

**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

опалення за допомогою теплої підлоги»

Виконала:

студентка IV курсу, групи ТА-91

Висотіна Олеся Олегівна _____

Керівник:

Старший викладач

Гікало Павло Валерійович _____

Консультант з розділу «Охорона праці»:

Кандидат технічних наук, доцент

Каштанов Сергій Федорович _____

Рецензент: _____

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

Студентка _____

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

Висотіна Олеся Олегівна

1. Тема проєкту «Автоматизована система керування опалення за допомогою теплої підлоги», керівник проєкту Гікало Павло Валерійович, старший викладач затверджені наказом по університету «29» травня 2023 р. №2039-с

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

3. Вихідні дані до проєкту: літературні джерела, температура води на вході теплої підлоги.

4. Зміст пояснювальної записки

Перелік скорочень і умовних позначень. Вступ. Проєктування 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)

Функціональна схема автоматизації. Принципова електрична схема. Креслення загального виду щита автоматизації. Схема з'єднань та підключень зовнішніх проводок. Монтажна схема щита.

6. Консультанти розділів проєкту

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 проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
	Постановка задачі автоматизації ТОВ	19.04.2023	
	Схема автоматизації. Схема структурна ПТК	01.05.2023	
	Схема принципова електрична АСР. Розрахунок вимірювальних каналів АТК	10.05.2023	
	Креслення щита загального виду. Розрахунок регульовально-виконавчих каналів АТК. Графічні ілюстрації до розрахункової частини проєкту	19.05.2023	
	Схема монтажна. Схема зовнішніх з'єднань. Опис графічних документів. Програмування ПТКЗА	25.05.2023	
	Полігонні випробування ІМ і аналіз функціонування АСУ. Охорона праці. Техніко-економічний розрахунок АСУ	31.05.2023	
	Відомість дипломного проєкту	11.06.2023	
	Нормоконтроль	16.06.2023	
	Передзахист ДП	17.06.2023	
	Захист ДП	23.06.2023	

Студент

Олеся ВИСОТІНА

Керівник

Павло ГІКАЛО

АНОТАЦІЯ

У дипломному проєкті було розроблено автоматизовану систему керування опалення за допомогою теплої підлоги. Також, креслення такі, як: функціональна схема автоматизації, принципова електрична схема, креслення загального виду щита автоматизації, схему з'єднань та підключень зовнішніх проводок та монтажну схему щита.

Для детального опису об'єкта написана пояснювальна записка, яка складається з семи розділів.

У першому розділі була поставлена та обґрунтована задача автоматизації.

Другий розділ складається з розрахунків вимірювальних каналів, регульовано-виконавчих каналів наведеної системи і розрахунка надійності функціонування системи.

У розділі «Опис графічної частини» розроблені схеми та аргументований вибір приладів для надійного функціонування системи опалення.

У четвертому та п'ятому розділі було описано програмування ПЛК та розробка людинно-машинного інтерфейсу. Також, показані полігонні випробування ІМ за допомогою таких середовищ, як Codesys, Matlab та WebStudio.

У розділі «Охорона праці» наведені необхідні заходи для безпечного встановлення та використання обладнання.

У сьомому розділі було розраховано техніко-економічну ефективність системи та термін окупності капіталовкладень, що дорівнює 3,6 років. Отже, впровадження системи є економічно вигідним рішенням.

Таким чином, можна зробити висновок, що на основі виконаного дипломного проєкту можна автоматизувати систему опалення за допомогою теплої підлоги.

Ключові слова: автоматизована система керування, опалення, регулювання температури, тепла підлога.

ANNOTATION

The diploma project developed an automated heating control system using underfloor heating. Also, the drawings are such as: functional diagram of automation, basic electrical diagram, drawing of the general view of the automation board, diagram of connections and connections of external wiring and assembly diagram of the board.

For a detailed description of the object, an explanatory note has been written, which consists of seven sections.

In the first chapter, the automation task was set and justified.

The second section consists of calculations of measuring channels, regulated executive channels of the given system and calculation of the reliability of the system's functioning.

In the "Description of the graphic part" section, schemes and a reasoned choice of devices for the reliable functioning of the heating system are developed.

In the fourth and fifth chapters, PLC programming and human-machine interface design were described. Also, field tests of MI using such environments as Codesys, Matlab and WebStudio are shown.

The "Occupational safety" section provides the necessary measures for safe installation and use of the equipment.

In the seventh chapter, the technical and economic efficiency of the system and the payback period of capital investments, equal to 3.6 years, were calculated. Therefore, the implementation of the system is an economically beneficial decision.

Thus, it can be concluded that on the basis of the completed diploma project, it is possible to automate the heating system with the help of underfloor heating.

Keywords: automated control system, heating, temperature regulation, warm floor.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АСР – автоматична система регулювання

АСУ – автоматизована система управління

АСУТП – автоматизована система управління технологічним процесом

ВК – вимірювальні канали

ВМ – виконавчий механізм

АЦП - аналого-цифровий перетворювач

ЦАП - цифро-аналоговий перетворювач

ПЗ – пояснювальна записка

ПІ – пропорційно-інтегральний

ПЛК – програмований логічний контролер

ПТЗ – програмно-технічні засоби

ПТКЗА – програмно-технічний комплекс засобів автоматизації

РАФХ – розширена амплітудо-фазова характеристика

РО – регулюючий орган

САР – система автоматичного регулювання

ТОУ – технологічного об'єкту управління

HMI – human-machine interface, людино-машинний інтерфейс

PLC – programmable logic controller, програмований логічний контролер

SCADA – supervisory control and data acquisition, диспетчерське управління і збір даних

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Автоматизована система
керування опалення за
допомогою теплої підлоги»**

Київ – 2023 року

ЗМІСТ

ВСТУП	11
РОЗДІЛ 1 ПРОЄКТУВАННЯ АСУТП.....	13
1.1 Характеристика технологічного об'єкту управління.....	13
1.2 Вибір і обґрунтування структури АСУТП ТОУ	14
1.3 Технологічні параметри АСУТП ТОУ	17
1.4 Функції АСУТП	17
1.5 Схема структурна програмно-технічного комплексу	19
1.6 Перелік і аналіз джерел техніко-економічної ефективності АТК ТОУ	22
РОЗДІЛ 2 ІНЖЕНЕРНИЙ РОЗРАХУНОК САР	23
2.1. Інженерний розрахунок вимірювальних каналів САР.....	23
2.1.1 Перелік вимірювальних каналів	23
2.1.2 Схеми структурні вимірювальних каналів	23
2.1.3 Особливості електричних підключень давачів вимірювальних каналів	24
2.1.4 Монтаж технічних засобів вимірювальних каналів	24
2.1.5 Захист технічних засобів вимірювальних каналів від перешкод..	25
2.1.6 Схеми структурні надійності вимірювальних каналів	26
2.1.7 Метрологічний розрахунок вимірювальних каналів.....	27
2.1.8 Розрахунок надійності вимірювальних каналів	29
2.1.9 Функції первинної обробки даних вимірювання в ПЛК.....	30
2.1.10 Висновок щодо роботоздатності вимірювальних каналів САР ..	31
2.2 Інженерний розрахунок регулювально-виконавчих каналів САР	31
2.2.1 Перелік систем автоматичного регулювання.....	31
2.2.2 Функціональна і структурна схеми САР	32
2.2.3 Схема структурна регулювально-виконавчого каналу САР	32
2.2.4 Схема структурна програмно-технічних засобів САР	33

					ТА-91385.0003.001АТХ.П		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата			
Розроб.	Висотіна О.О.				Автоматизована система керування опалення за допомогою теплої підлоги	Літ.	Арк.
Перевір.	Гікало П.В.					ДП	8
Реценз.						КПІ ім. І. Сікорського НН ІАТЕ	
Н. контр.	Некрашевич О.В.						
Затверд.	Волощук В.А.						
						Аркушів	99

2.2.5	Схема структурна надійності реалізації управляючої функції САР	33
2.2.6	Розрахунок надійності реалізації управляючої функції САР	33
2.2.7	Ідентифікація об'єкта управління	34
2.2.8	Розрахунок регуляторів САР	35
2.2.9	Функціональне моделювання САР	45
РОЗДІЛ 3 ОПИС ГРАФІЧНОЇ ЧАСТИНИ ПРОЄКТУ		48
3.1	Схема функціональна автоматизації ТОВ	48
3.2	Схема принципова електрична АСР	50
3.3	Креслення загального виду щита	51
3.4	Схема монтажна щита (таблиця з'єднань)	52
3.5	Схема зовнішніх з'єднань	52
3.6	Специфікація обладнання	52
3.6.1	Котел	52
3.6.2	Радіаторне опалення	59
3.6.3	Прилади для вимірювання	64
3.6.4	Додаткові прилади для системи	66
РОЗДІЛ 4 ПРОГРАМУВАННЯ ПТКЗА		70
4.1	Програмування функціональності ПЛК	70
4.2	Програмування функціональності SCADA-системи	74
РОЗДІЛ 5 РЕАЛІЗАЦІЯ СУПЕРВІЗОРНОЇ HMI-STANDART ТА MES-LITE		
ФУНКЦІОНАЛЬНОСТІ В HMI/SCADA СИСТЕМІ WEBSTUDIO		77
РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ		80
6.1.	Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки експлуатації технологічного устаткування та засобів автоматизації	80
6.1.1	Вимоги до обслуговуючого персоналу котлового обладнання	83
6.1.2	Вимоги з електробезпеки при експлуатації засобів автоматизації	83
6.2.	Технічні рішення та організаційні заходи з гігієни праці та виробничої санітарії	85
6.2.1.	Мікроклімат робочої зони	85

6.2.2. Виробниче освітлення	87
6.2.3. Виробничий шум.....	87
6.3. Пожежна безпека та профілактика	87
6.4 Висновок	90
РОЗДІЛ 7 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК	91
ВИСНОВКИ.....	96
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	98

ВСТУП

Сучасні міжнародні підходи щодо ефективного використання наявних енергоресурсів стимулює створення нових технологій для задоволення потреб споживачів. У контексті триваючої війни в Україні, подальші можливості експлуатації централізованої електромережі взагалі постає під питанням. Наразі, уряд закликає українців до тотальної економії електроенергії.

Проблемні питання енергосистеми України сьогодні:

- окупація росією найбільшої в Європі Запорізької атомної електростанції;
- втрата більшої частини вітрової і майже половини сонячної генерації, через російські обстріли;
- пошкодження майже всіх теплових та гідроелектростанцій, внаслідок масованих атак російськими ракетами, які спрямовані на руйнування енергосистеми;
- збільшення залежності від імпорту електроенергії;
- зношеність наявної електромережі.

Як наслідок, зниження стабільної роботи енергосистеми, недостатність рівень потужності, віялові відключення для споживачів, збільшення вартості електроенергії.

У даній роботі буде наведено один з варіантів вирішення проблеми раціонального споживання енергоресурсів – система опалення за допомогою теплої підлоги.

Функціонування даної системи опалення дозволить досягнути мети:

- ефективного споживання електроенергії;
- раціонального використання коштів на оплату комунальних послуг з електроенергії;
- підвищення рівня енергоефективності в будинку;
- функціонування механізму матеріального стимулювання до ощадливого використання енергетичних ресурсів.

Одним із головних завдань для автономного функціонування теплої підлоги є створення сприятливих умов оточуючого середовища. Автоматизація процесів дозволить:

- забезпечити рівномірне опалення приміщення;
- встановити різні температури для кімнат, відповідно до їх призначення й потреб споживачів;
- підвищити рівень комфорту й стабільності працездатності системи опалення.

Значною перевагою до впровадження даної системи опалення є універсальність варіантів монтажу — встановлення різних матеріалів підлоги. Також плюсом є відсутність запаху, шуму, вібрації чи пилу при експлуатації теплої підлоги.

Найкраща реалізація проекту в приміщеннях житлового будинку за наступним призначенням: дитяча чи ігрова кімната, вітальня, спальня, кухня, санвузол, коридор чи балкон.

Мета дипломної роботи: забезпечення енергоефективності житлового будинку, шляхом впровадження системи опалення за допомогою теплої підлоги та радіаторної батареї.

Завданням дипломної роботи є розробка автоматизованої системи керування, за допомогою якої буде постачатися гаряча вода до теплої водяної підлоги та радіаторного опалення, що знаходяться у вітальні.

РОЗДІЛ 1 ПРОЄКТУВАННЯ АСУТП

1.1 Характеристика технологічного об'єкту управління

Система опалення за допомогою водяної теплої підлоги забезпечує опалення теплою водою, що надходить з газового котла. Потім вода циркулює через систему виділяючи тепло та, у наслідок чого, нагріває приміщення. У той же час, система контролю датчиків підвищує комфорт користувача в роботі з установкою.

Детальний опис системи опалення водяної теплої підлоги з газовим котлом:

- Газовий котел служить джерелом тепла для вибраної системи. Котел містить камеру згоряння, де спалюється природний газ та теплообмінник — передає воді тепло. Під час нагрівання води в котлі, щільність гарячої води зменшується, що дає можливість проходячи по трубі, витіснити холодну воду з баку, тим самим повертаючи холодну воду до котла, для подальшого нагріву.
- Насос забезпечує циркуляцію нагрітої води від котла до системи, забезпечуючи стабільний нагрів.
- Контролюється потік гарячої води від газового котла до кожного радіатора, що дозволяє індивідуально контролювати температуру в різних зонах будівлі.
- У системі управління є терморегулятор та датчики температури, що забезпечують точний контроль та зворотній зв'язок із системою керування. Протягом усього процесу постійно контролюється система та виявляє будь-які несправності чи помилки. У разі чого спрацьовує сигналізація або вимкнення системи, щоб запобігти пошкодженню приладу.
- Нагрівання приміщення відбувається у декілька етапів:
 - теплопередача

					ТА-91385.0003.001АТХ.П	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат		13

- покриття підлоги
- опалення кімнати

Отже, система опалення — це замкнутий контур, бо вода весь час намагається вирівняти рівень температури до бажаного.

Вхідна продукція: природний газ.

Проміжна продукція: вода.

Вихідна продукція: поверхня теплої підлоги.

Енергетичні потоки:

- сировина: паливо (газ), вода
- продукція: матеріали (труби, покриття для підлоги)
- енергія: теплова енергія, рівномірний розподіл тепла

1.2 Вибір і обґрунтування структури АСУТП ТОУ

Розглянемо та порівняємо 2 існуючі системи теплої підлоги: водяна (табл. 1.1), електрична (табл. 1.2).

Гідравлічна (водяна) система підігріву підлоги — це найпоширеніший тип, який використовує гарячу воду для обігріву. Зазвичай складається з котла, насоса, колектора та труб. Котел нагріває воду, яка потім циркулює по трубах у підлозі через насос і колектор. Управління системою здійснюється за допомогою термостата або системи управління, яка регулює температуру води і витрату.

Таблиця 1.1 — Водяна система теплої підлоги

Переваги	Недоліки
Вартість	Складність монтажу
Ефективне та рівномірне опалення	Протікання труби веде до вологості підлоги і стін приміщення
Сумісність з підлоговими покриттями: керамоплитка, паркет і паркетна дошка	Потребує регулярного огляду — за несправності можливе підтікання

Кінець таблиці 1.1

Переваги	Недоліки
У 95% випадків теплоносієм є звичайна вода. Це дуже зручно і не вимагає установки додаткового обладнання для перекачування хімічних рідин	Жорстка вода, вода з великим вмістом солей і заліза може призвести до корозії металевих складових опалювальної системи і відкладенню накипу
Вигідно для опалення великих приміщень, отже підходить для встановлення у приватних будинках	Значна товщина бетонної стяжки над теплими підлогами. Вона забирає 10 см висоти
Вода може нагріватися за допомогою газу, електрики або відновлюваними джерелами енергії, що робить гідронічні системи енергоефективними	Повільніший час відгуку: оскільки воду потрібно нагріти та циркулювати до досягнення бажаної температури.

