таблиця 2.6 – Порівняння відосних коефіцієнтів чутливості після варіації параметрів систем

Відносний коефіцієнт	К	τ
$K_Z \Delta_{\text{дин}-10\%}$	0.697	0.45
$K_Z \Delta_{\text{дин}+10\%}$	0.697	0.72
$K_Z t_{\text{ПП}-10\%}$	0.6	0.546
$K_Z t_{\text{ПП}+10\%}$	0.68	0.55

З отриманих коефіцієнтів чутливості можемо зробити висновок, що система є нечутливою. Це можемо побачити з коефіцієнтів чутливості, які не перевищують одиницю та чия зміна є несуттєвою.

2.2.10 Висновки щодо роботоздатності РВК САР

Регулювально-виконавчий канал системи автоматичного регулювання температури води на виході з модуля нагріву якісно виконує свої функції з використанням розрахованого ПІ-регулятора. Прямі показники якості є задовільними для умов даного проєкту. Варіаціями параметрів коефіцієнта підсилення об'єкта та часу транспортної затримки визначили, що САР є малочутливою до параметричних збурень. Середній час напрацювання на відмову перевищує заданий, тому САР та її технічна реалізація є надійною. За сумою цих факторів робимо висновок, що САР є роботоздатною.

					<i>ТА-92418.0002.001.АТХ.П</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		63

РОЗДІЛ 3. ОПИС ГРАФІЧНОЇ ЧАСТИНИ ПРОЄКТУ

3.1 Схема функціональна автоматизації ТОУ

Було розроблено функціональну схему автоматизації конденсаційного модуля нагріву, на якій відображено схематично сам об'єкт, його вхідні та вихідні потоки, їх напрямлення, електроапарати, трубопровідну арматуру, вимірювальну апаратуру та місця її встановлення, задіяні входи та виходи ПЛК, а також їх типи, місцеві прилади автоматизації, межі вхідних сигналів.

3.2 Схема структурна ПТК

Схема структурна ПТК розроблена з урахуванням особливостей об'єкту. На схемі зображено розташування апаратури та застосунків у відповідності до рівнів автоматизованого технологічного комплексу, а також інтерфейси, які було використано для міжрівневої комунікації.

3.3 Схема принципова електрична АСР

Схема принципова електрична АСР зображена у ТА-92418.0002.001.АТХ.Е.

Схема розроблена для розуміння способів та особливостей підключення обладнання до електромережі, вимірювальної та виконавчої апаратури до ПЛК та блоків живлення, а також місця встановлення захисної апаратури, автоматичних вимикачів, контакторів та іншого обладнання в електричному ланцюгу.

Було використано три блоки живлення з вихідною напругою 24 В та струмом 10 А з паралельним з'єднанням для забезпечення достатньої напруги для роботи всього обладнання без зміни напруги живлення.

У якості давачів температури було використано термоперетворювачі опору з уніфікованим вихідним сигналом 4-20 мА, які підключаються наступним чином: до клеми ST+ підключаємо живлення 24 В, клему ST- підключаємо до аналогового струмового входу ПЛК або блоку розширення введення аналогових

					<i>ТА-92418.0002.001.АТХ.П</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

сигналів. У якості давачів тиску було використано реле тиску, які під'єднано до дискретних входів ПЛК. Для отримання поточної швидкості обертання вентиляторів заведено сигнал з давача Хола на дискретний вхід ПЛК, який зконфігуровано як високошвидкісний дискретний вхід.

Для зміни швидкості обертання вентиляторів використовується ШІМ-сигнал, для отримання якого було під'єднано клему введення ШІМ-сигналу вентиляторів до дискретного виходу ПЛК, зконфігуровано як високошвидкісний вихід. Для вмикання або вимикання циркуляційних насосів використовуються контактори.

Для захисту обладнання від перепаду струму застосовуються автоматичні вимикачі з граничною силою струму в 2 А, 10 А, та 16 А. На лінії електроживлення 220 В встановлено автоматичний вимикач 16 А для захисту всієї системи.

Сигналізація виконана за рахунок трьох ламп, які підключено до дискретних виходів ПЛК.

3.4 Креслення загального виду щита

Креслення загального виду щита зображено у ТА-92418.0002.001.АТХ.Щ1.

На кресленні зображено габаритні розміри обладнання, його розташування в щиті та спосіб кріплення обладнання на монтажну панель. Для закріплення клемників, автоматичних вимикачів, контакторів та блоків живлення використовується кріплення на DIN-рейки. Для прокладання кабелів використано перфорований пластиковий короб глибиною 60мм та шириною 20мм. Короб прокладено по всьому периметру щита для полегшення прокладання кабелів.

Було обрано малогабаритний щит розмірами 600x600x250 мм. В дверях щита було зроблено три отвори діаметром 22мм для сигнальних ламп, а також було зроблено отвір для монтажу ПЛК таким чином, щоб екран знаходився

					<i>ТА-92418.0002.001.АТХ.П</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

ззовні на дверях в закритому стані щита. ПЛК закріплено всередині щита за рахунок гвинтів.

З міркувань ергономіки, на верхній DIN-рейці було розташовано спочатку автоматичні вимикачі, потім блоки живлення, потім контактори. Клемники було розташовано на DIN-рейці знизу щита, оскільки кабелі зовнішніх пристроїв зведено в щит крізь нижню стінку. На дверях щита сигнальні лампи розташовані над екраном ПЛК та мають пояснювальні надписи над кожною з них для більш зручного та швидкого розуміння поточного стану системи.

3.5 Схема монтажна щита

Схему монтажну щита наведено у ТА-92418.0002.001.АТХ.Щ2.

Схему монтажну щита було розроблено для однозначного та безумовного визначення електричних підключень та комутації електричних сигналів всередині щита. Використовуючи цю схему, під час встановлення обладнання в щит та його підключення отримано можливість мінімізації можливих помилок підключення, покращено ергономіку проводки для полегшення монтажу та обслуговування обладнання.

На схемі показано з'єднання та розводку електричних сигналів всіх пристроїв щита автоматизації, а також джгути кабелів, які під'єднано до щита та розподілення їх провідників далі.

3.6 Схема зовнішніх з'єднань

Схему зовнішніх з'єднань наведено у ТА-92418.0002.001.АТХ.М.

Схему зовнішніх з'єднань було розроблено для визначення типів кабелів, які надходять з обладнання, встановленого за місцем до щита автоматизації, їх довжини, кількість жил, та площу перерізу. Було показано з'єднання між засобами вимірювання і автоматизації та саме підключенням їх провідників до щита автоматизації.

3.7 Специфікація обладнання

					ТА-92418.0002.001.АТХ.П	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

Специфікацію обладнання наведено у ТА-92418.0002.001.АТХ.С.

Для забезпечення захисту обладнання було обрано автоматичні вимикачі від виробника «Schneider Electric», оскільки даний виробник надає широкий вибір вхідних струмових номіналів з можливістю обрати номінальну робочу напругу, яка необхідна для конкретної частини електричної схеми. Додатково, в Україні наявні постачальники та офіційні дилери даної компанії, що дозволяє гарантувати відповідність продукції міжнародним стандартам та необхідну якість.

Для вимірювання температури було обрано термоперетворювачі опору з уніфікованим вихідним сигналом виробника «ТЕРА». Даний вибір ґрунтується на тому, що це українське акціонерне товариство з виробництвом, складами та всіма частинами виробничого циклу розташованими в Україні. Це покращує економічні показники обладнання, оскільки в його ціну не додається вартість транспортування з інших країн. Також важливим є широка номенклатура термоперетворювачів опору з можливістю гнучкого замовлення та формування необхідного виду термоперетворювача, як з уніфікацією вихідного сигналу, так і з різною кількістю провідників для різних схем підключення. Широкий вибір давачів також дозволяє обирати необхідну точність вимірювання та діапазон.

Для вимірювання тиску було використано реле тиску виробника «Danfoss», оскільки даний виробник є одним зі світових лідерів серед виробників електричних компонентів. Також, в Україні наявний представник даної фірми, а саме «ДАНФОСС ТОВ», що дозволяє зменшити складність закупівлі та комунікації з поставником.

Постачальником ПЛК, панелі людино-машинного інтерфейсу та модуля розширення аналогового введення сигналу є підприємство «Unitronics». Даний виробник надає можливість гнучкого налаштування та зміни комплектуючих ПЛК за допомогою модулів розширення, які інтегруються напряму в панель, також надає можливість підключення екрану з достатньою для даного проекту

					ТА-92418.0002.001.АТХ.П	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

якістю зображення. В даного виробника є офіційний постачальник в Україні, а саме Klinkmann-Україна.

					<i>ТА-92418.0002.001.АТХ.П</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		68

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

4.1 Програмування функціональності ПЛК

В проєкті у якості ПЛК використовується комплекс «Unitronics Unistream» виробництва Unitronics. Програмування даного ПЛК відбувається в середовищі розробки «UniLogic», однак, оскільки контролер підтримує мови стандарту IEC-61131, маємо право змоделювати програмне забезпечення у середовищі розробки, яке підтримує даний стандарт. Оскільки контролер сприймає лише мови програмування LD та його середовище розробки надає можливість використання мови С, для демонстрації програмної функціональності ПЛК було обрано мову LD та середовище розробки CODESYS.

Реалізуємо алгоритм зміни уставки температури в залежності від зовнішньої температури повітря – погодозалежне керування. Для цього створимо функціональний блок «WeatherControl» та наведемо перелік його змінних (Рис. 4.1 – 4.2).

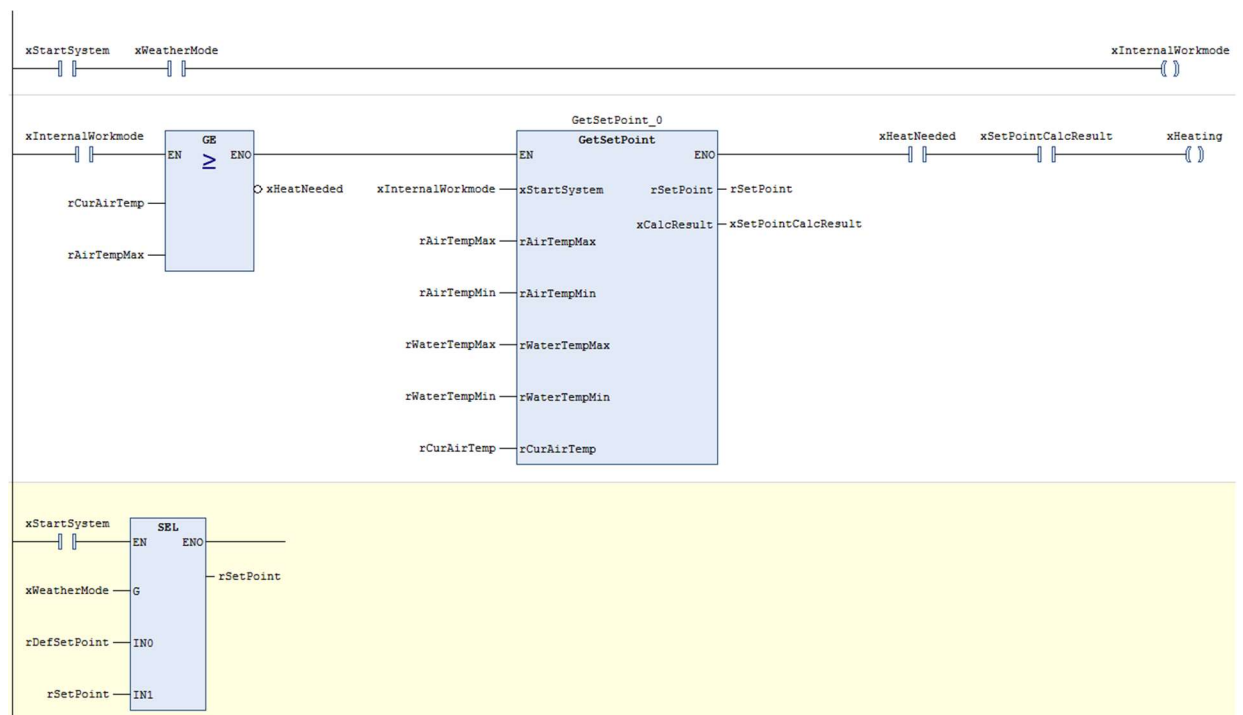


Рисунок 4.1 - Код функціонального блоку погодозалежного керування

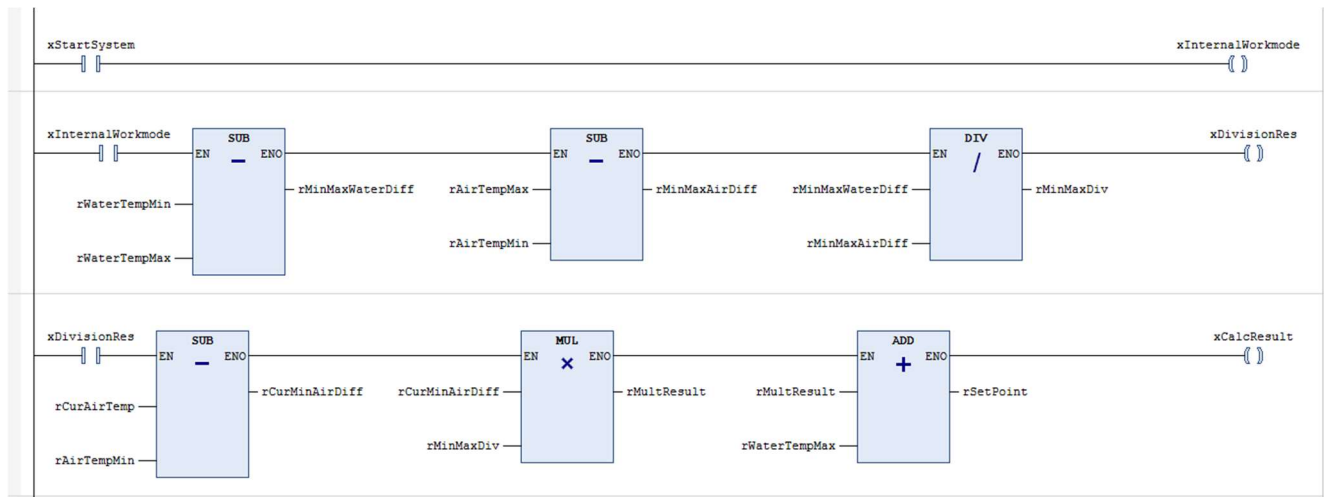


Рисунок 4.4 - Код функціонального блоку розрахунку уставки температури води на виході з модуля у випадку погодозалежного керування

Для перетворення уніфікованого сигналу в значення вимірної величини було розроблено функціональний блок «SignalConversion», який перетворює величини методом лінійної інтерполяції та у випадку виходу сигналу за вказані межі подає на вихід сигнал помилки. Наведемо код та перелік змінних функціонального блоку (Рис. 4.5 – 4.6).

```

FUNCTION_BLOCK SignalConversion
VAR_INPUT
    //дозвіл на роботу системи
    xStart : BOOL;
    //значення сигналу до конвертації
    rRawSignal: REAL;
    //верхня межа сигналу
    rRawMax : REAL;
    //нижня межа сигналу
    rRawMin : REAL;
    //верхня межа зконвертованої величини
    rConvMax : REAL;
    //нижня межа зконвертованої величини
    rConvMin : REAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    //значення сигналу після конвертації
    rConvertedSignal : REAL;
    //наявність помилки давача
    xSensorError : BOOL;
    //попередній сигнал
    rPreviousValue : REAL;
END_VAR
VAR
    //змінна зберігання різниці меж конвертації
    rConvDiff : REAL;
    //змінна зберігання різниці меж незконвертованого сигналу
    rRawDiff : REAL;
    //коефіцієнт домноження сигналу для конвертації
    rMultCoef : REAL;
END_VAR

```

Рисунок 4.5 - Перелік змінних функціонального блоку конвертації сигналу

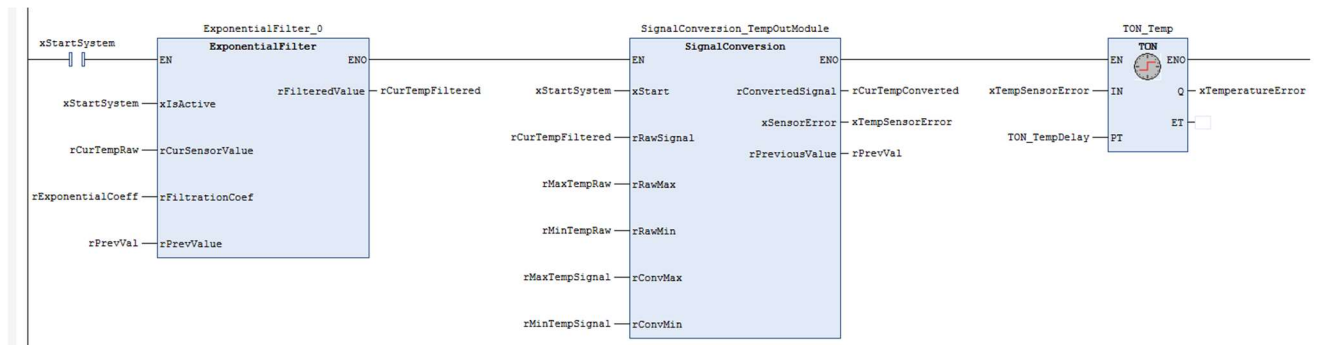


Рисунок 4.10 - Код для зчитування, фільтрації, алармування та конвертації даних з давача температури

```

//нижня межа спрацювання алармування
rTempSoftAlarmCap : REAL := 80;
//"слабкий" аларм
xTempSoftAlarm : BOOL;
//верхня межа спрацювання алармування
rTempHardAlarmCap : REAL := 85;
//аларм без самоскидання
xTempHardAlarm : BOOL;

```

Рисунок 4.11 - Перелік змінних алармування показників температури

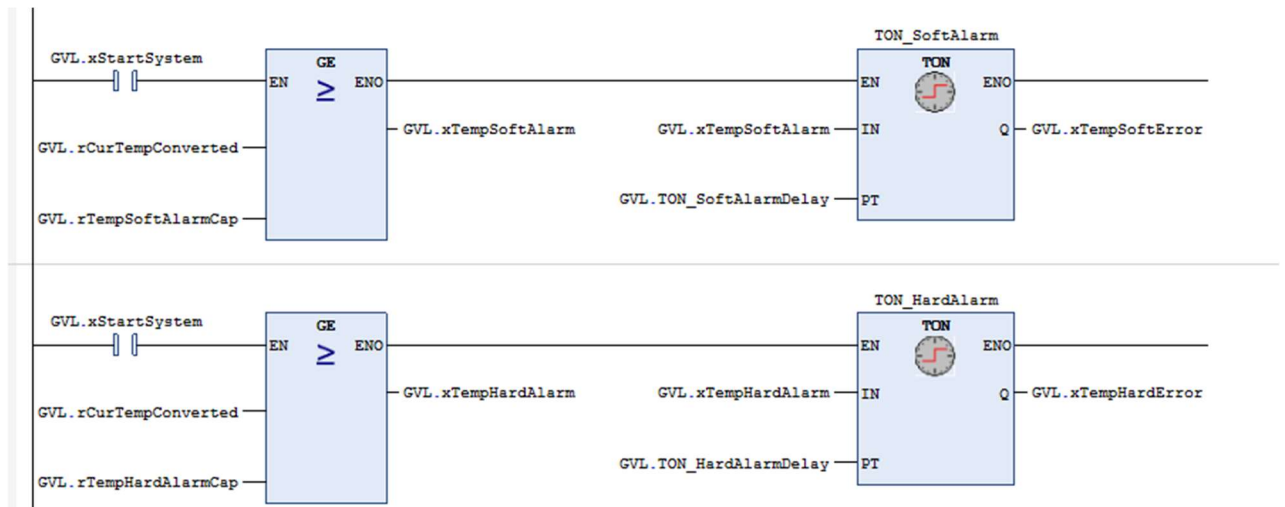


Рисунок 4.12 - Код для створення алармів температури

```

//показники давача Хола
rHallSensorInput : REAL;
//максимальні показники з давача Хола
rHallSensorMaxRaw : REAL := 283;
//мінімальні показники з давача Хола
rHallSensorMinRaw : REAL := 0;
//максимальна швидкість обертання
rHallSensorMaxSpeed : REAL := 8500;
//мінімальна швидкість обертання
rHallSensorMinSpeed : REAL := 0;
//швидкість обертання після конвертації
rFanSpeed : REAL;
//сигнал після фільтрації
rFanSpeedFiltered : REAL;
//попереднє значення швидкості вентилятора
rPrevValFan : REAL;
//помилка давача Хола
xFanSpeedError : BOOL;
//підтверджена помилка давача Хола
xFanError : BOOL;
//вивід сигналу на вентилятор
rFanOutput : REAL;
//затримка підтвердження помилки давача Хола
TON_FanDelay: TIME := T#2S;

```

Рисунок 4.13 - Перелік змінних для зчитування, фільтрації та конвертації даних з давача Хола вентилятора

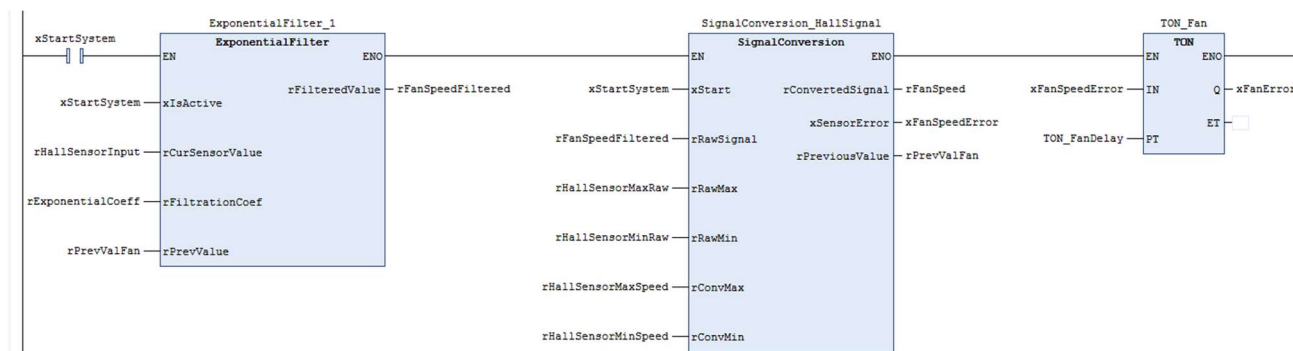


Рисунок 4.14 - Код для зчитування, фільтрації та конвертації даних з давача Хола вентилятора

Аналогічним чином реалізовано зчитування даних та алармування з другого давача Хола. Далі продемонструємо код та наведемо змінні, які відповідають за дозвіл на роботу системи, погодозалежне керування, ПІД-регулятор та конвертацію швидкості обертання в ШІМ-сигнал для передачі на вентилятор. (Рис. 4.15 – 4.17).