Електрична система підігріву підлоги — це тип, який використовує електричні кабелі або нагрівальні мати для генерування тепла. Вони прокладаються поверх підлоги або вбудовуються в підлогу та виробляють тепло, коли через них пропускається електроенергія. Система управляється термостатом або системою управління, яка регулює температуру і тривалість нагріву.

Таблиця 1.2 — Електрична система теплої підлоги

Переваги	Недоліки
Застосування в якості основного або додаткового обігріву	Вартість
Можливе використання у квартирах, громадських, адміністративних та офісних приміщеннях	Значна товщина бетонної стяжки над теплими підлогами. Вона забирає 10 см висоти

Кінець таблиці 1.2

Переваги	Недоліки
Сумісність з підлоговими покриттями: ковролін, лінолеум, паркет, кахельна плитка, ламінат	Не можна встановлювати в місцях з підвищеною вологістю
Компоненти системи опалення, за винятком терморегулятора, приховано. Отже, не порушують дизайн	При неправильній установці та експлуатації є ризик виникнення пожежі
Обігрів не вимагає застосування допоміжного обладнання (котельного, насосного, змішувального), а тільки правильного підключення до електромережі	Монтаж за попереднього планування розташування меблів та побутової техніки, оскільки не можна встановлювати важкі предмети безпосередньо на систему, щоб не передавити кабель/не пошкодити плівку

Можна зробити висновок, що через відносно високу вартість електроенергії — електричні підлоги зазвичай економічно ефективніше, наприклад якщо вони мають товсту бетонну підлогу.

Отже, вибір зупинився на опаленні за допомогою водяної системи теплої підлоги. Бо встановлення даного виду обігріву буде проектуватися для приміщення, з підлоговим покриттям: плитка. А також, такий вид системи є найпопулярнішими та економічно ефективними. Вартість встановлення гідравлічної підлоги залежить від місця розташування та розміру, типу монтажу, підлогового покриття тощо.

1.3 Технологічні параметри АСУТП ТОУ

Технічні параметри діляться на:

- Режимні (табл. 1.3):

Таблиця 1.3 — Перелік режимних параметрів у даній системі

Назва технологічних параметрів	Діапазон вимірювань	Допустиме відхилення
Температура поданої води	80÷100 °С	± 0,25 %
Температура зворотної води	20÷30 °С	± 0,25 %

- Захисні:
 - Діапазон вимірюваної температури
 - Перепад тиску води між виходом і входом у насос
- Контрольні:
 - Температура повітря приміщення
 - Температура повітря на вулиці

1.4 Функції АСУТП

Функціональна структура — це функції, що виконуються системою управління (рис. 1.1). Поділяється на:

- Інформаційну
- Керуючу
- Захисну

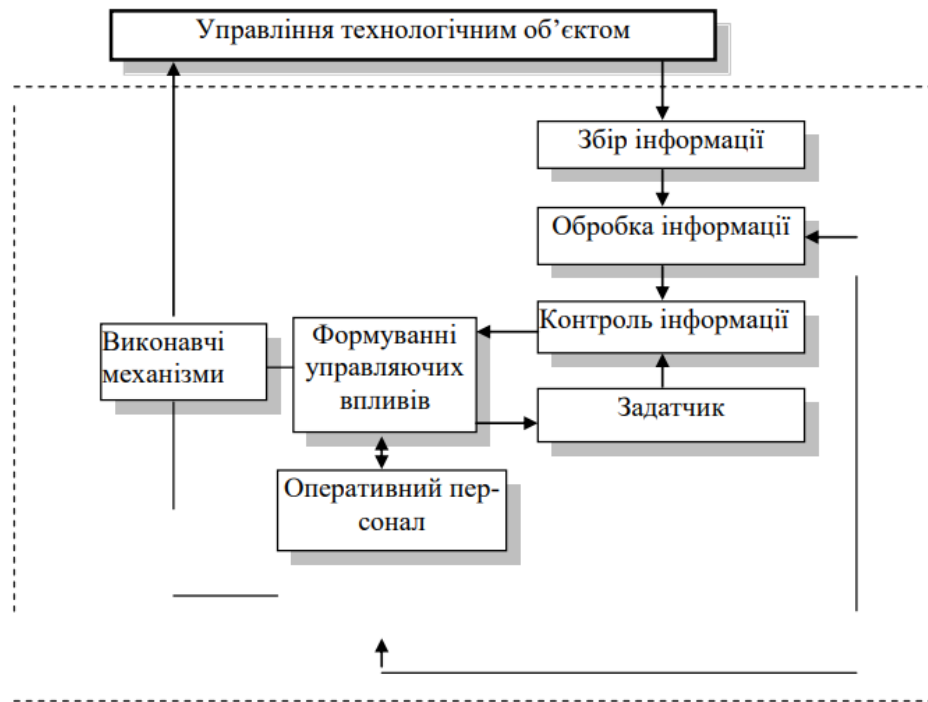


Рисунок 1.1 — Узагальнена функціональна структура АСУ ТП [1]

Керуючі функції забезпечують можливість неперервного регулювання значень до відповідних параметрів.

Перелік управляючих функцій у даній системі, які підтримують значення:

- неперервну підтримку температури в теплій підлозі за допомогою включення та відключення клапана

Захисна функція повинна забезпечувати порядок дій для передбачення шкоди у роботі системи в аварійних ситуаціях або мінімізувати наслідки.

Перелік захисних функцій у даній системі (світлові сигналізації про):

- надлишковість або недостатня кількість температури
- перепад тиску у трубопроводі з насосом, що захистить від «сухого ходу»
- припинення роботи насоса

Інформаційними є функції, що вимірюють технологічні параметри (табл. 1.4). Вони надають всю необхідну інформацію для об'єктивної оцінки стану системи та технологічного процесу, що є результатом отриманих даних з датчиків, які заходяться у системі.

Таблиця 1.4 — Перелік інформаційних функцій у даній системі

Назва вимірювальних параметрів	Номінальні значення
Температура води на виході з газового котла	90 °С
Температура води на вході до газового котла	30 °С
Температура води всередині бака	70 °С
Температура води на вході до теплої підлоги	35 °С
Температура повітря приміщення	20 °С
Температура повітря на вулиці	0 °С
Перепад тиску води між виходом і входом у насос	1,5 бар

Отже, процес управління складається з наступних операцій над інформацією:

- одержання та обробка
- аналіз
- ухвалення рішення про вплив на процес

1.5 Схема структурна програмно-технічного комплексу

У цьому підрозділі була розроблена структурна схема ПТК (рис. 1.2).

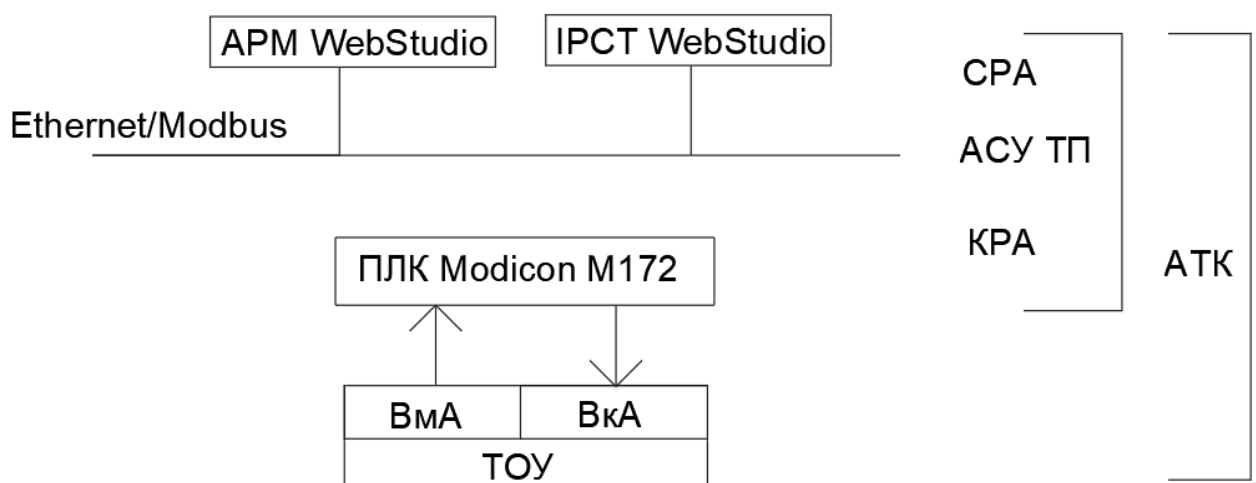


Рисунок 1.2 — Структурна схема промислового АТК

✓ ТОУ – технологічний об’єкт управління.

- ✓ ВМА – вимірювальна апаратура.
- ✓ ВкА – виконавча апаратура.
- ✓ ПЛК – програмований логічний контролер.
- ✓ АРМ – автоматизоване робоче місце.
- ✓ IPCT – інженерна робоча станція.
- ✓ СРА – супервізорний рівень автоматизації.
- ✓ АСУ ТП – автоматизована система управління технологічними процесами.
- ✓ КРА – контролерний рівень автоматизації.
- ✓ АТК – автоматизований технічний комплекс.

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) – це програмне забезпечення, що реалізує обмін з контролерами (рис. 1.3) та виконує три завдання:

- Контролює дані у реальному часі у вигляді графіка
- Керує локально або дистанційно
- Отримує дані у реальному часі або з архівів

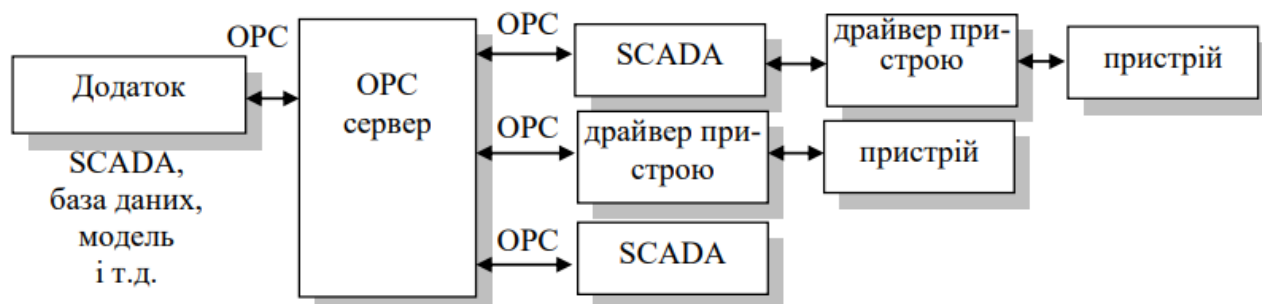


Рисунок 1.3 — Варіанти обміну SCADA-системи [2]

HMI (Human machine interface) – це програмне забезпечення, яке реалізує взаємодіє між оператором та АТК. Зазвичай, HMI і SCADA об’єднуються в HMI/SCADA.

Програмне забезпечення SCADA, що встановлене на моніторинговому персональному комп’ютері, та ПЛК мають бути підключені до одного з протоколів зв’язку, наприклад, Modbus TCP інтерфейс Ethernet (рис. 1.4) або Modbus RTU інтерфейс RS-485. Також, є можливість перетворити Modbus TCP в RTU за допомогою конвектора (рис. 1.5).

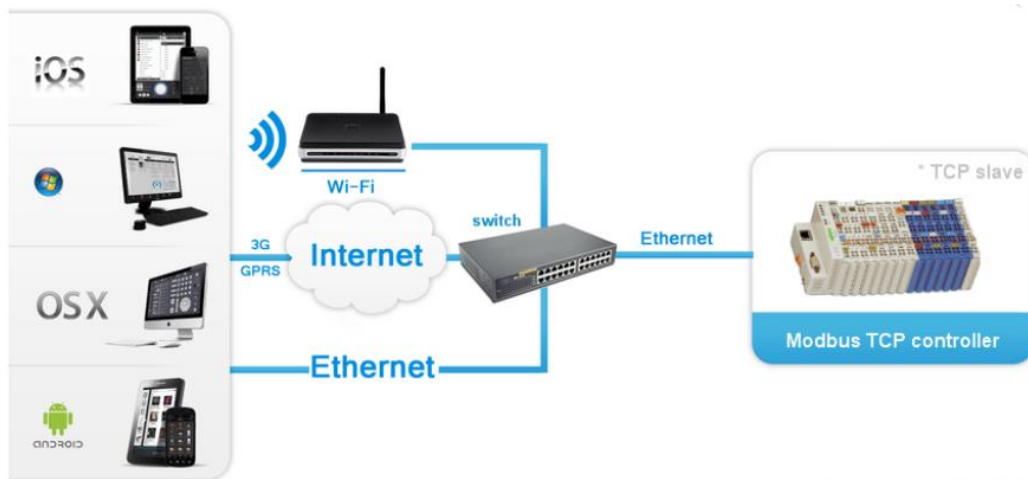


Рисунок 1.4 – Сервер Modbus TCP [2]



Рисунок 1.5 – Сервер Modbus TCP в RTU [2]

Для програмування ПЛК та SCADA-систем можна використати одну або поєднання декількох мов програмування:

- FBD (Functional Block Diagrams) – графічна мова представлення ФБ (функціональних блоків), що імітують вхідні, вихідні та проміжні змінні
- LD (Ladder Diagrams) – мова логічних виразів у вигляді релейно-контактних схем, що мають відповідні обмеження
- ST (Structured Text) – текстова мова високого рівня, що схожа за синтезом на Pascal
- IL (Instruction List) – текстова мова низького рівня, що схожа на Асемблер, але не прив'язана до конкретного процесора
- SFC (Sequential Function Diagrams) — графічна мова для опису алгоритмів, використовуються блок-схеми

Після створення та налагодження програми завантажується на пам'ять ПЛК для виконання.

1.6 Перелік і аналіз джерел техніко-економічної ефективності АТК ТОВ

Технічно-економічна ефективність АСУ включає:

- підвищення ефективності
- зниження витрат
- покращення якості продукції
- мінімізація аварійних ситуацій

					ТА-91385.0003.001АТХ.П	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат		22

РОЗДІЛ 2 ІНЖЕНЕРНИЙ РОЗРАХУНОК САР

2.1. Інженерний розрахунок вимірювальних каналів САР

2.1.1 Перелік вимірювальних каналів

У роботі розглядається система, у якій є наступні вимірювальні канали:

- ВК температури води на виході з газового котла;
- ВК температури води на вході до газового котла;
- ВК температури води всередині бака;
- ВК температури води на вході до теплої підлоги;
- ВК температури повітря приміщення;
- ВК температури повітря на вулиці;
- ВК перепад тиску води між виходом і входом у насос.

2.1.2 Схеми структурні вимірювальних каналів

Кожний вимірювальний канал складається з датчика (Д) та програмованого логічного контролера (ПЛК). Нижче наведена структурна схема ВК для температури води та повітря, t , °C. А також, для перепаду тиску, ΔP , кПа.

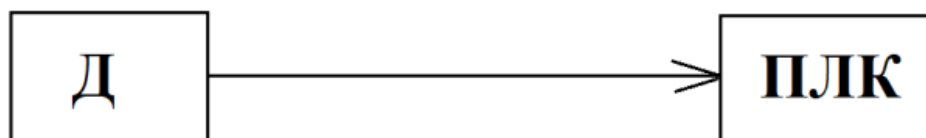


Рисунок 2.1 — Загальна структурна схема ВК

Для вимірювання температури води оберемо термоперетворювач опору Raut Automatic Pt1000 Stw-04. Датчик має діапазон вимірювання $0 \div 150^{\circ}\text{C}$, клас точності 0.5. [3]

Для вимірювання температури повітря оберемо термоперетворювач опору Raut Automatic STH-03. Датчик має діапазон вимірювання $-30 \div 50^{\circ}\text{C}$, клас точності 0.5. [4]

Для вимірювання перепаду тиску до та після насоса виберемо Danfoss YNS-C106X. Давач має діапазон вимірювання (0,25÷3,5) бар, ступінь захисту IP20, похибка $\pm 0,15$. [5]

2.1.3 Особливості електричних підключень давачів вимірювальних каналів

Давачі мають уніфікований вихідний сигнал 4-20 мА і підключаються наступним чином:

Контакт блок живлення «+» підключається до контакт «+» давача.

Контакт давача «-» підключається до контакт «+» клеми контролера.

Паралельно до кожного з них вмикаються стабілітрони задля підтримання системи у робочому стані навіть при виході з ладу одного з приладів.

2.1.4 Монтаж технічних засобів вимірювальних каналів

Для монтажу датчика Raut Automatic Pt1000 Stw-04 температури води використовуємо — прямий контакт. У даному випадку, датчики занурюються у середовище, для точного визначення показників.

Для монтажу датчика Raut Automatic Pt1000 STH-03 температури повітря використовуємо — клейове кріплення. У даному випадку, датчик кріпиться до стінки (приміщення та вулиці), бо прямий контакт з системою не можливий.

Для монтажу датчика Danfoss YNS-C106X перепаду тиску води використовуємо — різьбовий фітинг. У даному випадку, датчик вставляється в різьбовий отвір у обладнанні, а ковпачок використовується для фіксації.

- електромагнітне випромінювання
- випромінювання радіостанцій
- “шумляче” обладнання
- від силових кабелів
- статична електрика
- трансформатори
- блискавка тощо

Рівень перешкод неможливо анулювати, але можна захистити технічні засоби від завад наступним чином:

- Скрутка проводів — зменшити вплив паразитних зв’язків
- Екранування — зменшити паразитні ємності та зв’язки
- Заземлення — щоб запобігти накопиченню статичної електрики та мінімізувати електричні перешкоди
- Відокремлення від джерел електричних завад

2.1.6 Схеми структурні надійності вимірювальних каналів

Нижче наведені структурні схеми надійності для обраних ВК:

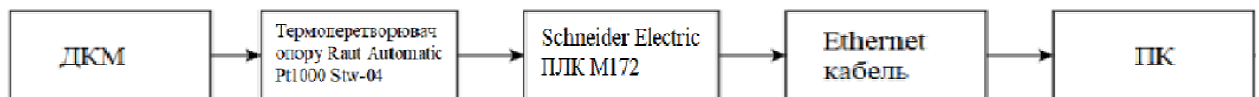


Рисунок 2.4 – Структурна схема каналу вимірювання температури
ВОДИ

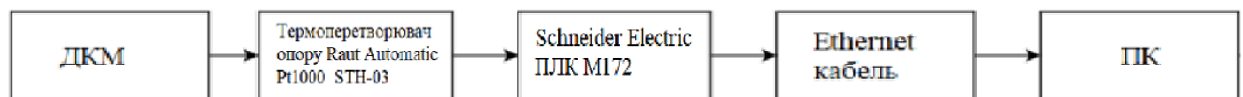


Рисунок 2.5 – Структурна схема каналу вимірювання температури
повітря

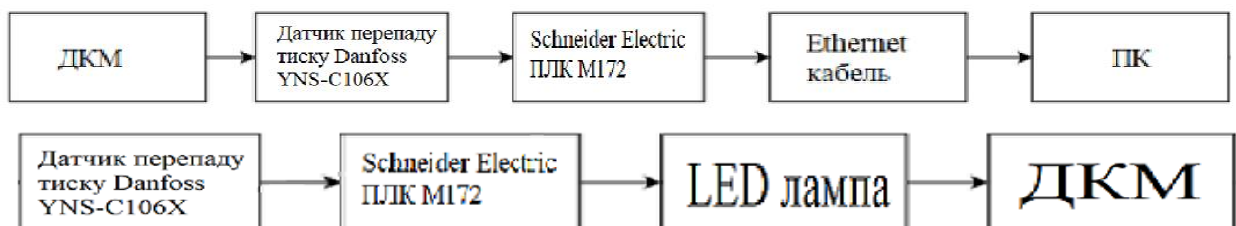


Рисунок 2.6 – Структурна схема каналу вимірювання перепаду тиску

2.1.7 Метрологічний розрахунок вимірювальних каналів

Формула для розрахунку абсолютної похибки елементів ВК:

$$\Delta_{\text{ел}} = \frac{\varepsilon_{\text{ел}} \cdot (X_{\text{max}} - X_{\text{min}})}{100}, \quad (2.1)$$

де $\varepsilon_{\text{ел}}$ — клас точності елемента

X_{max} та X_{min} – максимальне та мінімальне значення вимірювання

Абсолютна похибка ВК:

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

де Δ_i — це допустима похибка кожного елемента ВК

Відносна похибка ВК:

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

Таблиця 2.1 — Технічні характеристики елементів ВК

Елемент ВК	Клас точності	Діапазон вимірювання	Межа допустимої похибки ВК
Термоперетворювач опору Raut Automatic Pt1000 Stw-04	0,5	0÷150°C	±1°C
Schneider Electric ПЛК M172	0,1		
Термоперетворювач опору Raut Automatic Pt1000 STH-03	0,5	-30÷50°C	±1°C
Schneider Electric ПЛК M172	0,1		
Датчик перепаду тиску Danfoss YNS-C106X	0,15	25...350 кПа	±15 кПа
Schneider Electric ПЛК M172	0,1		

Розрахунок ВК для температури води, t, °C (Д-ПЛК).

Межі основної допустимої приведеної похибки з формули (2.1) для кожного елемента ВК:

$$\Delta_{\text{датчик}} = \frac{0,5 \cdot (150 - 0)}{100} = 0,75^\circ\text{C};$$

$$\Delta_{\text{датчик}} = \frac{0,1 \cdot (150 - 0)}{100} = 0,15^{\circ}\text{C};$$

Абсолютна похибка ВК температури з формули (2.2):

$$\Delta_{\text{ВКтемператури}} = \sqrt{(0,75)^2 + (0,15)^2} = 0,76^{\circ}\text{C};$$

Відносна похибка ВК з формули (2.3):

$$\eta_{\text{ВК}} = \frac{0,76}{150} \cdot 100\% = 0,5\%;$$

Результати розрахунків:

$$t = t_0 \pm 0,76^{\circ}\text{C}.$$

Абсолютна похибка ВК для температури води не перевищує допустиму ($0,76 < 1$), з цього можна зробити висновок, що обрані датчики відповідають точності для даного вимірювального каналу.

Розрахунок ВК для температури повітря, t , $^{\circ}\text{C}$ (Д-ПЛК).

Межі основної допустимої приведеної похибки з формули (2.1) для кожного елемента ВК:

$$\Delta_{\text{датчик}} = \frac{0,5 \cdot (50 + 30)}{100} = 0,65^{\circ}\text{C};$$

$$\Delta_{\text{датчик}} = \frac{0,1 \cdot (50 + 30)}{100} = 0,08^{\circ}\text{C};$$

Абсолютна похибка ВК температури з формули (2.2):

$$\Delta_{\text{ВКтемператури}} = \sqrt{(0,65)^2 + (0,08)^2} = 0,65^{\circ}\text{C};$$

Відносна похибка ВК з формули (2.3):

$$\eta_{\text{ВК}} = \frac{0,65}{80} \cdot 100\% = 0,81\%;$$

Результати розрахунків:

$$t = t_0 \pm 0,65^{\circ}\text{C}.$$

Абсолютна похибка ВК для температури повітря не перевищує допустиму ($0,65 < 1$), з цього можна зробити висновок, що обрані датчики відповідають точності для даного вимірювального каналу.

Розрахунок ВК для перепаду тиску, ΔP , кПа (Д-ПЛК).

Межі основної допустимої приведеної похибки з формули (2.1) для кожного елемента ВК:

$$\Delta_{\text{датчик}} = \frac{0,15 \cdot (350 - 25)}{100} = 0,49 \text{ кПа};$$

$$\Delta_{\text{ПЛК}} = \frac{0,1 \cdot (350 - 25)}{100} = 0,33 \text{ кПа};$$

Абсолютна похибка ВК перепаду тиску з формули (2.2):

$$\Delta_{\text{ВКтиску}} = \sqrt{(0,49)^2 + (0,33)^2} = 0,59 \text{ кПа};$$

Відносна похибка ВК з формули (2.3):

$$\eta_{\text{ВК}} = \frac{0,59}{325} \cdot 100\% = 0,18\%;$$

Результати розрахунків:

$$P = P_0 \pm 0,59 \text{ кПа}.$$

Абсолютна похибка ВК для перепаду тиску не перевищує допустиму ($0,59 < 15$), з цього можна зробити висновок, що обрані датчики відповідають точності для даного вимірювального каналу.

2.1.8 Розрахунок надійності вимірювальних каналів

Задаймо критерії:

- Середнє напрацювання на відмову $\geq 0,7$ р
- Середній час відновлення ≤ 6 год
- Коефіцієнт готовності $\geq 0,99$

Надійність кожного елементу характеризується інтенсивністю відмов.

Чим надійніше, тим менше значення інтенсивності.

Таблиця 2.2 — Показники надійності елементів ВК

Елемент	Середній час напрацювання на відмову, год	Інтенсивність відмов, 1/год
Датчик перепаду тиску	$T_{\text{ср}} = 50000$	$\lambda_{\text{тиск}} = \frac{1}{T_{\text{ср}}} = 0,00002$
Датчики температури води	$T_{\text{ср}} = 43800$	$\lambda_{\text{темпл}} = \frac{1}{T_{\text{ср}}} = 0,000023$
Датчики температури повітря	$T_{\text{ср}} = 43800$	$\lambda_{\text{темпл}} = \frac{1}{T_{\text{ср}}} = 0,000023$

Загальна інтенсивність — це сума інтенсивності відмов усіх ВК.

$$\lambda = \lambda_{\text{тиск}} + 6 \cdot \lambda_{\text{темпл}} = 0,000158 \frac{1}{\text{год}}$$

Середній час напрацювання на відмову:

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{\lambda_{\text{ср}}} = \frac{1}{0,000158} = 6329,11 \text{ год} = 0,7 \text{ роки}$$

Імовірність безвідмовної місячної роботи $\tau = 24 \text{ год} \cdot 30 \text{ днів} = 720 \text{ год}$:

$$P(720) = e^{-\lambda \tau} = e^{-0,000158 \cdot 720} = 0,89$$

Коефіцієнт готовності при часу відновлення $T_{\text{в}} = 6 \text{ год}$:

$$K_{\text{готов}} = \frac{T_{\text{ср}}}{T_{\text{ср}} + T_{\text{в}}} = \frac{6329,11}{6329,11 + 6} = 0,999$$

Отже, система повністю відповідає заданим критеріям:

- наробіток на відмову = 0.7,
- коефіцієнт готовності = 0,999.

2.1.9 Функції первинної обробки даних вимірювання в ПЛК

Первинна обробка даних вимірювання в ПЛК виконується над необробленими даними. Для того, щоб отримані дані перетворити на інформацію для аналізу, контролю та моніторингу. Обробка включає такі функції, як:

- Перетворення необроблених фізичних значень на одиниці вимірювання
- Фільтрація та згладжування небажаних шумів, коливань тощо. Для стабільності вимірювання й роботи
- Корегування даних
- Перевірка діапазону вимірюваних значень для достовірної інформації. Дані, що виходять за межі — вважаються недійсними
- Сигналізація про неналежну роботу датчиків, які виходять за діапазон допустимих значень (перевищують чи знаходяться нижче уставки)
- Реєстрація та зберігання даних для подальшого аналізу
- Передача даних для обробки та візуалізації. Для цього використовують протоколи, наприклад: Modbus, Ethernet/IP

2.1.10 Висновок щодо роботоздатності вимірювальних каналів САР

У другому розділі було наведено перелік вимірювальних каналів САР, їх структурні схеми, функції первинної обробки даних, опис електричного підключення, монтажу та захисту ВК від перешкод, проведено інженерні розрахунки (надійності та метрологічні) вимірювальних каналів САР.

Після розрахунку вимірювальних каналів, можна зробити висновки, що обрані прилади задовольняють вимоги. Абсолютна похибка вимірювання не перевищує допустиму.

Також було проведено розрахунок надійності ВК. Один з критеріїв був середній час напрацювання на відмову. У зв'язку з врахуванням тривалості опалювального сезону було зазначено, що він не повинен бути менше ніж 0,7 року. Після та перед новим опалювальним сезоном повинна відбуватися перевірка обладнання.

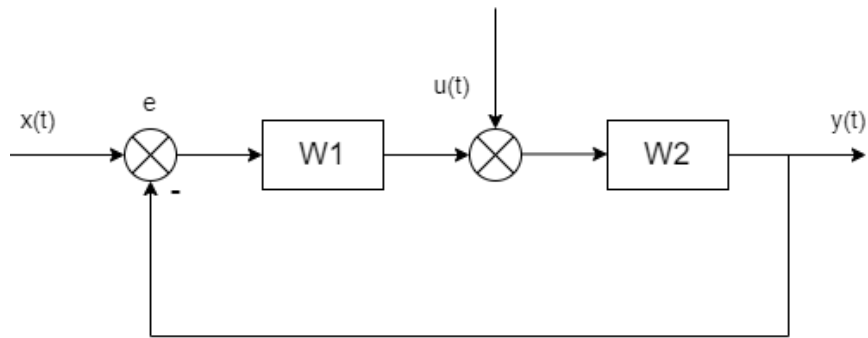
Виконавши розрахунки усіх ВК було зроблено висновок про те, що система повністю відповідає заданим критеріям.

2.2 Інженерний розрахунок регулювально-виконавчих каналів САР

2.2.1 Перелік систем автоматичного регулювання

У даній системі буде розглядатись такі контури регулювання: контур регулювання температури у системі, підтримання температури ГВП.

Одноконтурна система має дві передавальні функції – об'єкт та регулятор (рис. 2.17). Регулювання здійснюється за допомогою ПІ-регулятора. Для системи регулювання температури в системі опалення з котлом обрана аналогічна. Для системи регулювання температури води без використання котла вибрана одноконтурна система регулювання.



а

Рисунок 2.7 — Схема регулювання, де $x(t)$ — заданий рівень, $y(t)$ — рівень, що регулюється, e – сигнал розбалансу та $u(t)$ — збурення.

2.2.2 Функціональна і структурна схеми САР

Функціональна схема до мого проєкту наведена нижче (рис. 2.8).