підключення до WiFi мережі а інші. Введені дані надсилаються в пристрій, де перевіряються на правильність та логічність. Як приклад, дані введені до поля Ір-адрес перевіряються на можливість конвертування в об'єкт класу типу IP-address та на розмір, оскільки таке поле передбачає отримання даних з 100 байтів. Після перевірок, дані мають бути записані в енергонезалежну область пам'яті, однак вони попередньо перевіряються на співпадіння з тими даними, які вже знаходяться в комірках і у випадку повного співпадіння, запис не відбувається, що економить ресурс пам'яті.

Відправка даних на ПЛК та вичитування даних з ПЛК відбувається за протоколом ModbusTCP. Було використано бібліотеку eModbus для спрощення використання функцій протоколу. Особливість протоколу, а саме відсутність в відповіді від серверу даних про початковий регістр запиту зчитування декількох регістрів зберігання, призвела до необхідності використання синхронного методу зчитування даних. Це дозволило точно знати, які саме регістри зберігання було отримано в відповіді від серверу та правильно вносити їх до класу зберігання даних, майже виключаючи запис даних не в ті комірки. Оскільки бібліотека не надає функціоналу для перетворення повідомлення відповіді в масив символів чи даних цілочисленого типу в десятковій формі, було написано власний функціонал для конвертації даних для їх подальшого використання. Важливо зазначити, що хоча даний технологічний об'єкт керування і не передбачає зберігання в регістрах даних за плаваючою точкою, було реалізовано функціонал для перетворення інформації з врахуванням такої можливості.

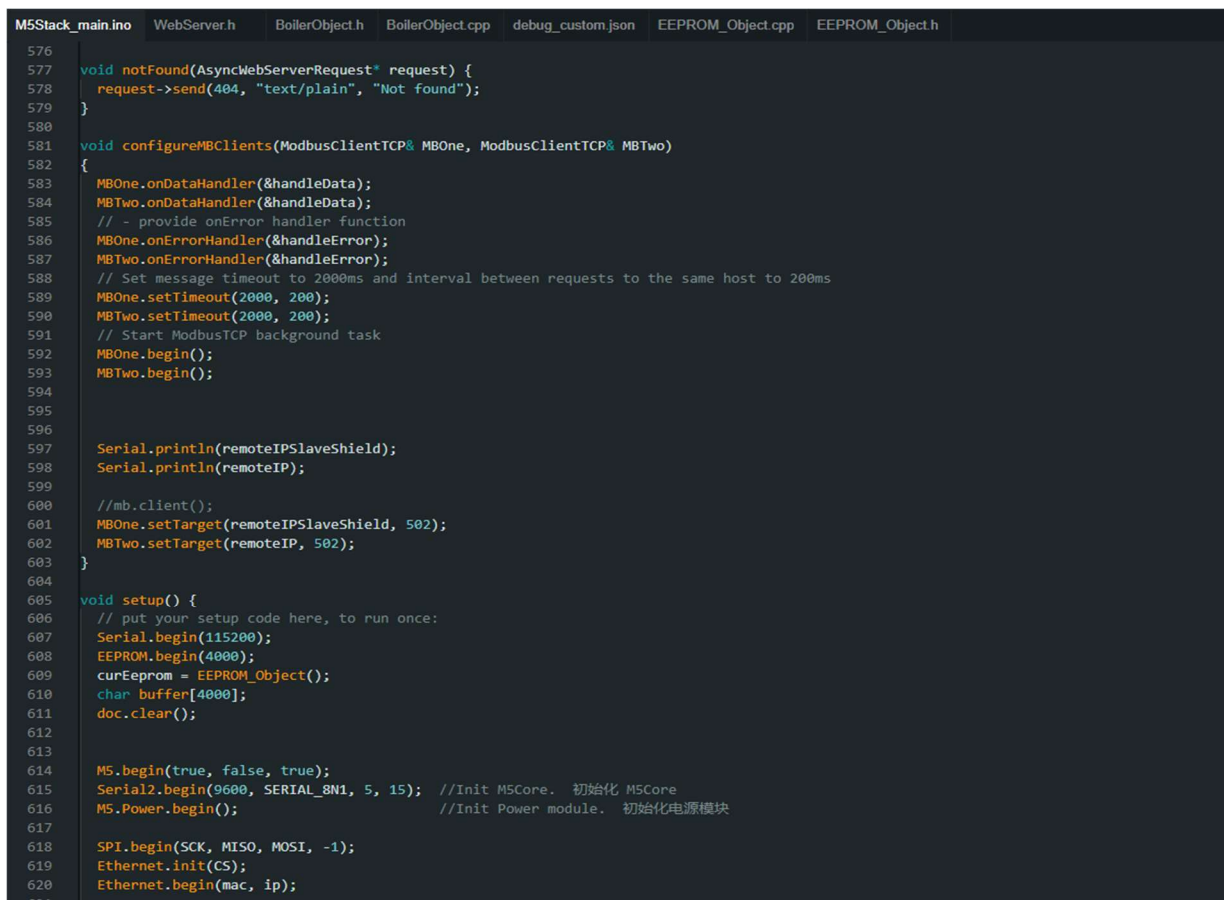
Після проходження заданого для відправки повідомлення інтервалу часу, формується глобальний JSON, який включає в себе останні отримані дані про поточний стан об'єкта керування та дані щодо коректності виконання запиту. Далі у випадку, якщо підключення до брокера було успішним, відбувається відправка даних за відповідним шляхом. Також, пристрій постійно підписаний на певні поля (топіки) брокера, і у випадку, коли в них відбувається зміна, брокер надсилає на пристрій нову інформацію, яка перетворюється пристроєм

					<i>TA-92418.0002.001.ATX.П</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		81

на сприйнятний вид та готується до відправки у відповідний регістр ПЛК. Визначення регістру відбувається за рахунок існування відповідностей між топіком брокера та регістру зберігання.

Для підвищення захищеності даних було використано mqtt-брокер з підключенням з використанням сертифікатів та автентифікації користувачів. Ці дані для підключення також зберігаються в енергонезалежній області пам'яті, можуть бути змінені через веб сторінку керування та під час налаштування пристрою при запуску зчитуються звідти.

Для збільшення варіативності використання граничного пристрою було передбачено можливість опитування ПЛК використовуючи як підключення через WiFi мережу, так і напряму через кабель Ethernet. Це дозволяє зчитувати дані з пристроїв, які не підключені до загального маршрутизатору, однак мають можливість комунікації за протоколом ModbusTCP та слот для Ethernet підключення.



```
M5Stack_main.ino WebServer.h BoilerObject.h BoilerObject.cpp debug_custom.json EEPROM_Object.cpp EEPROM_Object.h
576
577 void notFound(AsyncWebServerRequest* request) {
578     request->send(404, "text/plain", "Not found");
579 }
580
581 void configureMBClients(ModbusClientTCP& MBOne, ModbusClientTCP& MBTwo)
582 {
583     MBOne.onDataHandler(&handleData);
584     MBTwo.onDataHandler(&handleData);
585     // - provide onError handler function
586     MBOne.onErrorHandler(&handleError);
587     MBTwo.onErrorHandler(&handleError);
588     // Set message timeout to 2000ms and interval between requests to the same host to 200ms
589     MBOne.setTimeout(2000, 200);
590     MBTwo.setTimeout(2000, 200);
591     // Start ModbusTCP background task
592     MBOne.begin();
593     MBTwo.begin();
594
595
596
597     Serial.println(remoteIPSlaveShield);
598     Serial.println(remoteIP);
599
600     //mb.client();
601     MBOne.setTarget(remoteIPSlaveShield, 502);
602     MBTwo.setTarget(remoteIP, 502);
603 }
604
605 void setup() {
606     // put your setup code here, to run once:
607     Serial.begin(115200);
608     EEPROM.begin(4000);
609     curEeprom = EEPROM_Object();
610     char buffer[4000];
611     doc.clear();
612
613
614     M5.begin(true, false, true);
615     Serial2.begin(9600, SERIAL_8N1, 5, 15); //Init M5Core. 初始化 M5Core
616     M5.Power.begin(); //Init Power module. 初始化电源模块
617
618     SPI.begin(SCK, MISO, MOSI, -1);
619     Ethernet.init(C5);
620     Ethernet.begin(mac, ip);
621
```

Рисунок 4.19 - Частина коду налаштувань граничного пристрою

									Арк.
									82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

4.3 Програмування функціональності SCADA-системи

Під час розробки SCADA системи було використано програмне забезпечення «Indusoft WebStudio». Було розроблено мнемосхему, вікно архівування даних, вікно алармів, подій та історичних алармів, поточних трендів зміни уставки та вихідної температури, вікно формування звітів. Продемонструємо екран з мнемосхемою та робочим місцем оператора (Рис. 4.20).

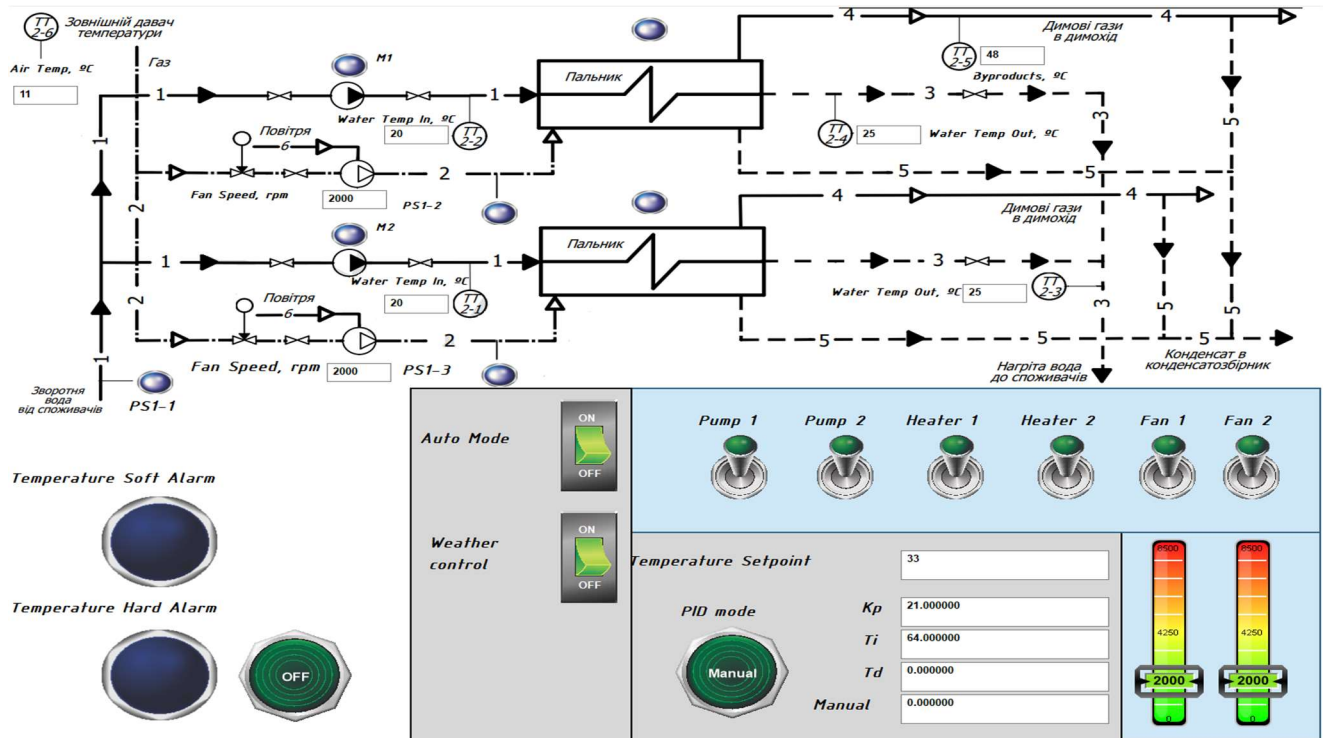


Рисунок 4.20 - Вікно «Mimics» для відображення поточного стану системи та роботи з нею

Наведемо вікно відображення подій, алармів та історичних подій (Рис. 4.21).