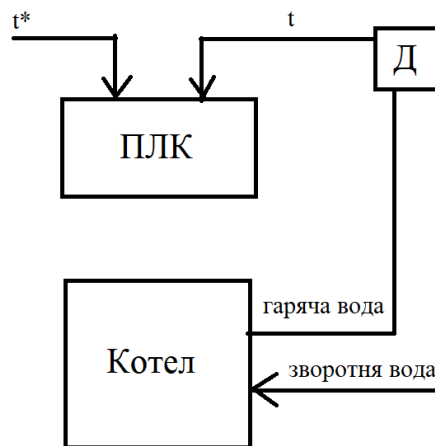


Рисунок 2.8 — Схема функціональна САР, де t^* — задана, t — поточна температура

2.2.3 Схема структурна регулювально-виконавчого каналу САР

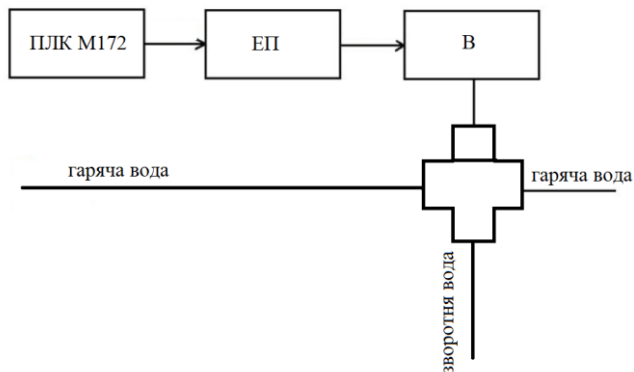


Рисунок 2.9 — Схема структурна регулювально-виконавчого каналу САР

2.2.4 Схема структурна програмно-технічних засобів САР

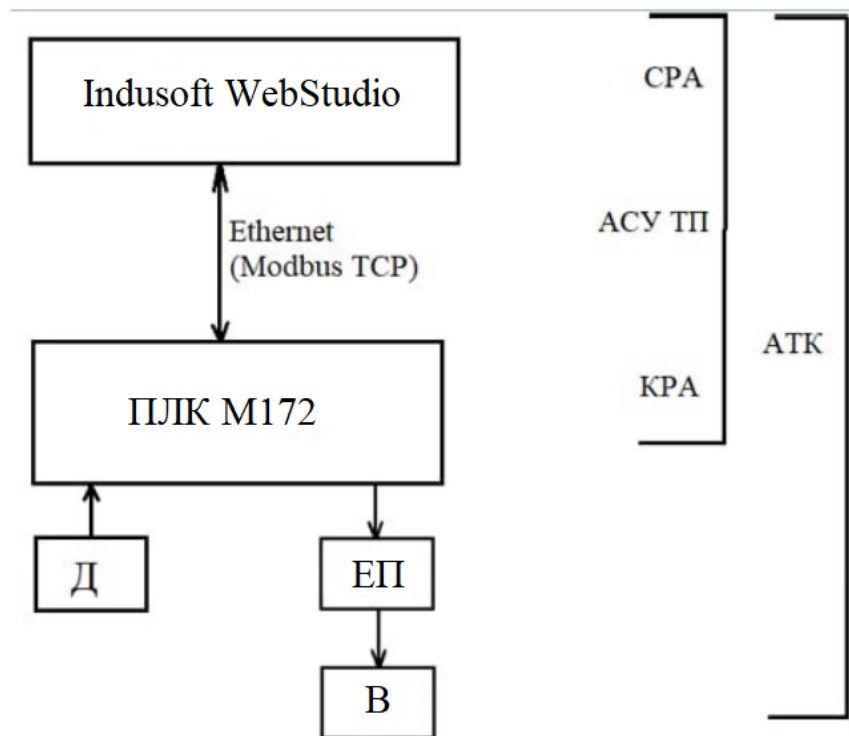


Рисунок 2.10 — Схема структурна програмно-технічних засобів САР, де
Д — датчик, ЕП — електро cơханічний привод, В — вентиль

2.2.5 Схема структурна надійності реалізації управляючої функції САР

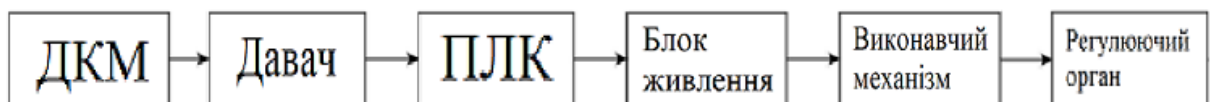


Рисунок 2.11 — Структурна схема надійності керуючої функції

2.2.6 Розрахунок надійності реалізації управляючої функції САР

Для початку занесемо елементи, їх інтенсивність та середній час на працювання на відмову у табл 2.3.

Таблиця 2.3 — Показники надійності елементів

Елемент	Середній час на працювання на відмову	Інтенсивність відмов
Датчик STw-04	43800	0,000023 ($2,3 \cdot 10^{-5}$)
M172	86400	0,000012 ($1,2 \cdot 10^{-5}$)

Кінець таблиці 2.3

Елемент	Середній час напрацювання на відмову	Інтенсивність відмов
Трьохходовий сідельний клапан	172800	0,000006 (0,6 · 10 ⁻⁵)
ДКМ	86400	0,000012 (1,2 · 10 ⁻⁵)
ПК	50000	0,00002 (2 · 10 ⁻⁵)
Блок живлення	43800	0,000023 (2,3 · 10 ⁻⁵)

Розрахунки:

Загальна інтенсивність відмов:

$$\begin{aligned}\lambda &= \lambda_{\text{ДКМ}} + \lambda_{\text{д}} + \lambda_{\text{ПЛК}} + \lambda_{\text{БЖ}} + \lambda_{\text{ВМ}} + \lambda_{\text{РО}} \\ &= (1,2 + 2,3 + 1,2 + 2,3 + 0,6) \cdot 10^{-5} = 7,6 \cdot 10^{-5} \\ &= 0,000076\end{aligned}$$

Середній час напрацювання на відмову:

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0,000076} = 13158 \text{ год} = 1,5 \text{ роки}$$

Імовірність безвідмовної місячної роботи $\tau = 24 \text{ год} \cdot 30 \text{ днів} = 720 \text{ год}$:

$$P(720) = e^{-\lambda\tau} = e^{-0,000076 \cdot 720}$$

2.2.7 Ідентифікація об'єкта управління

Дані та формули, що використовувалися для знаходження функції:

$$Q = c \cdot m \cdot (t_2 - t_1)$$

c – питома теплоємність води = 4186 Дж/кг·С

c – питома теплоємність бетонної стяжки = 1100 Дж/кг·С

$$4186 / 1100 = 3,8$$

$$\text{Переріз труби: } 0,06 \cdot \pi = 0,11304$$

$$\text{Потрібна довжина труби: } 1200 \cdot 0,11304 = 13,5648 \text{ дм}^3$$

0,287 л/с води проходить у середині труб за допомогою насоса

$$13,5648/0,287 = 47,264$$

Загальна передавальна функція об'єкту, що була розрахована математичним шляхом:

$$W(s) = \left(\frac{0.6}{47.264s + 1} \right) \cdot \frac{1.36}{12.438s + 1} = \frac{0.816}{(47.264s + 1)(12.438s + 1)}$$

Об'єктом є аперіодична ланка другого порядку. Складається з двох частин: вода та бетонна стяжка.

2.2.8 Розрахунок регуляторів САР

Передавальна функція об'єкта:

$$W(s) = \frac{0.816}{(47.264s + 1)(12.438s + 1)}$$

Змоделюємо об'єкт у середовищі MATLAB Simulink та отримаємо перехідну характеристику:



Рисунок 2.12 — Структурна схема

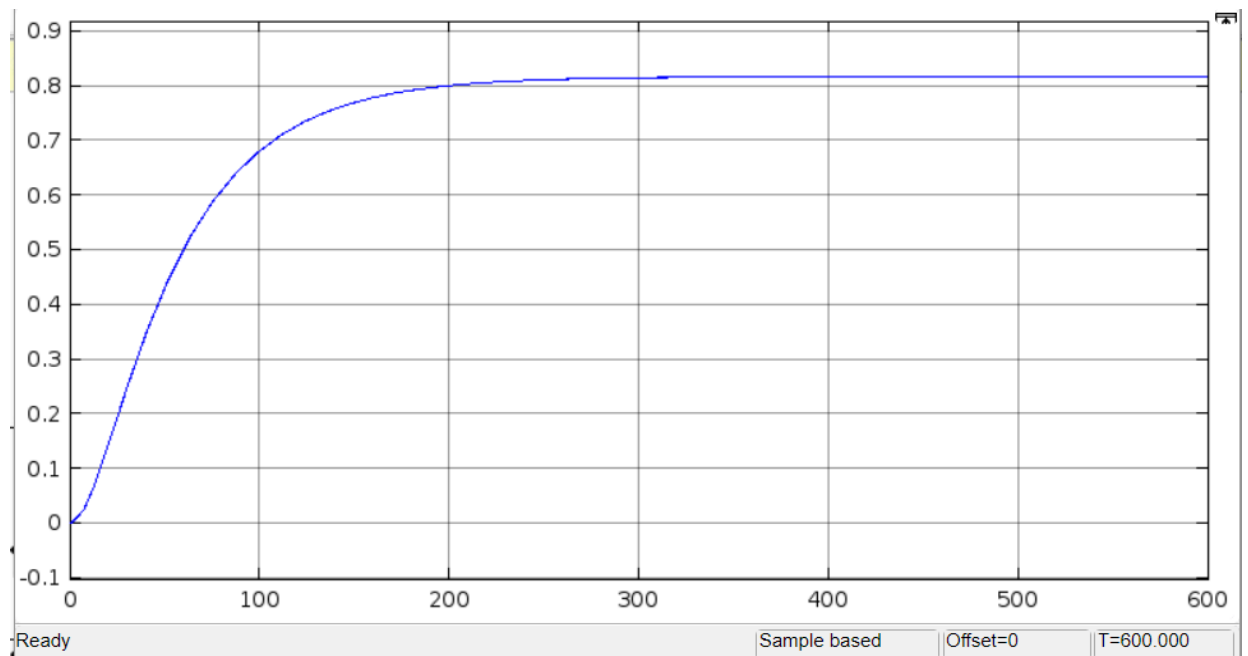


Рисунок 2.13 — Перехідна характеристика

Розрахуємо регулятор використавши метод РАФХ. Ступінь загасання приймемо за $\psi=0,95$, а коливальну стійкість m отримаємо з наступної формули: $\Psi = 1 - e^{-2\pi m}$. Отже, $m = 0,477$.

Для побудови (рис. 2.15) АФХ та РАФХ об'єкта створимо код у MATLAB (рис. 2.14):

```
w = 0:0.00001:1;
m = 0.477;
s = 1j*w;
s_e = w*(1j-m);
W=(0.6./(47.264.*s+1)).*(1.36./(12.4381.*s+1));
Wexp = (0.6./(47.264.*s_e+1)).*(1.36./(12.4381.*s_e+1));
fig = figure;
plot(real(W), imag(W))
hold on
plot(real(Wexp), imag(Wexp))
plot(-1,0,'ko');
xlabel('Re(ω)')
ylabel('Im(ω)')
grid on
title("АФХ і РАФХ об'єкта")
legend("АФХ", "РАФХ", "Точка (-1,j0)")
fig.CurrentAxes.XAxisLocation = "origin";
fig.CurrentAxes.YAxisLocation = "origin";
axis([-1 1 -1 1]);
```

Рисунок 2.14 – Код

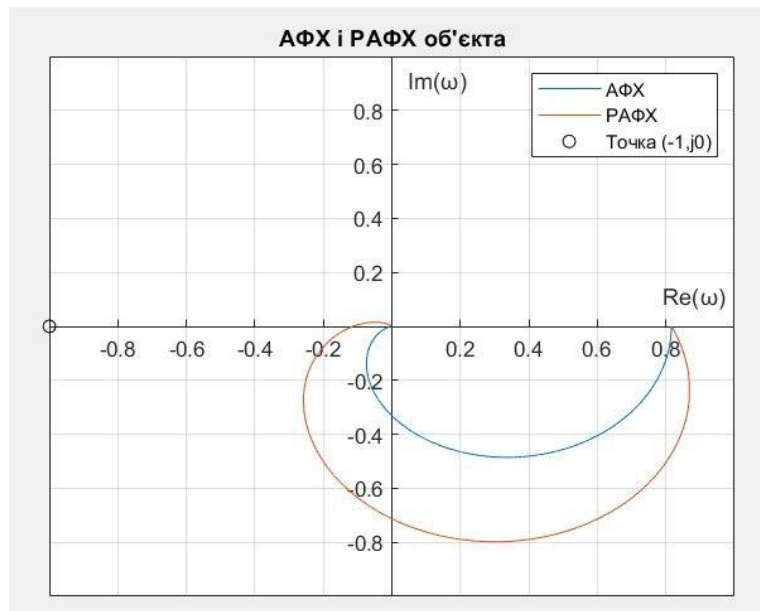


Рисунок 2.15 — АФХ і РАФХ об'єкта

Для того, щоб написати код (рис. 2.16) та до нього побудувати криву (рис. 2.17) $m = \text{const}$ скористуємось наступними формулами:

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

$$\text{де } (A_{\text{розш}}(m, w))^2 = P_{\text{розш}}^2(m, w) + Q_{\text{розш}}^2(m, w)$$

```

w = 0:0.000001:0.1;
m = 0.477;
s_e = w*(1j-m);
Wexp = (0.6./(47.264.*s_e+1)).*(1.36./(12.4381.*s_e+1));
Re = real(Wexp);
Im = imag(Wexp);
A2 = Re.^2+Im.^2;
Kp = -(Re+Im.*m)./A2;
Ki = -w*(m^2+1).*Im./A2;
[Kim, m] = max(Ki);
Kpm = Kp(Ki==Kim);
fig = figure;
plot(Kp, Ki)
hold on;
plot(Kpm,Kim,"ro")
plot(Kp(m+find(Ki(m:end)<Kim*0.95,1)),Kim*0.95,"ro")
title("Крива m=0.477 у координатах Ki=f(Kp) ")
xlabel('Kp')
ylabel('Ki')
grid on
fig.CurrentAxes.XAxisLocation = "origin";
fig.CurrentAxes.YAxisLocation = "origin";

```

Рисунок 2.16 – Код

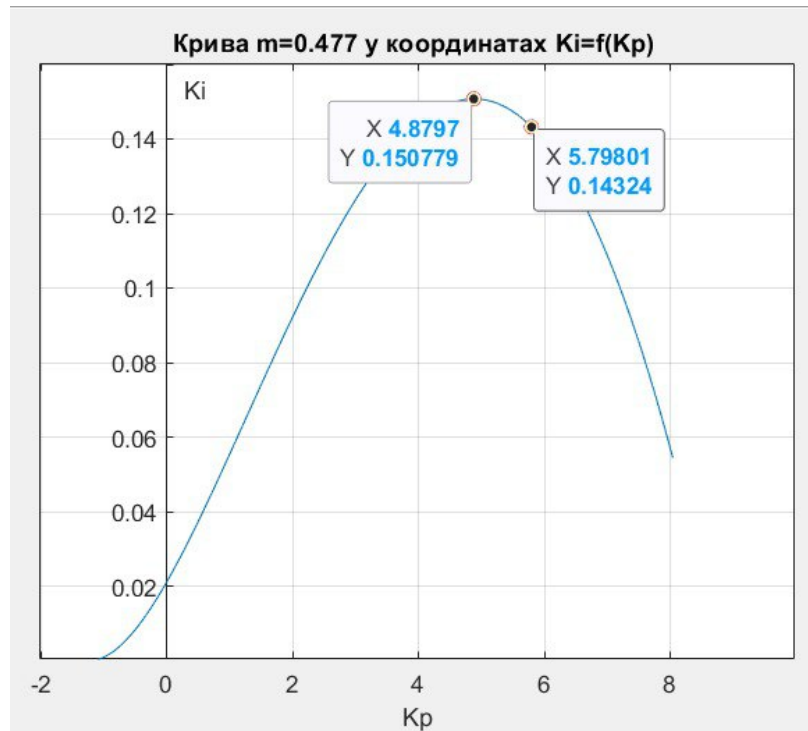


Рисунок 2.17 — Крива $m = 0,477$ у координатах $K_i = f(K_p)$

Отримуємо параметр $K_{pmax} = 0,14324$. Визначимо K_i з наступної формули:

$$K_i = 0,95 \cdot K_i(max)$$

та отримаємо параметри для ПІ регулятора:

$$K_p = 5,79801$$

$$K_i = 0,14324$$

$$T_i = \frac{K_p}{K_i} = \frac{5,79801}{0,14324} = 40,47759$$

Передавальна функція регулятора із знайденими параметрами:

$$W_p(s) = 5,8 \left(1 + \frac{1}{40,48s} \right)$$

Побудуємо АФХ та РАФХ розімкненої системи (рис. 2.19) для перевірки наших параметрів. Для цього зробимо код у MATLAB (рис. 2.18):

```

w = 0:0.00001:1;
m = 0.477;
s = 1j*w;
s_e = w*(1j-m);
W=(0.6./(47.264.*s+1)).*(1.36./(12.4381.*s+1));
Wexp = (0.6./(47.264.*s_e+1)).*(1.36./(12.4381.*s_e+1));
Wr= 5.8.*(1+1./(40.48.*s));
W=Wr.*Wob;
Wr_e= 5.8.*(1+1./(40.48.*s_e));
Wexp =Wr_e.* Wob_e;
fig = figure;
plot(real(W), imag(W))
hold on
plot(real(Wexp), imag(Wexp))
plot(-1,0,'ko');
xlabel('Re(ω)')
ylabel('Im(ω)')
grid on
title("АФХ і РАФХ розімкненої системи з ПІ-регулятором")
legend("АФХ", "РАФХ", "Точка (-1,j0)")
fig.CurrentAxes.XAxisLocation = "origin";
fig.CurrentAxes.YAxisLocation = "origin";
axis([-1 1 -1 1]);

```

Рисунок 2.18 – Код

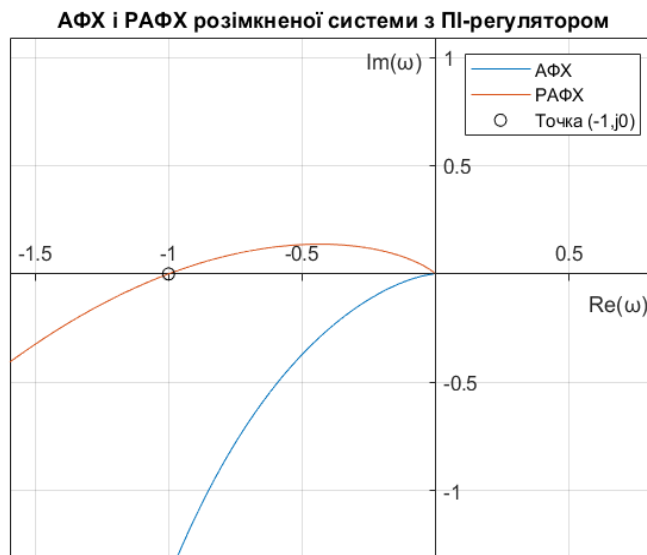


Рисунок 2.19 — АФХ та РАФХ розімкненої системи з ПІ-регулятором

З графіка робимо висновок, що налаштування є правильними. Це підтверджується тим, що графік проходить через точку $(-1, j0)$.