Поточні аларми						Події					
Tag Name	Display ...	Activation Ti...	Message	Ack Time	Event Time	User	Tag Name	Message	Event Time	User	Value
Pump1	0	06/11/2023 16:11:20		✓ 06/11/2023 16:25:21	06/11/2023 16:25:21	Admin	Open Screen:3.alarms.scc	06/11/2023 16:23:39	Admin	0	
Pump2	0	06/11/2023 16:11:19		✓ 06/11/2023 16:25:22	06/11/2023 16:25:22	Admin	Close Screen:myimimic.scc	06/11/2023 16:18:50	Admin	0	
CVsar	26843550...	06/11/2023 15:58:19		✓ 06/11/2023 16:01:32	06/11/2023 16:01:32	Admin	Close Screen:3.alarms.scc	06/11/2023 16:18:50	Admin	0	
PS2	0	06/10/2023 00:06:28		✓ 06/11/2023 16:01:38	06/11/2023 16:01:38	Admin	Open Screen:3.alarms.scc	06/11/2023 16:16:33	Admin	0	
PS1	0	06/10/2023 00:06:28		✓ 06/11/2023 16:01:38	06/11/2023 16:01:38	Admin	Close Screen:myimimic.scc	06/11/2023 16:15:20	Admin	0	
PS3	0	06/10/2023 00:06:28		✓ 06/11/2023 16:01:36	06/11/2023 16:01:36	Admin	Close Screen:1.Menu.scc	06/11/2023 16:15:20	Admin	0	
CVcounter	0	06/09/2023 21:39:20		✓ 06/11/2023 16:01:45	06/11/2023 16:01:45	Admin	Close Screen:3.alarms.scc	06/11/2023 16:15:20	Admin	0	
CVcounter	0	06/09/2023 21:39:20		✓ 06/11/2023 16:01:42	06/11/2023 16:01:42	Admin	Open Screen:3.alarms.scc	06/11/2023 16:06:11	Admin	0	
PVsar	0.000000	06/09/2023 21:39:20		✓ 06/11/2023 16:01:45	06/11/2023 16:01:45	Admin	Open Screen:myimimic.scc	06/11/2023 16:06:04	Admin	0	
PVsar	0.000000	06/09/2023 21:39:20		✓ 06/11/2023 16:01:45	06/11/2023 16:01:45	Admin	Close Screen:3.alarms.scc	06/11/2023 16:05:55	Admin	0	
							Close Screen:3.alarms.scc	06/11/2023 16:03:11	Admin	0	
							Close Screen:6.recipes.scc	06/11/2023 16:01:54	Admin	0	
							Close Screen:7.reports.scc	06/11/2023 16:01:54	Admin	0	
							Close Screen:mytrends.scc	06/11/2023 16:01:54	Admin	0	
							Close Screen:1.Menu.scc	06/11/2023 16:01:54	Admin	0	
							Close Screen:3.alarms.scc	06/11/2023 16:01:54	Admin	0	
							Open Screen:6.recipes.scc	06/11/2023 16:01:13	Admin	0	
							Open Screen:7.reports.scc	06/11/2023 16:01:09	Admin	0	
							Close Screen:myimimic.scc	06/11/2023 16:01:07	Admin	0	
							Open Screen:mytrends.scc	06/11/2023 16:01:07	Admin	0	
							Open Screen:3.alarms.scc	06/11/2023 16:01:06	Admin	0	
							Close Screen:mytrends.scc	06/11/2023 16:01:05	Admin	0	
							Open Screen:myimimic.scc	06/11/2023 16:01:05	Admin	0	
							Open Screen:mytrends.scc	06/11/2023 16:01:04	Admin	0	
							Close Screen:3.alarms.scc	06/11/2023 16:00:56	Admin	0	
							Close Screen:3.alarms.scc	06/11/2023 15:59:01	Admin	0	
							Close Screen:3.alarms.scc	06/11/2023 15:58:06	Admin	0	
							Close Screen:3.alarms.scc	06/11/2023 15:57:51	Admin	0	
							Close Screen:myimimic.scc	06/11/2023 15:57:04	Admin	0	
							Close Screen:1.Menu.scc	06/11/2023 15:57:04	Admin	0	
							Close Screen:3.alarms.scc	06/11/2023 15:57:02	Admin	0	
							Open Screen:myimimic.scc	06/11/2023 15:56:55	Admin	0	
							Open Screen:3.alarms.scc	06/11/2023 15:56:31	Admin	0	
							Close Screen:3.alarms.scc	06/11/2023 15:55:53	Admin	0	

Рисунок 4.21 - Вікно «Alarms» для відображення подій

Додатково наведемо екран поточних графіків зміни температури на виході з модуля нагріву та зміни уставки (Рис. 4.22).



Рисунок 4.22 - Поточний графік зміни уставки та температури на виході з модуля нагріву

РОЗДІЛ 5. ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АТК

5.1 Схема структурна полігону імітаційного моделювання АТК ТОУ

Полігон імітаційного моделювання АТК ТОУ складається з математичної моделі об'єкта, яка розроблена в середовищі Matlab Simulink (Рис. 5.1), ПЛК, який розроблено в середовищі Codesys (Рис 5.2) та HMI/Scada системи, які розроблені в системі Indusoft WebStudio (Рис. 5.3).

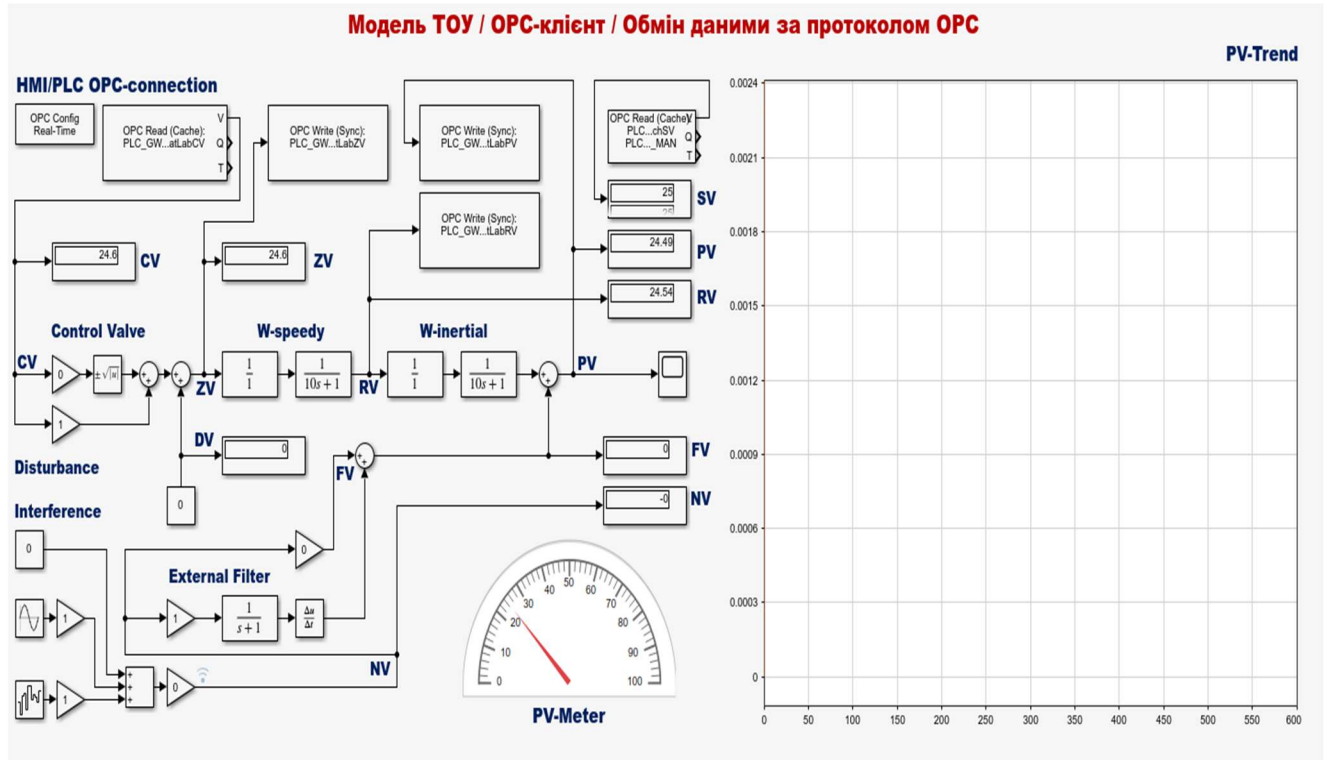


Рисунок 5.1 - Модель універсального об'єкта з вимірюванням в проміжній точці в середовищі Matlab Simulink

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ТА-92418.0002.001.АТХ.П

Арк.

85

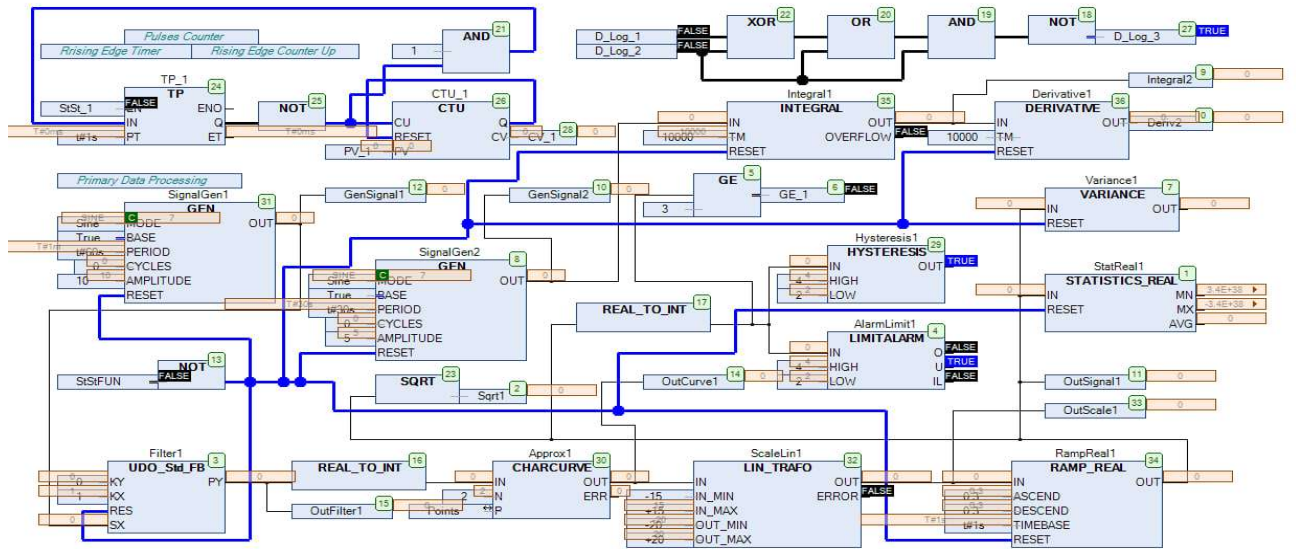


Рисунок 5.2 - Реалізація функціональності універсального ПЛК з каскадним керуванням в середовищі Codesys