Другим методом для розрахунку використаємо метод часткової компенсації. По-перше, треба апроксимувати об'єкт.

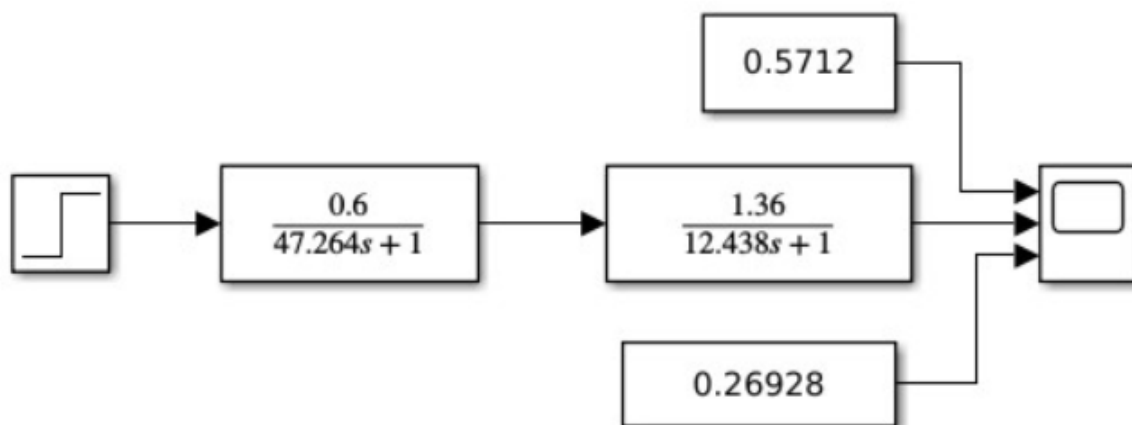


Рисунок 2.20 — Структурна схема

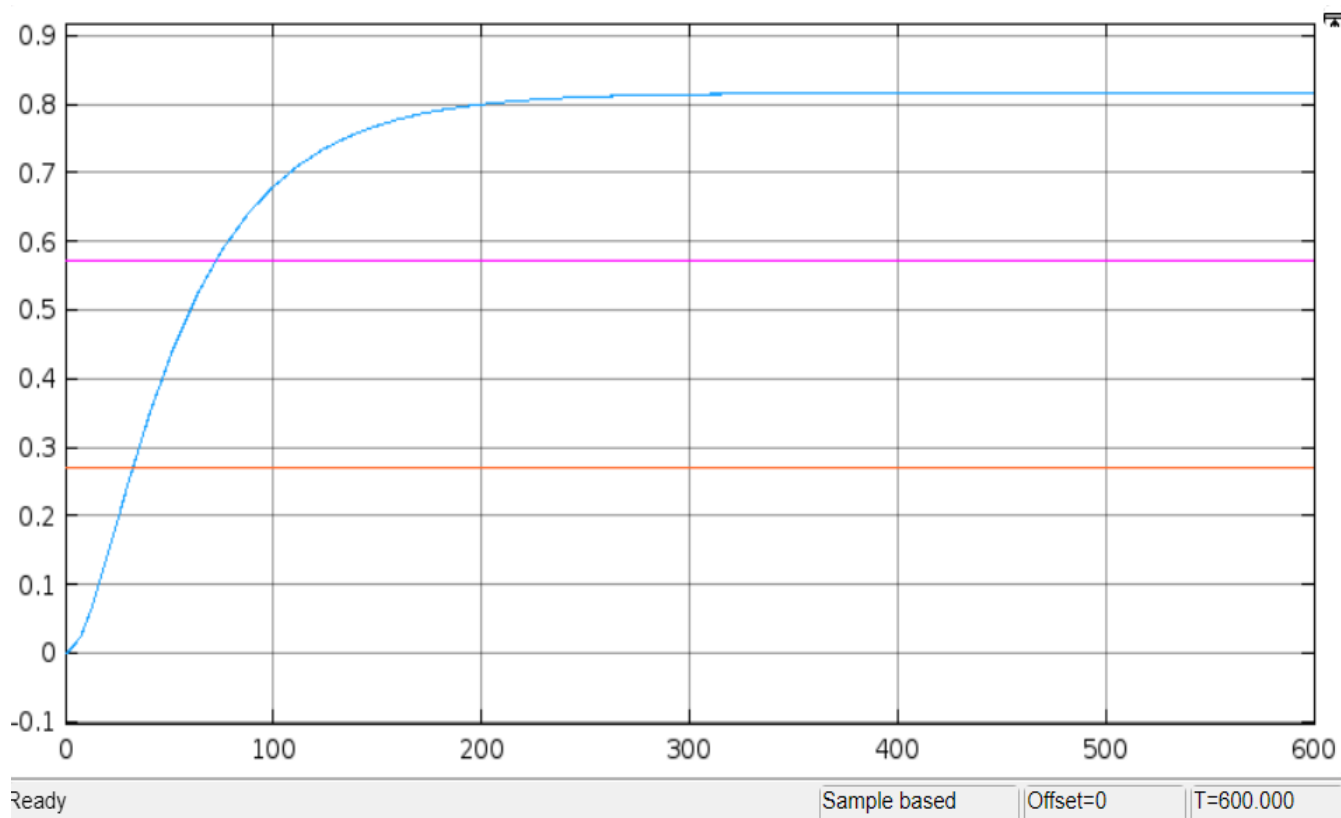


Рисунок 2.21 — Перехідна характеристика

Використавши метод логарифмування апроксимуємо об'єкт:

$$K_{об} = 0,816$$

$$t_A = f(0.33 \cdot K_{об}) = 32$$

$$t_B = f(0.7 \cdot K_{об}) = 71$$

$$T = 1.25(t_B - t_A) = 1.25(71 - 32) = 1.25 \cdot 0.035 = 48,75$$

$$\tau = 0,5(3t_A - t_B) = 0,5(3 \cdot 894 - 2019) = 12,5$$

Отже, передавальна функція буде мати наступний вигляд:

$$W(s) = \frac{0,816}{(48,75s + 1)} \cdot e^{12,5}$$

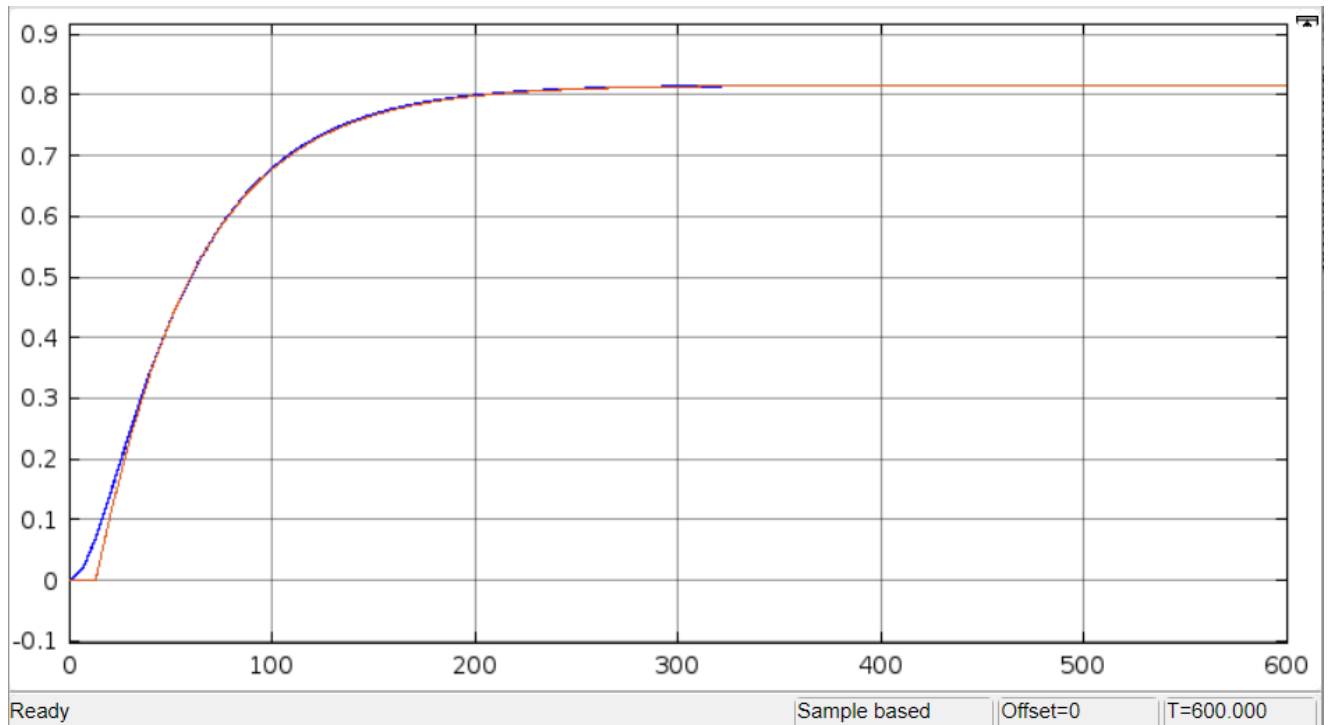


Рисунок 2.22 — Перехідна характеристика апроксимованого та неапроксимованого об'єктів

З графіка зробимо висновок, що апроксимація правильна.

Далі визначимо передавальну функцію:

$$\begin{aligned} K_{\Pi} &= \frac{1}{K_{o6}} \left(0.739 \frac{T_{o6}}{\tau_{o6}} \left(1 + \frac{\tau_{o6}}{T_{o6}} \right)^2 - 1 \right) \\ &= \frac{1}{0,816} \left(0.739 \frac{48,75}{12,5} \left(1 + \frac{12,5}{48,75} \right)^2 - 1 \right) = 2,043 \end{aligned}$$

$$T_1 = \tau_{o6} \frac{6.36 \cdot K_{o6} \cdot K_{\Pi}}{\frac{T_{o6}}{\tau_{o6}} \left(1 + \frac{\tau_{o6}}{T_{o6}} \right)} = 12,5 \frac{6,36 \cdot 0,816 \cdot 2,043}{\frac{48,75}{12,5} \left(1 + \frac{12,5}{48,75} \right)} = 27,048$$

$$W(s) = 2,043 \left(1 + \frac{1}{27,048s} \right)$$

Визначимо прямі та інтегральні показники систем. Для початку побудуємо графік “Завдання-вихід”

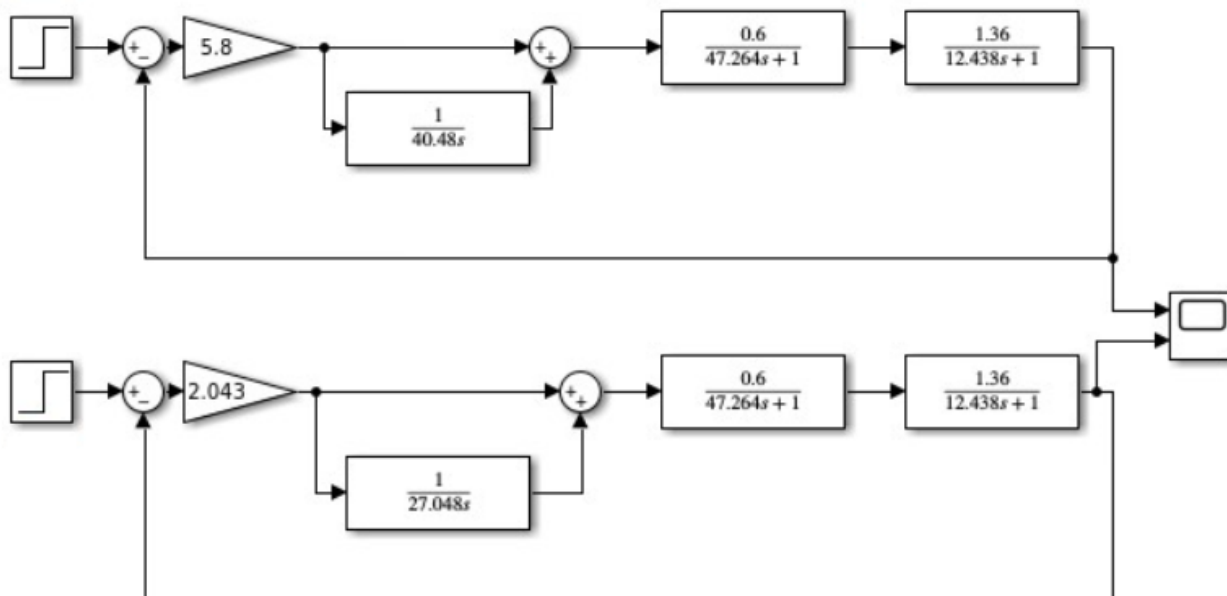


Рисунок 2.23 – Схема за каналом “Завдання-вихід”

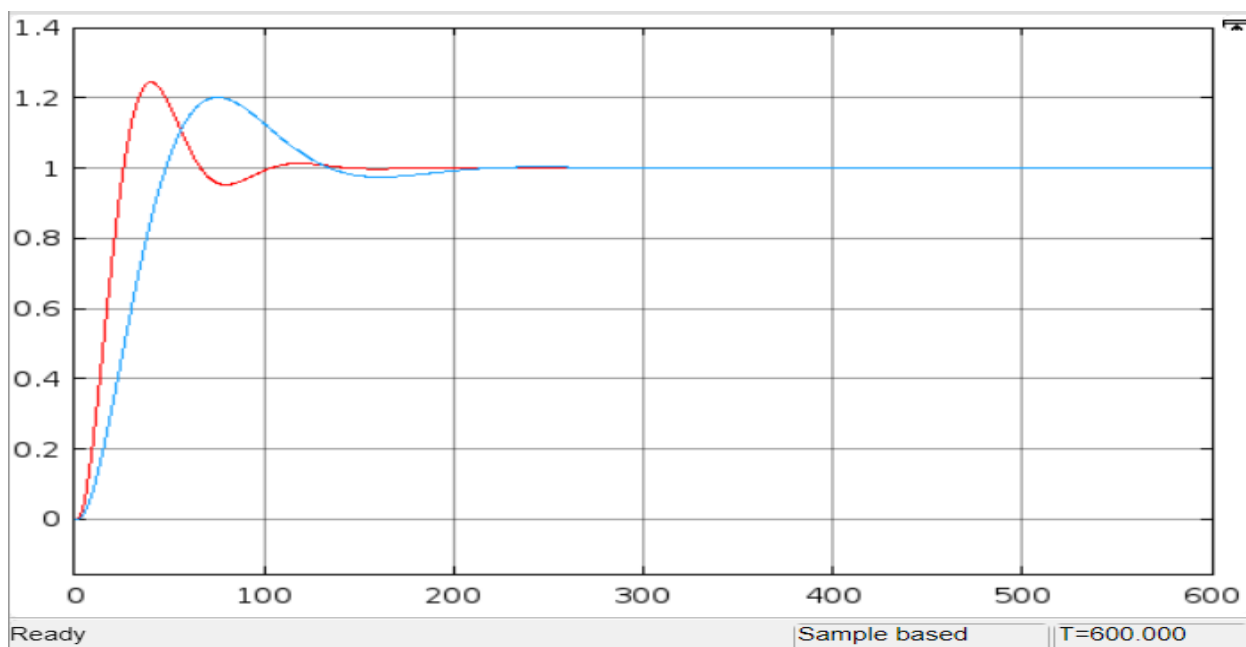


Рисунок 2.24 – Перехідні характеристики систем за каналом “Завдання-вихід”

Прямі показники якості системи за каналом “Завдання-вихід” наведені у табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Прямі показники якості

Прямий показник якості	Метод РАФХ	Метод часткової компенсації
Час перехідного процесу, $t_{\text{пп}}$	213	237
Максимальне динамічне відхилення, u_{max}	1,243	1,2
Перерегулювання, σ	24,62	19,52
Ступінь згасання, ψ	0,46	0,98
Статична похибка, $\Delta_{\text{ст}}$	0	0

Прямі показники для каналу “Збурення-вихід”.

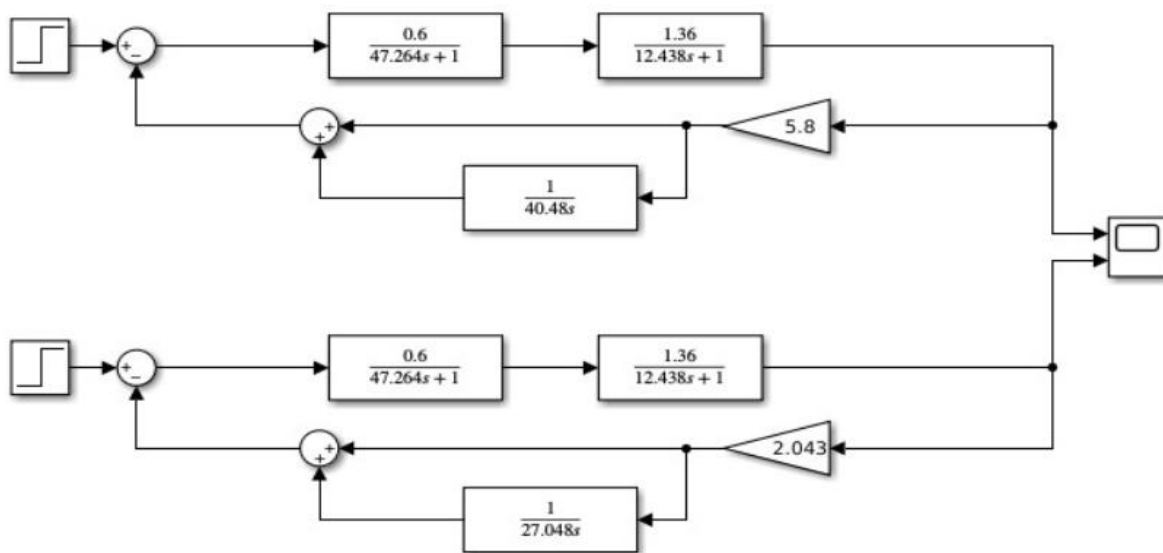


Рисунок 2.25 — Схема за каналом “Збурення-вихід”

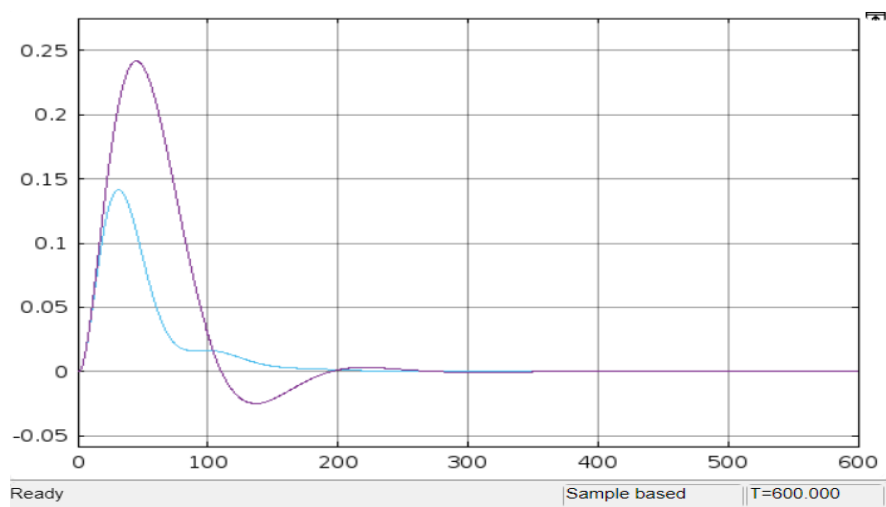


Рисунок 2.26 — Перехідні характеристики систем за каналом “Збурення-вихід”

Таблиця 2.5 – Прямі показники якості

Прямий показник якості	Метод РАФХ	Метод часткової компенсації
Час перехідного процесу, $t_{пп}$	265,5	288,65
Максимальне динамічне відхилення, y_{max}	0,142	0,242
Перерегулювання, σ	3,44	11,15
Ступінь згасання, ψ	0,88	0,99
Статична похибка, $\Delta_{ст}$	0	0

Отже, порівнявши показники якості, що були отримані з розрахунків, можна зробити висновок. За каналом “Завдання- вихід” метод часткової компенсації має кращі показники якості, ніж за методом РАФХ. За каналом “Збурення-вихід” навпаки.

2.2.9 Функціональне моделювання САР

У цьому підрозділі буде визначена чутливість системи. Для цього застосуємо наступну формулу:

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

k_z - відносний коефіцієнт чутливості для варійованого параметру для показника якості R

Z^{opt} - значення параметра за отриманий оптимальних параметрів налаштувань

R^{opt} - показник якості за отриманих оптимальних параметрів налаштувань

Змінимо діапазон $K_{об}$ на $\pm 10\%$ по каналу “Збурення-вихід” (рис. 2.27).

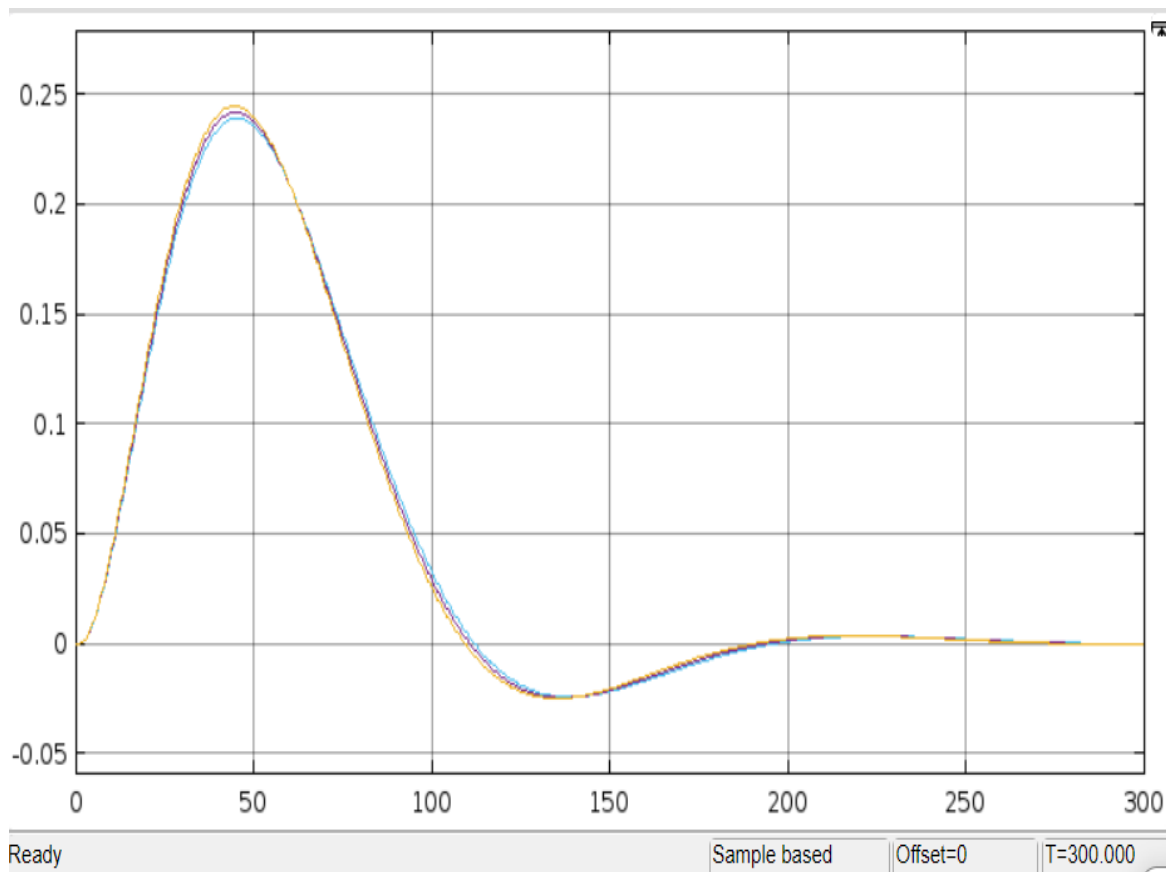


Рисунок 2.27 — Перехідні характеристики систем

Таблиця 2.6 – Показники якості

Прямий показник якості	$K_{об}=0,7974$	$K_{об}=0,816$	$K_{об}=0,8346$
Час перехідного процесу, $t_{пп}$	305,9	312,5	319,1
Максимальне динамічне відхилення, y_{max}	0,239	0,242	0,245
Перерегулювання, σ	9,89	11,15	10
Ступінь згасання, ψ	0,99	0,99	0,99
Статична похибка, $\Delta_{ст}$	0	0	0

Підррахуємо показники чутливості для t_{nn} :

$$k_{k1t_{nn}} = \frac{\left| \frac{305,9 - 312,5}{312,5} \right|}{\left| \frac{0,7974 - 0,816}{0,816} \right|} = \frac{6,6}{0,023} = 0,92$$

$$k_{K2_{t_{nn}}} = \frac{\left| \frac{319,1 - 312,5}{312,5} \right|}{\left| \frac{0,8346 - 0,816}{0,816} \right|} = \frac{0,02112}{0,023} = 0,92$$

Підрахуємо показники чутливості для y_{max} :

$$k_{K1_{y_{max}}} = \frac{\left| \frac{0,239 - 0,242}{0,242} \right|}{\left| \frac{0,7974 - 0,816}{0,816} \right|} = \frac{0,012}{0,023} = 0,52$$

$$k_{K2_{y_{max}}} = \frac{\left| \frac{0,245 - 0,242}{0,242} \right|}{\left| \frac{0,8346 - 0,816}{0,816} \right|} = \frac{0,012}{0,023} = 0,54$$

Система не чутлива до зміни параметра K_{06} , бо $k < 1$

РОЗДІЛ 3 ОПИС ГРАФІЧНОЇ ЧАСТИНИ ПРОЄКТУ

3.1 Схема функціональна автоматизації ТОУ

Система теплої підлоги складається з таких основних компонентів: газового котла з розширювальним баком та трубопроводом для води, яка надходить до системи теплої підлоги та до радіаторів. Також є додаткові компоненти для даного проєкту: датчики температури води та повітря, циркуляційний насос, датчик перепаду тиску, двоходові клапани, трьохходові клапани.

Газовий котел — компонент системи, що постачає гарячу воду для обох систем опалення: теплої підлоги й радіаторів. Він використовує вбудований теплообмінник, утворює та віддає тепло для води, що знаходиться у системі. Котел використовує природний газ, як паливо для горіння, щоб нагрівати воду. Відпрацьовані гази відводяться через димохід.

Частина гарячої води знаходиться у баці гарячого водопостачання, що:

- регулює тиск. Допомогає поглинути гідравлічні удари, що можуть призвести до пошкодження трубопроводів та інших приладів системи.
- зберігає гарячу воду. Це дозволяє мати запас гарячої води для використання у моменти пікового навантаження або у разі відключення головного джерела гарячої води.

Далі вода потрапляє в пластикові труби, що прокладені під підлогою, та розподіляється на теплу підлогу та батареї. Циркулюючи, вода, випромінює тепло, яке передається до підлоги або до радіаторів. Трубопроводи обладнані вентилями для регулювання температури, тиску та рівномірного розподілу гарячої води по всій площі. Така система забезпечує комфортний рівень тепла без створення перепадів температури.

Труби для радіаторного опалення прокладаються під підлогою та підключаються до радіаторів, що віддають тепло у приміщення. У теплій

					ТА-91385.0003.001АТХ.П	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат		

підлозі, труби розташовані також під підлогою в змійовиковій або спіралевидній формі. Підлога нагрівається рівномірно й передає тепло в повітря.

Відпрацьована вода з баку, радіаторів та теплої підлоги повертається до котла і в середині за допомогою насоса — циркулюється, теплообмінника — нагрівається та надходить знову до системи.

За ефективністю роботи автоматизованої системи можна спостерігати, у першу чергу, за допомогою різниці температур між датчиками, що знаходиться у приміщенні та на вулиці.

Така комбінована система дозволяє комбінувати переваги обох типів опалення. Тепла підлога забезпечує рівномірний розподіл тепла по всій підлозі, а радіатори дозволяють швидко нагрівати повітря в приміщенні.

Датчики, що використовуються у даній схемі вимірюють:

- температуру гарячої води (поз. 1а),
- температуру зворотньої води (поз. 2а),
- температуру води у баці ГВП (поз. 3а),
- температуру води, що надходить до теплої підлоги (поз. 4а)
- температуру повітря у приміщенні (поз. 5а),
- температуру повітря на вулиці (поз. 6а),
- перепад тиску до та після насоса (поз. 1в), якщо значення виходять за межі допустимих значень, спрацьовує лампочка HL1,
- регулюючий трьохходовий клапан (поз. 1г).

Додаткові позначення:

- -1- — зворотня вода
- -2- — гаряча вода
- бак ГВП — бак гарячого водопостачання
- К — котел
- П — приміщення
- РО — радіаторне опалення
- В — вулиця

3.2 Схема принципова електрична АСР

Для системи було обрано ПЛК М172. Розглянемо підключення, які використовуються у системі:

- Датчик температура води Raut Automatic Pt1000 Stw-04, повітря Raut Automatic STH-03 (рис. 3.1).