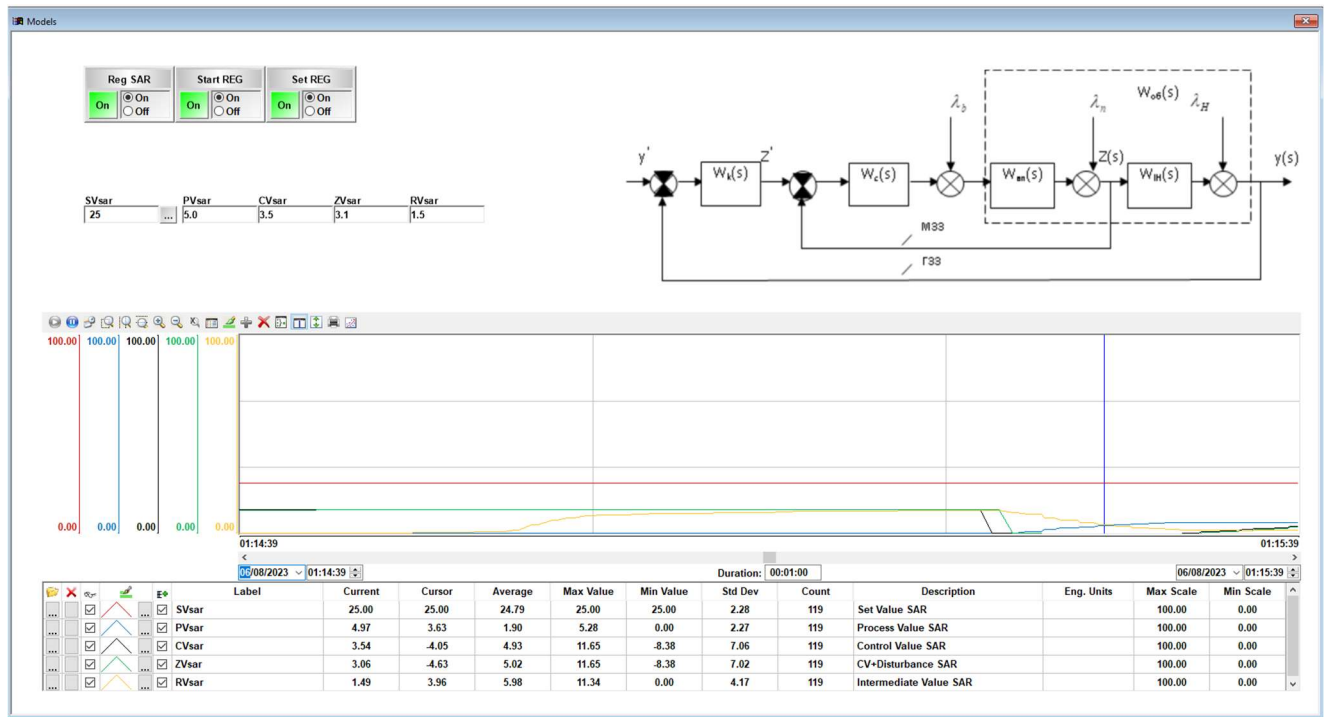


Рисунок 5.3 - Реалізація HMI/Scada системи в середовищі Indusoft WebStudio

5.2 Структурне моделювання АТК в програмно-технічному симуляторі

Для структурного моделювання АТК конденсаційного модуля нагріву в програмно-технічному симуляторі було розроблено рішення в середовищах Codesys (функціональність ПЛК), WebStudio (HMI/Scada/MES-lite системи), Matlab Simulink (модель об'єкта).

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

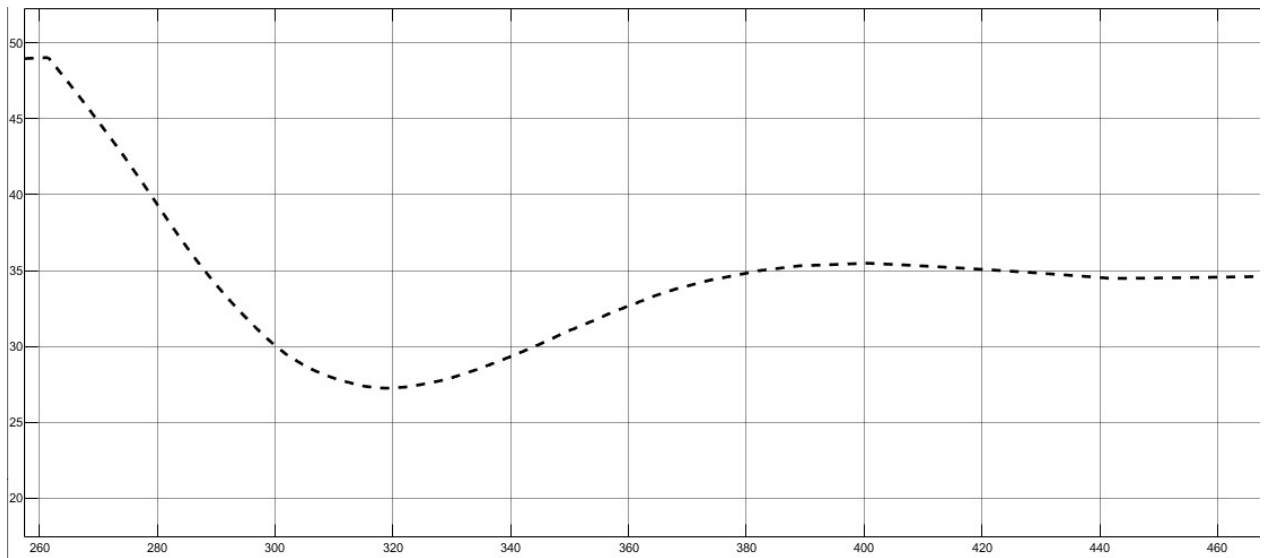


Рисунок 5.6 - Вікно температури на виході в середовищі Simulink

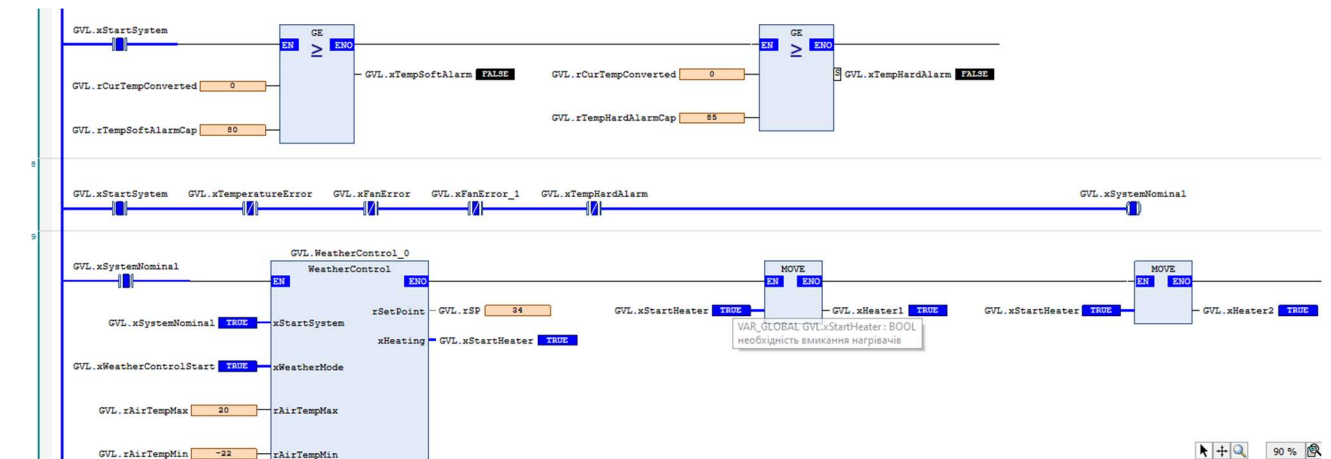


Рисунок 5.7 - Виконання коду в середовищі Codesys

Результати співпадають з розрахунковими, тому можемо зробити висновок, що система налаштована, сконфігурована та розроблена правильно.

Продемонструємо вікно поточних алармів (Рис. 5.7)

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Поточні аларми					Події						
Tag Name	Display ...	Activation Ti...	Message	Ack Time	Event Time	User	Tag Name	Message	Event Time	User	Value
Pump1	0	06/11/2023 16:11:20		▲	06/11/2023 16:11:20	Admin	Open Screen3.alarms.scc		06/11/2023 16:23:39	Admin	0
Pump2	0	06/11/2023 16:11:19		▲	06/11/2023 16:11:19	Admin	Close Screenmyimimic.scc		06/11/2023 16:18:50	Admin	0
PVaar	26843590...	06/11/2023 15:59:19		✓	06/11/2023 16:01:32	Admin	Close Screen3.alarms.scc		06/11/2023 16:18:50	Admin	0
PS2	0	06/10/2023 00:06:28		✓	06/11/2023 16:01:38	Admin	Open Screen3.alarms.scc		06/11/2023 16:16:33	Admin	0
PS1	0	06/10/2023 00:06:28		✓	06/11/2023 16:01:38	Admin	Close Screenmyimimic.scc		06/11/2023 16:15:20	Admin	0
PS3	0	06/10/2023 00:06:28		✓	06/11/2023 16:01:36	Admin	Close Screen1.Menu.scc		06/11/2023 16:15:20	Admin	0
CVcounter	0	06/09/2023 21:39:20		✓	06/11/2023 16:01:45	Admin	Close Screen3.alarms.scc		06/11/2023 16:15:20	Admin	0
CVcounter	0	06/09/2023 21:39:20		✓	06/11/2023 16:01:42	Admin	Open Screen3.alarms.scc		06/11/2023 16:06:11	Admin	0
PVaar	0.000000	06/09/2023 21:39:20		✓	06/11/2023 16:01:45	Admin	Open Screenmyimimic.scc		06/11/2023 16:06:04	Admin	0
PVaar	0.000000	06/09/2023 21:39:20		✓	06/11/2023 16:01:45	Admin	Close Screen3.alarms.scc		06/11/2023 16:05:55	Admin	0
							Close Screen3.alarms.scc		06/11/2023 16:03:11	Admin	0
							Close Screen5.recipes.scc		06/11/2023 16:01:54	Admin	0
							Close Screen7.reports.scc		06/11/2023 16:01:54	Admin	0
							Close Screenmytrends.scc		06/11/2023 16:01:54	Admin	0
							Close Screen4.Menu.scc		06/11/2023 16:01:54	Admin	0
							Close Screen3.alarms.scc		06/11/2023 16:01:54	Admin	0
							Open Screen5.recipes.scc		06/11/2023 16:01:13	Admin	0
							Open Screen7.reports.scc		06/11/2023 16:01:09	Admin	0
							Close Screenmyimimic.scc		06/11/2023 16:01:07	Admin	0
							Open Screenmytrends.scc		06/11/2023 16:01:07	Admin	0
							Open Screen3.alarms.scc		06/11/2023 16:01:06	Admin	0
							Close Screenmytrends.scc		06/11/2023 16:01:05	Admin	0
							Open Screenmyimimic.scc		06/11/2023 16:01:05	Admin	0
							Open Screenmytrends.scc		06/11/2023 16:01:04	Admin	0
							Close Screen3.alarms.scc		06/11/2023 16:00:56	Admin	0
							Close Screen3.alarms.scc		06/11/2023 15:59:01	Admin	0
							Close Screen3.alarms.scc		06/11/2023 15:58:06	Admin	0
							Close Screen3.alarms.scc		06/11/2023 15:57:51	Admin	0
							Close Screenmyimimic.scc		06/11/2023 15:57:04	Admin	0
							Close Screen1.Menu.scc		06/11/2023 15:57:04	Admin	0
							Close Screen3.alarms.scc		06/11/2023 15:57:02	Admin	0
							Open Screenmyimimic.scc		06/11/2023 15:56:55	Admin	0
							Open Screen3.alarms.scc		06/11/2023 15:56:31	Admin	0
							Close Screen3.alarms.scc		06/11/2023 15:55:53	Admin	0

Рисунок 5.7 - Вікно алармів та подій

Як можемо побачити, у переліку наявні аларми розробленої системи. Для демонстрації, було вимкнено обидва насоси та три давачі реле тиску. Насоси бачимо виділені червоним, що означає наявність аларму. Всі інші виділені зеленим, що свідчить про виправленість ситуації. Таким чином, вікно алармів працює коректно.