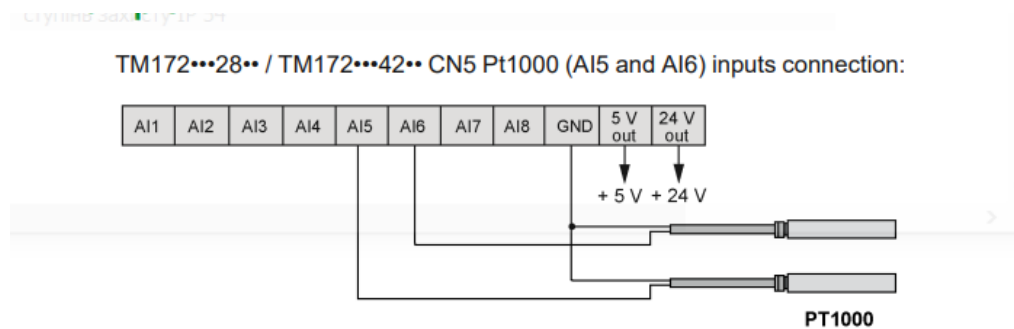


Рисунок 3.1 — Підключення датчиків РТ1000 до ПЛК [7]

- Датчик перепад тиску Danfoss YNS-C106X (рис. 3.2).

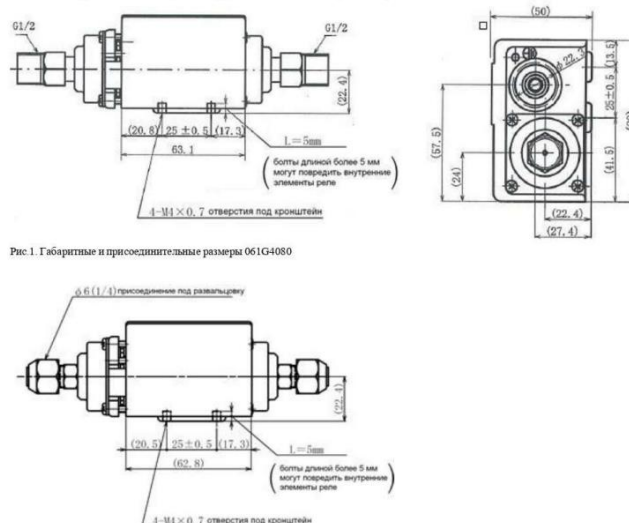


Рисунок 3.2 — Підключення YNS-C106X [5]

- Виконавчий механізм (рис. 3.3)

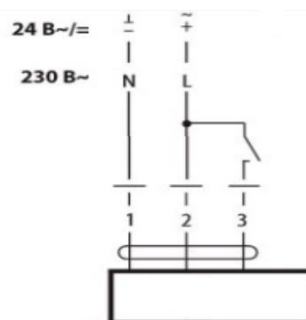


Рисунок 3.3 — Підключення ВМ [10]

- Циркуляційний насос Zegor ZRS32/4GB (рис. 3.4)

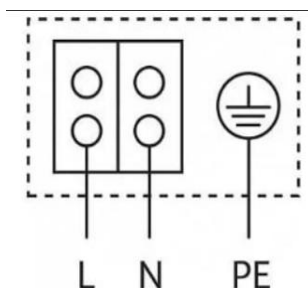


Рисунок 3.4 — Підключення Zegor ZRS32/4GB [12]

- Датчик перепаду тиску Danfoss YNS-C106X (рис. 3.5). Однополюсний перекидний контакт. Спрацьовує, коли є збільшення перепаду тиску

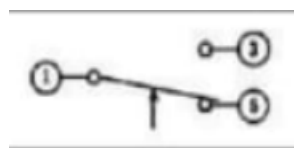


Рисунок 3.5 — Підключення Danfoss YNS-C106X [5]

3.3 Креслення загального виду щита

Використання щита для описаної системи зумовлено підвищеним рівнем вологістю, що може пошкодити апаратуру та проводку. Усю апаратуру було показано спрощеним начертанням. DIN-рейки, коробки та клемні колодки розраховані та розміщені відповідно до розмірів щита.

Клемники були згруповані відповідно до їх функцій або підключень. Якщо вони мають спільне підключення, то ставляться поруч один з одним для зручності.

На кресленні загального виду щита було зображено:

- вид на фасад із зображенням встановленої апаратури, а також його розміри
- перелік приладів та їх панельні номери
- пояснення та примітки

Було враховано:

- зручність монтажу, а у подальшому й експлуатації щита
- кількість приладів, що будуть встановлені
- можливість доповнення системи апаратурою

Перелік того, що знаходить в малогабаритному щиті:

- короб пластиковий
- ПЛК
- клеми
- блок живлення
- DIN-рейки
- Автоматичний вимикач 1р

3.4 Схема монтажна щита (таблиця з'єднань)

Монтажна схема була розроблена для візуального зображення електричних кабелів усередині щита й підключення до приладів. Дана схем спрощує пошук та розуміння зв'язків між компонентами, що дозволяє усунути помилки під час монтажу чи обслуговування.

На схемі вказано:

- назву елементу та його позначення (вимикач, ПЛК тощо)
- з'єднання
- маркування проводів

3.5 Схема зовнішніх з'єднань

До зовнішніх з'єднувальних проводок належить: проводи, кабелі тощо. На схемі використано унікальні позначення та маркування, що допомагає ідентифікувати прилади на схемі. Усе це використовується для зручного звернення до точок підключення у текстових описах.

3.6 Специфікація обладнання

3.6.1 Котел

Вибір котла (газовий, електричний, твердопаливний, рідкопаливний або комбінований) залежить від умов та потреб у його експлуатації. У цьому розділі наведені умови, переваги та недоліки вищезазначених котлів.

Газовий котел — це прилад, що нагріває воду в системах опалення за допомогою згоряння газу (табл. 3.1). Кожен котел має 2 основних вузли

					ТА-91385.0003.001АТХ.П	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат		

(газовий пальник та теплообмінник). Існує два види димовидалення: димохідні (продукти згорання виводяться за допомогою природньої тяги у вертикальний димар) та турбовані (відведення продуктів згорання відбувається примусово за допомогою вентилятора — турбіни). Також, розрізняють одноконтурні та двоконтурні газові котли. Перші встановлюються, тільки коли гаряча вода використовується для опалення або є джерелом нагріву гарячого водопостачання (ГВП). Другі — забезпечують нагрівання води для системи опалення та в системі ГВП, бо вони мають додаткові вузли та механізми.

Таблиця 3.1 — Переваги та недоліки газових котлів

Переваги	Недоліки
Низька вартість палива	Потрібен димар, для видалення диму
ККД у межах від 85 до 90%	Повинен бути стабільний тиск газу у магістралі
Матеріал для виготовлення зазвичай нержавіюча сталь або чавун	Забір повітря безпосередньо з приміщення, де розташований котел або за допомогою вентиляції
Настінне або підлогове встановлення котла	Слід встановлювати в кухнях або у відособлених нежилых приміщеннях, які призначені для їхнього розміщення
Не вимагається регулярного завантаження палива	За недотримання правил безпеки можливий вибух газу
Тривалість експлуатації (не потребують постійного ремонту чи заміни)	Мінімум раз на рік проводиться повна перевірка обладнання
Забезпечує швидке опалення у короткі строки	При найменших порушеннях у налаштуваннях відбувається відмова у запуску системи опалення
Можливість обігрівання приміщення площею до 1000 м ²	Доцільність встановлення у приміщеннях або приватних будинках від 100 м ²

Електричний котел — установка, яка генерує тепло (табл. 3.2). Він перетворює електроенергію в теплову за допомогою трубчастого електронагрівача (ТЕН). Його зазвичай використовують у квартирах, офісах, будинках. При виборі даного котла треба враховувати тепловтрати (тип стін, кількість вікон, клімат тощо). Також, під час аварійних ситуацій відбувається відключення електроенергії.

Таблиця 3.2— Переваги та недоліки електричних котлів

Переваги	Недоліки
ККД до 99%	Високі витрати на оплату електроенергії
При роботі котла не утворюється відходів, отже не потребує димоходу	Вимагається велика електрична потужність
Настінне або підлогове встановлення котла	Необхідність окремої проводки для моделей з високою потужністю
Деякі з таких котлів виробляються з вбудованим обладнанням для системи опалення	Електроди, стінки котла, титанові або магнієві аноди підлягають періодичної заміни
Автоматичне відключення при підвищеній температурі чи проблемі з електрикою	Повинна бути стабільна напруга у електромережі
Ступінчасте або плавне регулювання потужності	Повна залежність від електроенергії
Можливість використовувати різний вид рідкого теплоносія, зазвичай вода та немає потреби купувати паливо	Струмопровідні елементи, що контактують з рідким теплоносієм, не можна вважати повністю безпечними
Бак виготовлений з нержавіючої або вуглецевої сталі	Бак виготовлений із звичайної сталі, внутрішнє покриття — емаль або склокераміка, отже підвищений рівень корозії

Кінець таблиці 3.2

Переваги	Недоліки
Безшумна та безпечна установка у використанні	Утворення накипу, що знижує ефективність роботи
Додатковий простір не потребує	Потрібна окрема лінія напруги
Контроль відбувається за допомогою датчиків, а безпеку забезпечує автоматика	Велике навантаження на електромережу в години максимального споживання

Твердопаливний котел — це прилад, що використовує одне або декілька видів твердого палива (вугілля, дрова, тирса, брикети, пелети, продукти переробки меблевого виробництва тощо) для опалення (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 — Переваги та недоліки твердопаливних котлів

Переваги	Недоліки
ККД від 75% до 87% в залежності від виду твердопаливного котла	Вимагає димохід для виведення продуктів згорання
Складається з секцій, які можна замінювати у разі несправностей незалежно одна від одної	Потребує постійного догляду та контролю всіх складових, бо швидке переривання роботи неможливо
Не вимагає електроенергії	Важко автоматизується
Стальний котел має низьку ціну (висока ціна чавунного та пелетного котлів, але слугують довше)	Низький термін експлуатації сталюого котла, а також є вирогідність утворення корозії
Найдешевше паливо, яке використовується для сталюого чи чавунного котлів	Дорогі пелети, що використовуються для пелетних котлів
Автоматично підтримує задану температуру	Автономність від людини непередбачувана

Кінець таблиці 3.3

Переваги	Недоліки
	Потребує окреме приміщення для установки котлів та зберігання палива
	Постійне завантаження паливом

Рідкопаливний котел — працюють на паливі (зазвичай солярка), що під великим тиском подається у камеру згоряння (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 — Переваги та недоліки рідкопаливних котлів

Переваги	Недоліки
Продуктивність до 90%	Тимчасова установка
Не вимагає дозволу на установку	Періодичне очищення димових каналів
Безшумна та не швидко забруднювана установка	Окреме приміщення з витяжкою для установки котла та зберігання палива
За умови максимального наповнення паливної ємності, може працювати 2-3 місяці	Повинен бути герметизований паливний канал та передбачено оснащення спеціальним фільтром
Можливість працювати в автономному режимі	Неможливість використання різного виду палива
	Паливопроводи потребують утеплення
	Періодичне обслуговування
	Утворення накипу

Комбінований котел — це агрегат, що може поєднувати при роботі різні види палива. Можливе поєднання газового, електричного, твердого та рідкого палива (тепловий насос та газовий/електричний котел, твердопаливний котел та газовий/електричний котел). Такі котли бувають: одноконтурними та двоконтурними.

Неправильно вибрана установка не зможе якісно виконати своїх функцій, навіть якщо вона ефективна та економічна. Тому, при виборі

зазначеного котла для опалення треба, щоб технічні параметри апаратури повністю відповідали експлуатаційним умовам, де він буде встановлений (табл. 3.5).

Таблиця 3.5 — Переваги та недоліки комбінованих котлів

Переваги	Недоліки
Встановлення у місцях з перебоями електро- та газопостачання	Передбачення спеціального документу (дозволу)
Можливість перемикаєти установку між автоматичним та ручним режимами	Чим більш розширений функціонал котла, тип важчий процес монтажу
Висока стійкість до поломок та можлива модернізація апаратури	Розміри установки переважно великі та передбачають окремо обладнане приміщення
Відсутні перебої у опаленні, бо відбувається переключення на альтернативний варіант	Якщо відсутнє загалом одно або декілька з видів постання, то краще встановити котел з одним виду опалення
Встановлення в будь-яких типах приміщення від 50 м ²	Зазвичай висока ціна обладнання та монтажу

Врахувавши всі плюси та мінуси вищенаведених котлів (газові, електричні, твердопаливні, рідкопаливні та комбіновані), вибір зупинено на більш розповсюджені установки, такі як: газові та електричні.

На остаточне рішення вплинуло:

- терміни окупності вибраного котла
- особливості в підключенні та комфорт при експлуатації
- тарифи на опалення за допомогою цієї установки
- складність монтажу та оформлення документів
- ККД і функціональність вибраного обладнання
- гарантійний та придатний терміни

Привілеями газової конструкції є швидкість обігріву приміщення, матеріал, з якого він виготовлений, простота у монтажі й експлуатації. Вадю

– за відсутності вентиляції можливе отруєння СО.

У той же час, електрична установка безпечніше за газ, але є можливі нестабільності у напрузі. Перебої з електропостачанням може відбуватися протягом довгого проміжку часу.

Отже, газові котли — поставлено на перше місце, бо менш залежні від зовнішніх умов при постачанні палива. А також, газ (паливо) має значно меншу вартість у порівнянні з іншими видами паливами.

Газовий котел для нашого проєкту приймаємо: Vaillant turboTEC plus VU 242/5-5. Теплова потужність цього котла становить: 24 кВт. Технічні характеристики з джерела [6] наведені нижче.

Опис:

- Газовий побутовий одноконтурний настінний опалювальний котел
- Низькі атмосферні викиди, бо є автоматичний повітровідвод (турбіновий)
- Сучасний дизайн та ергономічний дисплей
- Температура опалення води від 35 °С до 87 °С
- Високий ККД (93%)
- Додатково: циркуляційний насос з автоматичним перемикачем швидкості
- Установка: приватні будинки, квартири
- Перевірка внутрішньої системи котла відбувається в його передній частині
- Закритий розширювальний 10-літровий бак
- При засміченому димоході можливий витік газів у приміщення, у такому випадку одразу спрацює датчик та вимикається котел

Дана модель відрізняється від аналогічного чи схожого обладнання тим, що має компактний розмір: 33,8 x 44 x 80 см (ВхШхГ). Такий навісний котел має привабливий та витончений дизайн, має низький рівень шуму 48дБ. Управління здійснюється за допомогою навігаційного перемикача для перегляду і налаштувань, який виводить дії на дисплей, з підсвічуванням, функції та налаштування. Не менш важливим критерієм є те, що можна

					ТА-91385.0003.001АТХ.П	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат		

поєднати газовий котел з тепловим насосом і сонячними панелями, погодозалежним контролером (рис. 3.6).



а)



б)

Рисунок 3.6 — Зовнішній (а) та внутрішній (б) вигляд газового котла Vaillant turboTEC plus VU 242/5-5 [8]

3.6.2 Радіаторне опалення

Радіаторне опалення — це прилад, у якому циркулює вода чи пара, корпус цілісний або поділений на секції з внутрішніми каналами. Існує декілька видів, таких як: чавунні, сталеві (трубчасті або панельні), алюмінієві, біметалеві. Схеми підключення теж різні: однотрубна, двотрубна та променева.

Розглянемо перший з видів — чавунний (рис. 3.7). Вони призначені для систем з центральним опаленням та будівлями з великою кількістю поверхів.



Рисунок 3.7 — Чавунні батареї [13]

Таблиця 3.6 — Переваги та недоліки чавунних радіаторів

Переваги	Недоліки
Стійкість до корозії	Потребують періодичного фарбування
Компактні	Велика вага та дороговартісні
Міцні та довговічні	Складність монтажу та обслуговування
Забезпечує високу теплоємність та інерційність, що виключає фактор різкої зміни температури	При довгостроковому використанні (приблизно від 40 років) руйнування радіаторних ніпелів
Робота у системах із високим тиском	Згодом утворюється наліт та відбувається падіння тепловіддачі
Довгий термін експлуатації	Не витримує гідроударів

Алюмінієві радіатори — це сучасні батареї, які мають невелику вагу та цікавий дизайн (рис. 3.8). Мають окремі секції, що виготовлені з алюмінію та з'єднані герметичними прокладками.