На основі наведених вище результатів роботи програмного комплексу можемо зробити висновок, що система розроблена, налаштована та виконує свої задачі коректно.

РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ

Згідно з Конституцією України та законом України «Про охорону праці і стандартом ДСТУ ISO 45001[12] усі підприємства, організації та виробництва в Україні мають в обов'язковому порядку виконувати правила, а також дотримуватись рекомендацій щодо охорони праці, оскільки недотримання призводить у будь якому з випадків не лише до матеріальних та моральних збитків, але з великою вірогідністю до травм або навіть жертв. Таким чином, охорона праці є вкрай важливим чинником будь якої установи чи організації.

Серед головних завдань охорони праці можна виділити наступні: контроль за дотриманням та виконанням вимог з безпеки праці та охорони здоров'я працівників, недопущення травмування та професійних захворювань і покращення умов праці персоналу на робочих місцях.

У цьому розділі виконано аналіз потенційно шкідливих та небезпечних виробничих факторів під час експлуатації технологічного устаткування та засобів автоматизації для підтримки температури на виході з модуля нагріву.

Протікання процесу контролюється та керується за рахунок використання термоперетворювачів опору, реле тиску, вентиляторів зі змінною швидкістю обертання, циркуляційних насосів, декількох теплообмінників та ПЛК. У випадку виходу з ладу будь якого з давачів, виходу температури на виході за допустимі межі або у разі виникнення інших аварій передбачено застосування світлової сигналізації. Про поточний стан роботи системи та наявність живлення також інформується за допомогою світлової сигналізації.

Керуюче та захисне обладнання, а саме автоматичні вимикачі, контактори, клемні колодки, блоки живлення та ПЛК з модулем розширення розташовані в щиті автоматизації. Все інше обладнання розташоване на об'єкті автоматизації або поруч із ним. Особливості електричної комутації, типи кабелів та межі струмового захисту наведені в відповідних розділах даного проєкту та на схемах електричних (монтажних та принципівих).

					ТА-92418.0002.001.АТХ.П	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6.1 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки експлуатації засобів автоматизації та технологічного обладнання

Органи керування, світлової сигналізації та захисту обладнання знаходяться в щиті автоматизації, що дозволяє керувати системою в ручному режимі у випадку необхідності. ПЛК має панель людино-машинного інтерфейсі, що дозволяє швидко орієнтуватись в поточному стані системи у випадку неможливості або недоцільності звертання до робочого місця оператора та екранів SCADA-систем.

Основними органами керування технологічним процесом є вентилятори Ebm Papst, які знаходяться на об'єкті. Для підвищення захисту персоналу та зменшення вірогідності травмування, аварійних ситуацій та спричинення шкоди обладнанню, силові та контрольні кабелі розташовуються всередині стін або підлоги у металевих коробах або гофротрубі. Самі вентилятори розташовані таким чином, що виключає випадкову взаємодію людини та знаходяться всередині шафного комплексу, в якому змонтований об'єкт управління.

Об'єкт управління знаходиться в підвальному приміщенні, де знаходиться вузол приєднання тепломережі будівлі до центральної системи водопостачання. Усе обладнання знаходиться або на об'єкті, або в щиті керування, окрім давача температури зовнішнього повітря, який має бути змонтовано на стіну будівлі. Щит керування розташований в тому ж приміщенні, що і об'єкт автоматизації і має бути змонтований на стіні поруч з об'єктом для можливості швидкого налаштування та взаємодії з об'єктом. Щит виконано з дотриманням ступеня захисту IP54, завдяки чому обладнання захищено від пилу та потрапляння води, також на дверях наявне потовщення з гуми. Товщина корпусу та двері щита складає 0.12 см, монтажної панелі 0.2 см. Всередині щита всі кабелі прокладено у пластикових коробах, а підведення до щита виконується з використанням гофротруб. Усі кабелі мають бути промарковані згідно електричної та монтажної схеми щита для полегшення монтажу, підключення апаратури та орієнтації в

					ТА-92418.0002.001.АТХ.П	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		91

цілому. Додатково, щит виконано з замком для попередження доступу до апаратури людей без необхідного рівня допуску.

6.1.1 Електробезпека

Система автоматизації та щит автоматизації живляться від однієї з фаз 5-ти провідної трифазної електромережі змінного струму з глухозаземленою нейтраллю, з частотою 50-60 Гц та напругою 220/380 В. Застосована система захисного заземлення TN (підсистема TN-C-S). Для захисту обладнання від струмів КЗ та перевантажень було застосовано автоматичний вимикач максимального струмового захисту на 16 А.

Вимоги з електробезпеки під час експлуатації системи автоматизації або будь якого іншого електрообладнання регламентуються ПУЕ-2017[13], НПАОП 40.1-1.21-98, НПАОП 40.1-1.01-97, НПАОП-40.1-1.32-01[14], ДСТУ 7237:2011[15].

Обладнання АСК має різний клас за електрозахистом. Контролер, давачі та інші електроприлади системи автоматизації, що знаходяться на технологічному устаткуванні, відносяться до III класу за електрозахистом. Живлення більшої частини обладнання відбувається з блоків живлення всередині щита автоматизації та має напругу 24 В. Блоки живлення мають на фазному вході автоматичні захисні вимикачі на 10 А та мають I клас за електрозахистом. Оскільки порушення живлення та електропостачання приладів призводить до виникнення можливої небезпеки життю та здоров'ю людей або до порушення протікання технологічного процесу, всі прилади відносимо до першої категорії відповідальності.

Приміщення класифікується як таке, що має підвищений рівень небезпеки за електротравматизмом, оскільки існує можливість дотику людини до електропровідних частин електрообладнання з одного боку та до заземлених частин металоконструкцій будівлі і технологічного обладнання з іншого боку.

					<i>ТА-92418.0002.001.АТХ.П</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		92

6.1.1.1 Технічні рішення щодо запобігання електротравм від контакту з нормально струмовідними елементами обладнання.

Згідно ДСТУ 7237:2011[15] для забезпечення захисту від випадкового дотику людини до струмопровідних частин ЕУ застосовуються нижче описані види захисту.

Освітлювальні лампи з робочою напругою живлення 220 В розміщені на висоті не менше ніж 2,5 м від підлоги.

Проводка та кабельні комунікації прокладені у спеціальних жолобах, що забезпечує недоступність струмовідних частин ЕУ. Також, струмовідні частини ЕУ мають бути ізольовані з використанням ізоляції з опором не менше 1кОм/В з постійною профілактикою та контролем за станом ізоляції. Можливим є використання поліхлорвінілової ізоляції або іншої, що відповідає наведеним вище вимогам.

В електроустановках використані знаки та мітки для забезпечена орієнтації. Всі струмопровідні частини обгороджені й мають попереджувальні надписи над ними (“Обережно! Напруга!”). Всі щити зачиняються на замки.

6.1.1.2 Технічні рішення щодо запобігання електротравм при переході напруги на електропровідні нормально неструмовідні елементи устаткування (аварійний режим роботи електрообладнання, наприклад, пробій робочої ізоляції).

Пробій ізоляції на корпус під час роботи електрообладнання призводить до того, що будь яке торкання до корпусу елементів щита управління або самого щита розглядається як торкання до фази, що неодмінно призведе до ураження людини електричним струмом. Було передбачено застосування захисного заземлення корпусів, кожухів та інших нормально неструмовідних частин електроапаратури. Завдяки цьому пробій фази на корпус призведе до короткого замикання і спрацювання системи максимального струмового захисту, яка

					ТА-92418.0002.001.АТХ.П	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		93

відключить аварійне обладнання від електромережі і, таким чином, захистить людину від можливого ураження струмом.

6.1.1.3 Електрозахисні засоби.

Захист працівників та персоналу виконується за рахунок застосування електрозахисних засобів, до яких можемо віднести блокуючі пристрої, захисні огороження, переносні заземляючі пристрої, а також діелектричні рукавиці, підставки, килимки, боти, вимірювальні кліщі. Захисну функцію виконують також і застерігаючі та забороняючі плакати та надписи, які розміщені в ЕУ.

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

До основних виробничих факторів, що визначають санітарно-гігієнічні умови праці, відносяться: 1) мікроклімат; 2) склад повітря робочої зони; 3) виробниче освітлення; 4) виробничий шум; 5) виробничі вібрації. Виробнича санітарія включає питання із забезпечення здорових умов праці персоналу, чистоти повітря і робочого середовища, зменшення шкідливого впливу виробничих шумів та випромінювань, створення комфортних, здорових та безпечних умов для повноцінної праці людині.

6.2.1 Мікроклімат

Відповідно до ДСН 3.3.6.042-99[16] параметри мікроклімату, що нормуються: температура ($t, ^\circ\text{C}$) і відносна вологість ($W, \%$) повітря, швидкість руху повітря ($V, \text{м/с}$).

Оптимальні й допустимі величини температури, відносної вологості та швидкості руху повітря встановлюються для робочої зони виробничих приміщень з урахуванням надлишку тепла, категорії роботи, що виконується, та періоду року.

					<i>ТА-92418.0002.001.АТХ.П</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		94

Таблиця 6.1 - Параметри мікроклімату в різні пори року в диспетчерській

Пора року	Оптимальні			Допустимі		
	t,°C	W,%	V,м/с	t,°C	W,%	V,м/с
Тепла	22-24	40-60	0,2	21-28	<75%	0,3
Холодна	21-23	40-60	0,1	20-24	<75%	0,2

Для захисту оператора на автоматизованому робочому місці від дії високих, а також і низьких температур, за проектом передбачено застосування у виробничих приміщеннях щитової та операторської систем опалення, вентиляції та кондиціонування згідно вимог ДБН В.2.5 – 67:2013[17]. Також передбачено застосування приладів для зволоження та/або штучної іонізації повітря.

Фактичні параметри мікроклімату повністю відповідають вимогам таблиці 6.1.

6.2.2 Склад повітря робочої зони та виробничі випромінювання

Забруднення повітря робочої зони регламентується в мг/м³ гранично допустимими концентраціями (ГДК). Концентрація пилу в приміщенні щитової та операторської значно менша за ГДК.

Також має місце незначна іонізація повітря робочої зони приміщення щитової, яка знаходиться в дозволених санітарно-гігієнічними нормами межах. Передбачені перерви в роботі монітора. Оптимальна кількість позитивних іонів 3000–5000. Допустима кількість позитивних іонів 400–50000, а негативних 600–50000.

6.2.3 Виробниче освітлення

					ТА-92418.0002.001.АТХ.П	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		95

Згідно з діючою класифікацією, виробниче освітлення можна розділити на природне та штучне. Для нормування рівня природного освітлення використовує коефіцієнт природного освітлення (КПО) – відношення одночасно виміряного зовнішнього природного освітлення від світла всього небосхилу та природної освітленості всередині виробничого приміщення.

В диспетчерській кімнаті у місці розташування ПЕОМ оператора система природного освітлення забезпечує достатній рівень $KPO > 1,5\%$.

У підвальному приміщенні, де розташовано об'єкт автоматизації та щит автоматизації використовується система штучного рівномірного робочого освітлення, яке забезпечує рівень освітленості на робочих місцях не менше 300 лк. Для диспетчерської кімнати також передбачено застосування системи штучного рівномірного робочого освітлення і, у разі необхідності, можливість використання на робочому місці оператора додаткової системи місцевого освітлення.

6.2.4 Виробничий шум

Основними джерелами виробничого шуму в приміщенні, де знаходиться об'єкт автоматизації, є вентилятори подачі газоповітряної суміші на теплообмінники та циркуляційні насоси

Згідно ДСН 3.3.6.-037-99[18] допустимий рівень звуку в приміщенні об'єкта управління вважається рівним 80 дБА, що дозволяє унеможливити ризик отримання відхилень слуху та не перешкоджає нормальному протіканню робочого процесу протягом дня. В диспетчерській або інших офісних приміщеннях рівень звуку має бути в межах від 50 до 65 дБА. Шум насосів та вентиляторів не перевищує 70 дБА, що також менше допустимого граничного рівня для виробничих приміщень.

6.2.5 Виробничі вібрації

Параметри вібрацій нормуються в залежності від частоти та напрямку коливань, їх виду, часу дії протягом зміни. Оператор на робочому місці

					<i>TA-92418.0002.001.ATX.П</i>	Арк.
						96
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

піддається незначним вібраціям, рівень загальної вібрації не перевищує припустимого рівня вібрації на робочому місці: амплітуда вібрації менш 0,009 мм у діапазоні частот від 15 Гц до 200 Гц. Для зменшення дії вібрацій проєктом передбачено: - застосування вібропоглинаючих матеріалів, -екранування джерел вібрацій; - контроль за експлуатацією, монтажем, ремонтом обладнання; - виконання правил технічної експлуатації; - впровадження нових технологій і засобів автоматизації.

6.3 Пожежна безпека та профілактика

Згідно з ДСТУ Б.В.1.1-36:2016[19], визначена категорія приміщення за вибухопожежонебезпекою – Д (пожежобезпечні приміщення, в яких знаходяться негорючі рідини). Основний вид теплоносія конденсаційного модуля нагріву це вода. Ступінь вогнестійкості будинку, це третя категорія, межа вогнестійкості несучих стін будівлі складає 2 години, а міжповерхових перекриттів 0.75 години.

Для електропроводок систем автоматизації застосовуються ізольовані проводи і кабелі з алюмінієвими і мідними жилами. Перетин проводів і кабелів вибирається по допустимих струмових навантаженнях, утратам напруги і механічній міцності. На пожежну безпеку також впливає якість приєднання проводів до приладів, апаратів, зажимів, а також з'єднання провідників між собою.

У виробничих приміщеннях згідно вимог ДБН В.2.5-56-2014[20] «Системи протипожежного захисту» встановлена система автоматичної пожежної сигналізації із димовими та тепловими сповіщувачами. Застосована світло-звукова сигналізація.

Передбачено автоматичне негайне відключення системи вентиляції та кондиціонування при спрацюванні системи оповіщення про пожежу. Сигнал про оповіщення про пожежу іде також і на пожежні клапани, що знаходяться в повітропроводах, після чого вони закриваються. Для розміщення первинних засобів пожежегасіння в приміщенні встановлені спеціальні пожежні щити з

					<i>ТА-92418.0002.001.АТХ.П</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		97

набором вогнегасників, ящиком з піском, сокирою, ломом, багром. Щити розміщені у легкодоступних місцях, ближче до виходів із приміщень

Диспетчерське приміщення обладнане вогнегасниками типу ВВ-8. Даний вогнегасник є легкий та зручний у використанні. Він призначений для боротьби з пожежами класу «Е» (гасіння електрообладнання під напругою).

					<i>ТА-92418.0002.001.АТХ.П</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		98

РОЗДІЛ 7. РОЗРАХУНОК ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

АСК

Необхідно визначити затрати на побудову спроектованої системи, для чого необхідно врахувати вартість засобів автоматизації, пристроїв, всього обладнання, налагоджувальних та монтажних робіт, трубопровідної арматури та всього іншого, що було включено в перелік засобів, необхідних для функціонування системи. Кошторисна вартість склала 156502.20 грн. Вартість обладнання склала 135557.57 грн, та монтажні роботи коштували 20333.64 грн. Наведемо необхідні дані в таблиці 7.1.

Оскільки більша частина вендорів не надає даних про вагу обладнання, витрати на транспортування прийняті в межах до 5000 грн.

Вартість монтажних робіт розрахована як 15% від вартості обладнання. Вартість заробітної плати складає 5% від вартості монтажних робіт. Зарплата робітників, зайнятих на управлінні машинами склала 5% від вартості монтажних робіт для обладнання, вага одиниці якого перевищує 10 кг, однак, оскільки таке обладнання відсутнє, в розрахунках цей параметр не використовується.

Вартість комплектації обладнання взята з розрахунку 1% від загальної вартості обладнання. Заготівельно-складські витрати взяті з розрахунку 1.2% від кошторисної вартості обладнання. Вартість тари та упакування склала 2% від загальної кошторисної вартості обладнання.

Планові накопичення складають 15% від вартості монтажних робіт. Непередбачені витрати закладаються як 10% від загальної вартості обладнання та монтажних робіт.

					ТА-92418.0002.001.АТХ.П	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		99

Таблиця 7.1 - Кошторисна вартість придбання, монтажу та з/п для АСК конденсаційним модулем нагріву

№ поз	Назва приладу	Од. вим.	К-ть.	Вартість одиниці, грн				Загальна вартість, грн			
				Обладнання	Монтажні роботи			Обладнання	Монтажні роботи		
					Всього	В т.ч. з/п			Всього	В т.ч. з/п	
						Основна	На управління машин			Основна	На управління машин
1	Реле тиску Danfoss KPI34	шт.	3	3250.00	487.50	14.63	-	9750.00	1462.50	43.88	-
2	Термоперетворювач опору ТЕРА ТСП-У-1-3-Pt100-0,5%-2-250-6-M20x1.5-40-A-100-ТТ-/-50....250/-КА	шт.	5	450.00	67.50	2.03	-	2250.00	337.50	10.13	-
3	Термоперетворювач опору ТЕРА ТСП-У-2-10г-Pt100-0,5%-2-30-6-M4-Z-ТТ-/-50....100/-КА	шт.	1	318.00	47.70	1.43	-	318.00	47.70	1.43	-
4	Світлодіодний індикатор Schrack BZ501215B	шт.	3	103.87	15.58	0.47	-	311.61	46.74	1.40	-
5	ПЛК Unitronics Unistream панель HMI Panel USP-070-B08	шт.	1	54093.00	8113.95	243.42	-	54093.00	8113.95	243.42	-

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ТА-92418.0002.001.АТХ.П

Арк.

100

Продовження таблиці 7.1

6	ПЛК Unitronics Unistream Модуль центрального процесора USC-P-B10	шт.	1	11364.60	1704.69	51.14	-	11364.60	1704.69	51.14	-
7	ПЛК Unitronics Unistream Введення виведення сигналів UIS-WCB2	шт.	1	20880.00	3132.00	93.96	-	20880.00	3132.00	93.96	-
8	ПЛК Unitronics Unistream Модуль розширення аналогового введення сигналів UIA-0800N	шт.	1	8499.42	1274.91	38.25	-	8499.42	1274.91	38.25	-
9	Вимикач автоматичний Schneider Electric A9P64616	шт.	1	230.00	34.50	1.04	-	230.00	34.50	1.04	-
10	Вимикач автоматичний Schneider Electric R9F12110	шт.	3	138.00	20.70	0.62	-	414.00	62.10	1.86	-
11	Вимикач автоматичний Schneider Electric A9P64618	шт.	2	311.00	46.65	1.40	-	622.00	93.30	2.80	-
12	Вимикач автоматичний Schneider Electric A9P64619	шт.	2	220.00	33.00	0.99	-	440.00	66.00	1.98	-
13	Блок живлення Phoenix Contact TRIO-PS-2G/1AC/24DC/10	шт.	3	4842.41	726.36	21.79	-	14527.23	2179.08	65.37	-
14	Контактор Промфактор MCF3 25-20 2P	шт.	2	382.70	57.41	1.72	-	765.40	114.81	3.44	-
17	Щит ЩШМ-I-600x600x250 УХЛЗ.1 ОСТ 36.13-90	шт.	1	4365.00	654.75	19.64	-	4365.00	654.75	19.64	-

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ТА-92418.0002.001.АТХ.П

Арк.

101

Продовження таблиці 7.1

18	DIN-рейка 35мм NS 35/ 7,5 PERF	шт.	2	137.73	20.66	0.62	-	275.46	41.32	1.24	-
19	Короб пластиковий перфорований 20х60мм A0070020018	м.	5	105.19	15.78	0.47	-	525.95	78.89	2.37	-
20	Клемник силовий гвинтовий ТВ-1505	шт.	2	32.00	4.80	0.14	-	64.00	9.60	0.29	-
21	Клемник силовий гвинтовий A0130010001	шт.	29	10.50	1.58	0.05	-	304.50	45.68	1.37	-
22	Кабель силовий ВВГ 3х4	м.	20	59.96	8.99	0.27	-	1199.20	179.88	5.40	-
23	Кабель контрольний КВВГ 2х1	м.	45	28.70	4.31	0.13	-	1291.50	193.73	5.81	-
24	Кабель контрольний КВВГ 3х1	м.	10	18.86	2.83	0.08	-	188.60	28.29	0.85	-
25	Кабель контрольний КВВГ 4х1	м.	10	22.96	3.44	0.10	-	229.60	34.44	1.03	-
26	Гофротруба 91920 ДКС 20мм	м.	100	13.30	2.00	0.06	-	1330.00	199.50	5.99	-
27	Маркування для проводів САВ-3 0-9 УМК02-02-09	шт.	3	230.00	34.50	1.04	-	690.00	103.50	3.11	-
28	Провід живлення ПВ2 4	м.	10	20.85	3.13	0.09	-	208.50	31.28	0.94	-
29	Провід ПВ3 1.5	м.	15	28.00	4.20	0.13	-	420.00	63.00	1.89	-
	Усього							135557.57	20333.64	610.01	-
	Транспортні витрати							5000			
	Комплектація обладнання							1355.5757			

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ТА-92418.0002.001.АТХ.П

Арк.

102

Кінець таблиці 7.1

	Заготівельно-складські витрати							1626.6908			
	Тара та упакування							3050.0453			
	Непередбачені витрати							13555.757	2033.36355		
	Усього по кошторису							173701.40	24400.36		
	Загальна вартість кошторису							198101.76			

<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>

ТА-92418.0002.001.АТХ.П

Арк.

103

Задаємося терміном окупності в 6 років ($T_{ок}^*$), виходячи з чого система автоматизованого керування має мати термін окупності рівний або менший за заданий.

Розрахуємо річний економічний ефект:

$$E_{\phi} = U - E_{н} * K_{авт}, \text{ грн/рік,}$$

де коефіцієнт ефективності $K_{авт} = 0.15$;

U - економія експлуатаційних витрат, визначається за формулою

$$U = E_{к} - V_{авт}, \text{ грн/рік;}$$

$E_{н}$ – одноразові капіталовкладення, складають 198101.76 грн.;

$E_{к}$ – економія від введення автоматизації, приблизно складає 60000 грн.;

$V_{авт}$ – додаткові витрати на обслуговування системи, отримуються з формули:

$$V_{авт} = V_e + V_a + V_p + V_z$$

Додаткові витрати на електроенергію (V_e), грн/рік:

$$V_e = C_e * N * T$$

де C_e – тариф на електроенергію, складає 2.64 грн/кВт*год;

N – сумарна потужність приладів, для всієї системи склала 0.8 кВт/год;

T – час роботи системи за рік, склав 5000 годин;

$$V_e = C_e * N * T = 2.64 * 0.8 * 5000 = 10560 \text{ грн/рік.}$$

Амортизаційні відрахування (V_a), грн/рік :

$$V_a = 0.02 * E_{н} = 0.02 * 198101 = 3962 \text{ грн/рік.}$$

Витрати на ремонт та обслуговування системи (V_p), грн/рік:

$$V_p = 0.05 * E_{н} = 0.05 * 198101 = 9905 \text{ грн/рік.}$$

					<i>ТА-92418.0002.001.АТХ.П</i>	Арк.
						104
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Витрати на заробітну плату (B_3) відсутні, оскільки немає необхідності в постійному персоналі для обслуговування або роботи з системою.

Обрахуємо витрати на обслуговування системи:

$$B_{\text{авт}} = B_e + B_a + B_p + B_3 = 10560 + 3962 + 9905 + 0 = 24427 \text{ грн/рік.}$$

Отримаємо економію експлуатаційних витрат:

$$U = E_k - B_{\text{авт}} = 60000 - 24427 = 35573 \text{ грн/рік.}$$

Визначимо річний економічний ефект:

$$E_{\text{ф}} = U - E_n * K_{\text{авт}} = 35573 - 198101 * 0,15 = 5858 \text{ грн/рік.}$$

Розрахуємо термін окупності:

$$T_{\text{ок}} = \frac{E_n}{U} = \frac{198101}{35573} = 5.5 \text{ років} = 5 \text{ років } 6 \text{ місяців}$$

Таким чином, з отриманих даних можемо зробити висновок, що впровадження системи є економічно ефективним та доцільним, оскільки фактичний термін окупності складає 5 років і 6 місяців, що менше від 6 років заданого терміну окупності. Додатково на користь системи свідчить те, що для розрахунків бралась більша кількість робочих годин системи. Фактичне використання може бути меншим, що зменшить витрати на електроенергію та зменшить термін окупності.

					<i>ТА-92418.0002.001.АТХ.П</i>	Арк.
						105
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Під час розробки дипломного проєкту було створено проєкт автоматизованої системи керування конденсаційним модулем нагріву з застосуванням граничного пристрою. Для цього було проведено дослідження об'єкту, розроблено систему автоматичного керування об'єктом, проведено ідентифікацію об'єкта з розгінних характеристик, розроблено та впроваджено граничний пристрій, спроектовано щит автоматизації, визначено розташування в ньому обладнання та спосіб його монтажу, побудовано електричну схему живлення всього об'єкта, проведено економічні розрахунки.

Ідентифікація об'єкта виконувалась за допомогою апроксимації отриманих реальних показників системи після зміни потужності роботи об'єкта рівнянням аперіодичної ланки першого порядку. Такий підхід дозволив отримати достатню для даного проєкту точність апроксимації об'єкта та провести необхідні розрахунки для отримання параметрів регулятора.

Було розроблено та протестовано граничний пристрій. Граничний пристрій знаходиться з точки зору рівнів автоматизації одразу після ПЛК та виконує роль збору, обробки та маршрутизації інформації, а також дозволяє масштабувати систему. Розроблений програмний функціонал використовує протокол Modbus-TCP для комунікації з ПЛК. Можливе застосування як комунікації використовуючи безпроводну мережу Wi-Fi, так і з використанням Ethernet кабелю. Пристрій підтримує можливість гнучкого налаштування, використовує технології Publisher-Subscriber для передачі даних та підвищує рівень захищеності системи від зовнішнього втручання.

Розрахунок регулятора відбувався декількома методами. Було обрано аперіодичне протікання процесу, для якого основними критеріями якості вважаємо швидкість завершення перехідного процесу та відсутність коливань. Основним каналом вважаємо канал збурення-вихід. Було використано метод РАФХ з ступенем коливальної стійкості наближеним до одиниці, що дало відсутність коливань, а також метод Ротача. Отримані параметри регуляторів

					<i>ТА-92418.0002.001.АТХ.П</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		106

були використані для побудови в середовищі програмної симуляції розгінних кривих та їх порівняння. За прямими та частотними показниками якості було обрано параметри регулятора, отримані методом РАФХ. Додатково було проведено перевірку на грубість системи.

Було розроблено програмне забезпечення для виконання автоматичного керування одноконтурною системою погодозалежного регулювання температурою води на виході з модуля нагріву. Програмне забезпечення було виконано на мові програмування LD, що викликано особливостями роботи з обраною моделлю ПЛК. Було розроблено функціональний блок конвертації сигналу з уніфікованої величини в виміряну в заданих межах та в зворотному напрямку. Створено контури сигналізації про аварію давача, що визначається значенням вхідного сигналу. Додатково було розроблено програмну сигналізацію на випадок перевищення вихідною змінною верхніх меж, спочатку створюється сигнал аварії з самостійним скиданням, потім, при подальшому збільшенні температури, з необхідністю підтвердження зі сторони оператора що аварію було ліквідовано. Також було налаштовано запис даних в реєстри зберігання ПЛК для подальшої комунікації з зовнішнім світом.

Для зручного користування системою було розроблено HMI та SCADA функціональність. Було створено мнемосхему з можливістю керування процесом в ручному режимі, відображення поточних параметрів системи, включаючи стан аварій та налаштувань регулятора, а також зміни уставки. Спроектовано та підключено екрани з графіками зміни параметрів системи, а саме уставки та температури на виході з об'єкта. Налаштовано екран виведення поточних алармів для можливості відстеження, аналізу та дослідження причин їх виникнення.

Програмне забезпечення було протестовано за рахунок поєднання програми Matlab Simulink з моделлю об'єкта, OPC Server'a для комунікації моделі об'єкта, системи автоматичного керування та SCADA системи, Codesys для імітації роботи ПЛК та Web Studio у якості SCADA системи та HMI

					<i>ТА-92418.0002.001.АТХ.П</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		107

функціональності. Розроблена система якісно виконує регулювання зі збереженням аперіодичності перехідного процесу. Перехідні процеси майже не відрізняються від розрахованих, тому можемо зробити висновок, що система автоматизації розроблена коректно, показники якості регулювання об'єкту є набагато кращими, ніж до впровадження системи автоматизації, а впровадження погодозалежного керування дозволило зменшити витрату газу та покращити економічну ефективність системи.

Було розроблено необхідні рішення з охорони праці у відповідності до існуючого законодавства. В даному проєкті розроблено рішення для захисту персоналу від переходу напруги на нормально неструмовідіні частини системи, захист від контакту з нормально струмовідними елементами, визначено оптимальні параметри мікроклімату всередині робочих приміщень, висунуті вимоги до виробничого освітлення, шуму та вібрацій. Окрему увагу приділено пожежній безпеці та профілактиці для запобігання, максимально швидкого усунення та зменшення наслідків можливих пожеж.

Проведено розрахунки техніко-економічної ефективності застосування розробленої системи. Для цього було розраховано загальний кошторис впровадження системи, після чого отримано річний економічний ефект та термін окупності. З розрахунків визначили, що система окупить себе менше, ніж за 6 років, тому впровадження системи є економічно доцільним.

					<i>ТА-92418.0002.001.АТХ.П</i>	Арк.
						108
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Олійник С. Індивідуальний тепловий пункт – перший крок до модернізації багатоповерхівки. *Українська енергетика*. 2021. URL: <https://ua-energy.org/uk/posts/indyvidualnyi-teplovyi-punkt-pershyi-krok-do-modernizatsii-bahatopoverkhivky> (дата звернення: 05.05.2023).
2. Стефани Е. П. Основы построения АСУ ТП. М. : Энергоатомиздат, 1982. 352 с.
3. Індивідуальні теплові пункти МТП. *Укрінтерм*. URL: <https://smarterhouse.org/heating-systems/types-heatingsystems> (дата звернення: 01.05.2023).
4. Types of heating systems. *Smarterhouse*. 2015. URL: <https://smarterhouse.org/heating-systems/types-heatingsystems> (дата звернення: 02.05.2023).
5. Isothermic unit. *Sermeta*. URL: <https://sermeta.com/en-gb/product/isothermic-unit/> (дата звернення: 02.05.2023).
6. Grayson M., Eckroth D. Encyclopedia of chemical technology: supplement (encyclopedia of chemical technology). 6-те вид. Wiley-Interscience, 1984. 952 с..
7. Модуль нагріву : пат. 42805 Україна : F24H 1/00. Опубл. 27.07.2009. 4 с. URL: <https://uapatents.com/4-42805-modul-nagrivu.html> (дата звернення: 10.05.2023).
8. M5Stack. URL: <https://m5stack.com/about-us> (дата звернення: 24.05.2023).
9. В.Я. Ротач. Теория автоматического управления: учебник для вузов, 5-е изд., перереб. и доп. М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 396 с., ил
10. M5Stack-Core-ESP32. URL: <https://docs.m5stack.com/en/core/basic> (дата звернення: 24.05.2023).
11. LAN Module W5500. URL: https://docs.m5stack.com/en/base/lan_poe_v12 (дата звернення: 24.05.2023).

					ТА-92418.0002.001.АТХ.П	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		109

12. ДСТУ ISO 45001. Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги. На заміну OHSAS 18001 ; чинний від 2021-01-01. Вид. офіц. 2018.

13. Правила улаштування електроустановок. Київ : М-во енергетики та вугіл. пром-сті України, 2017. 615 с.

14. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Чинний від 1998-02-20. Вид. офіц. Київ, 1998.

15. ДСТУ 7237:2011. Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту. На заміну ГОСТ 12.1.019-79 ; чинний від 2011-02-02. Вид. офіц. Київ, 2011.

16. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Чинний від 1999-12-01. Вид. офіц. 1999

17. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. На заміну СНиП 2.04.05-91 ; чинний від 2014-01-01. Вид. офіц.2013

18. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. Чинний від 1999-12-01. Вид. офіц. 1999.

19. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. На заміну НАПБ Б.03.002-2007 ; чинний від 2017-01-01. Вид. офіц.2016

20. ДБН В.2.5-56:2014. Системи протипожежного захисту. Зі зміною № 1. На заміну ДБН В.2.5-56:2010 ; чинний від 2015-07-01. Вид. офіц. 2014.

					<i>ТА-92418.0002.001.АТХ.П</i>	Арк.
						110
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		