Рисунок 3.8 — Алюмінієві батареї [13]

Таблиця 3.7 — Переваги та недоліки алюмінієвих радіаторів

Переваги	Недоліки
Легкі та невеликого розміру, зручна установка	Неможливе використання у системі центрального опалення
У порівнянні з іншими радіаторами — найнижча ціна	Не рекомендовано використовувати у системах з високим тиском
Рівень тепловіддачі максимальний	Мала ємність теплоносія
Можливість зменшення корозії завдяки полімерному покриттю, а також — міняти секції у процесі експлуатації	Утворення корозії у водній системі опалення, що при зростаючому тиску може призвести до розриву радіатора
Регулювання тепловіддачі за допомогою секцій	Неповне прогрівання радіатора, прокладки між секціями вимагають постійної заміни

Сталеві радіатори — це легкі конструкції та якісні у використанні, які використовуються у системах опалення (рис. 3.9 (а)). Вони поділяються на: панельні та трубчасті. Перші дешеві та відповідно менш міцні, а другі — дорожче, але витримують підвищений тиск і слугують довше.

Панельні сталеві радіатори — це гофрований металевий лист, що з'єднується з панеллю, яка в свою чергу наповнена теплоносієм (рис. 3.9 (б)). Трубчасті сталеві радіатори — схожі на чавунні батареї, але товщина стінок

значно менша (приблизно 1,5 мм). Конструкція складається з: нижнього та верхнього колектора, які з'єднані вертикальними сталевими трубами.



а)

б)

Рисунок 3.9 — Сталеві батареї: а) панельні, б) трубчасті [13]

Таблиця 3.8 — Переваги та недоліки сталевих радіаторів

Переваги	Недоліки
Довговічний, низька вартість, різний дизайн та простий у монтажу	Цілісна конструкція, що не дозволяє встановлювати додаткові ребра після монтажних робіт
Витримує гідроудари (трубчастий сталевий радіатор)	Не витримує гідроударів (панельний сталевий радіатор)
Висока тепловіддача	Низька інерційність
Можливість регулювання товщини	Протікання між секціями (трубчастий сталевий радіатор)

Біметалеві радіатори — ці установки мають зовнішню частину із алюмінію, а внутрішню труби зі сталі (рис. 3.10). Приєднувати до трубопроводів такий радіатор можна: збоку, знизу або діагонально. Найгіршим приєднанням вважається знизу, бо потужність скорочується до 20%. Строки експлуатації біметалевих батарей у середньому 25 років. Об'єм теплоносія значно менше, у силу малого обсягу труб, у порівнянні з іншими приладами.



Рисунок 3.10 — Біметалеві батареї опалення [13]

Таблиця 3.9 — Переваги та недоліки біметалевих радіаторів

Переваги	Недоліки
Висока тепловіддача, низька інерційність	Дороговартісний та важче за алюмінієві
Робота у системах із високим тиском та температурою, добре переносить гідроудари	Схильні до корозії, при умові, що сердечники зроблені зі сталі або в системі використовується антифриз
Регулювання тепловіддачі за допомогою секцій	Легкий монтаж та можливість встановлення на стіни з гіпсокартону

Для системи ще було обрано радіатор. Вони забезпечують швидке нагрівання приміщення, поки тепла підлога досягне оптимальної температури. Також, є можливість використання батарей, якщо тепла підлога буде потребувати довготривалого ремонту або обслуговування.

Радіатор біметалевий Mirado/Diva 500/96 є привабливим варіантом для систем опалення, де вимагається висока теплова потужність (202Вт).

Додаткові характеристики:

- Робочий тиск 30 атм.
- Об'єм води, що знаходиться в радіаторі 0,24 л

- Бічне підключення



Рисунок 3.11 — Радіатор біметалевий Mirado/Diva 500/96 [9]

Кількість секцій розраховуємо за формулою:

$$S_{\text{кімнати}} \cdot 80 / Q_{\text{радіатора}} = 120 \cdot 80 / 202 = 47,52 \approx 48 \text{ (секцій)}$$

3.6.3 Прилади для вимірювання

1) Температура води (поз. 1а), (поз. 2а), (поз. 3а), (поз. 4а) вимірюється за допомогою датчика температури Raut Automatic Pt1000 Stw-04 (рис. 3.12). Даний прилад має температурний діапазон 0...+150°C. Клас точності 0,5 [3].

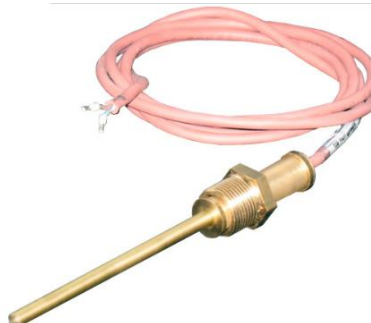


Рисунок 3.12 — Датчик температури води Raut Automatic Pt1000 Stw-04 [3]

Технічні характеристики наведені у табл. 3.10.

Таблиця 3.10 — Технічні характеристики Raut Automatic Pt1000 Stw-04 [3]

Вихідний сигнал	Pt 1000, W=1,385
Температурний діапазон	0...+150 °C
Похибка вимірювання	±0,5 °C
Корпус	ступінь захисту IP5 4

Кінець таблиці 3.10

Довжина заглибленої частини	100 мм
Спосіб встановлення	занурення у трубопровід або ємність за допомогою гільзи, бобишка М20х1,5
Електричне підключення	кабель 1,5м

2) Температура повітря (поз. 5а), (поз. 6а) вимірюється за допомогою датчика температури Raut Automatic STH-03 (рис. 3.13). Даний прилад має температурний діапазон 30÷50°C. Клас точності 0,5 [4].



Рисунок 3.13 — Датчик температури повітря Raut Automatic STH-03 [4]

Технічні характеристики наведені у табл. 3.11.

Таблиця 3.11 — Технічні характеристики Raut Automatic STH-03[4]

Вихідний сигнал	0...10В
Температурний діапазон	-30...+50 °С
Похибка вимірювання	±0,4 °С
Спосіб встановлення	на стіні
Електричне підключення	Клемна коробка
Корпус	ступінь захисту IP5 54

3) Перепад тиску (поз. 1в) вимірюється за допомогою датчика Danfoss YNS-C106X (рис. 3.8). Даний прилад має діапазон (0,25÷3,5) бар, ступінь захисту IP20. Клас точності 0,5 [5].



Рисунок 3.14 — Датчик перепаду тиску Danfoss YNS-C106X [5]

Технічні характеристики наведені у табл. 3.12.

Таблиця 3.12 — Технічні характеристики Danfoss YNS-C106X [5]

Робочий тиск	0,25...3,5 бар
Среда встановлення	вода
Температурний діапазон	-20...+120 °C
Електричне з'єднання	кабель
Клас захисту	IP 20
Вага	0,57 кг

3.6.4 Додаткові прилади для системи

1) Програмований логічний контролер M172



Рисунок 3.15 — ПЛК M172 [7]

2) Циркуляційний насос Zegor ZRS32/4GB



Рисунок 3.16 — Zegor ZRS32/4GB [12]

Технічні характеристики наведені у табл. 3.13.

Таблиця 3.13 — Технічні характеристики Zegor ZRS32/4GB [12]

Умови використання	
Максимальна температура рідини, що перекачується	+110 °C
Допустимий тиск у системі	до 10 бар
Напруга	220-240В
Частота	50 Гц
Насосна частина	
Швидкості обертання	3
Монтажна довжина	180 мм / 130 мм
Електродвигун	
Клас захисту	IP44
Клас ізоляції	Н
Корпус двигуна	алюміній
Вал двигуна	зносоустійка кераміка
Підшипник	металокераміка

3) Клапан двоходовий з сервоприводом EUROHEAT VA-VEH202TA

Рекомендується налаштовувати двоходовий клапан на зворотному трубопроводі водяної.



Рисунок 3.17 — VA-VEH202TA [9]

Технічні характеристики наведені у табл. 3.14 .

Таблиця 3.14 — Технічні характеристики VA-VEH202TA [9]

Напруга споживання	230В
Час закриття/відкриття	5/18 с
Обезточене положення	зачинено
Живлячий дрiт	3/0,75мм ²
Клас захисту	IP 20
Максимальна температура	93 °С
Максимальний перепад тиску	100 кПа
Клас тиску	PN 16

4) Клапан 3-ходовий з електромеханічним приводом Salus PMV31



Рисунок 3.18 — PMV31 [10]

Технічні характеристики наведені у табл. 3.15 .

Таблиця 3.15 — Технічні характеристики РМV31 [10]

Напруга живлення	230В
Макс. навантаження	3А
Споживання електроенергії	6 Вт
Діапазон температури рідини	5...88°C
Максимальний статичний тиск	8,6 бар
Диференціальний тиск 1''	0,8 бар
Клас захисту	IP 20

5) Перехідник KALDE з зовнішньою різьбою



Рисунок 3.19 — Перехідник KALDE [11]

РОЗДІЛ 4 ПРОГРАМУВАННЯ ПТКЗА

4.1 Програмування функціональності ПЛК

Програма складається з:

- ✓ PID – блок;
- ✓ TRANSFORMERfromAtoD – аналогово-цифровий перетворювач, що також перевіряє датчик на відмови;
- ✓ TRANSFORMERfromDtoA — цифро-аналоговий перетворювач;
- ✓ ALARM – сигналізація, що спрацьовує, коли температура виходить за межі.

Реалізація:

- Бібліотека, що застосовується:(рис. 4.1):

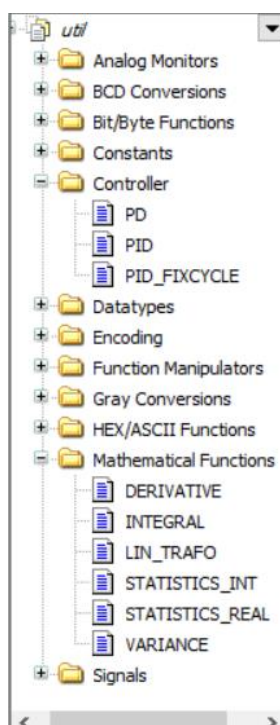


Рисунок 4.1 — Бібліотека util

- Блок PID – вважається стандартним блоком та знаходиться у бібліотеці Codesys (рис. 4.2):

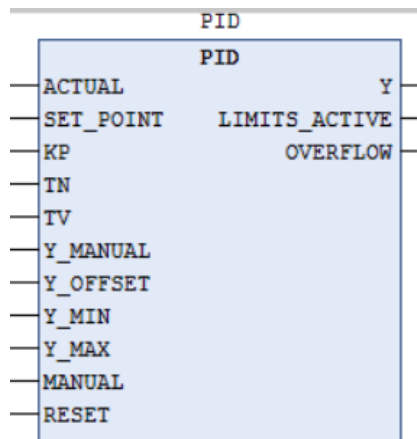


Рисунок 4.2 — PID

- Блок TRANSFORMERfromAtoD

```

FUNCTION BLOCK TRANSFORMERfromAtoD
VAR_INPUT
    MINinputSIGNAL: REAL; //мінімальне значення вхідного сигналу
    MAXinputSIGNAL: REAL; //максимальне значення вхідного сигналу
    rSENSORfail: BOOL; //скидання аварії датчика
    MINoutSIGNAL: REAL; //мінімальне значення вхідного сигналу
    MAXoutSIGNAL: REAL; //максимальне значення вхідного сигналу
    ALLOWABLEdivergence: REAL; // допустиме відхилення
END_VAR
VAR_OUTPUT
    SENSORfail: BOOL; //аварія датчика
    VALUEout: REAL; //вихідне значення
END_VAR
VAR
    lin_trafo: UTIL.LIN_TRAFO; //функція для реалізації
    //лінійної інтерполяції
    MIDDLEmeasureVALUE: REAL; //середнє значення
    NUMBERmeasureVALUE: REAL; //номер виміру
END_VAR

lin_trafo(
    IN_MIN := rMinInputSignal,
    IN_MAX := rMaxInputSignal,
    OUT_MAX := rMaxOutValue,
    OUT_MIN := rMinOutValue,
);
IF lin_trafo.OUT <> out_value THEN
    rAvMeasureValue := ((rAvMeasureValue*rMeasureValue)+lin_trafo.OUT)/(rMeasureValue+1);
    rMeasureValue :=rMeasureValue+1;
END_IF

IF ABS(lin_trafo.OUT-rAvMeasureValue) > rPermmisibleDeviation THEN
    xSensorFailure := TRUE;
    RETURN;
END_IF

IF xResetSensorFailureStatus THEN
    xSensorFailure := FALSE;
END_IF

out_value:=lin_trafo.OUT;

```

Рисунок 4.3 — Код блоку та змінні до нього

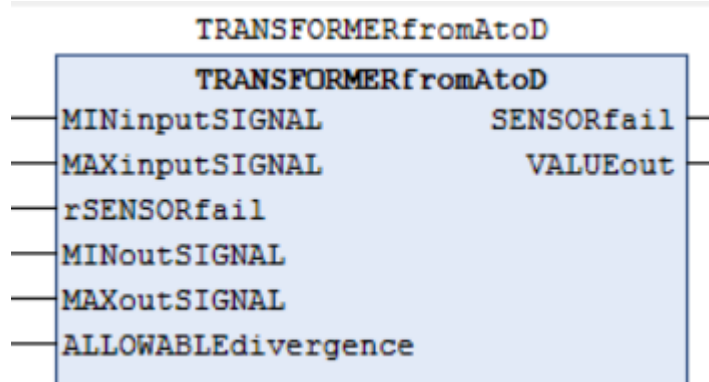


Рисунок 4.4 — Зовнішній вигляд блоку

- Блок TRANSFORMERfromDtoA схожий за реалізацією на попередій блок

```

FUNCTION_BLOCK TRANSFORMERfromDtoA
VAR_INPUT
    MINinputSIGNAL: REAL; //мінімальне значення вхідного сигналу
    MAXinputSIGNAL: REAL; //максимальне значення вхідного сигналу
    MINoutSIGNAL: REAL; //мінімальне значення вхідного сигналу
    MAXoutSIGNAL: REAL; //максимальне значення вхідного сигналу
    VALUEinput: REAL; //вхідне значення
END_VAR
VAR_OUTPUT
    VALUEout: REAL; //вихідне значення
END_VAR
VAR
    lin_trafo: UTIL.LIN_TRAFO; //функція для реалізації
                                //лінійної інтерполяції
END_VAR

lin_trafo(
    IN_MIN := rMinInputSignal,
    IN_MAX := rMaxInputSignal,
    OUT_MAX := rMaxOutValue,
    OUT_MIN := rMinOutValue,
    );
out_value:=lin_trafo.OUT;

```

Рисунок 4.5 — Код блоку та змінні до нього

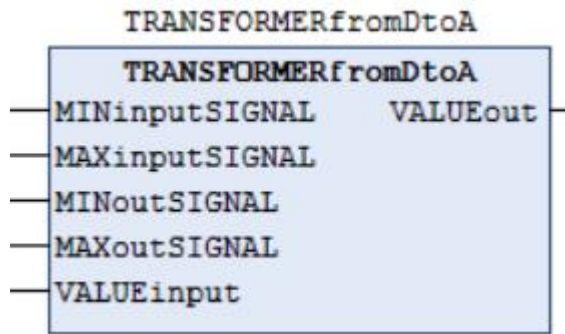


Рисунок 4.6 — Зовнішній вигляд блоку

- Блок ALARM працює наступним чином: температура порівнюється з критичними значеннями, якщо воно виходить за межі допустимих норм вмикається лампочка.

VAR_INPUT	TEMPERATURE	REAL	значення температури
VAR_INPUT	maxTEMPERATURE	REAL	максимальна температура
VAR_INPUT	minTEMPERATURE	REAL	мінімальна температура
VAR_INPUT	rALARM	BOOL	скидання аварії (ручне)
VAR_OUTPUT	signalALARM	BOOL	сигнал аварійної сигналізації
VAR_OUTPUT	modeALARM	BOOL	активація режиму "аварія"

Рисунок 4.7 — Блок ALARM

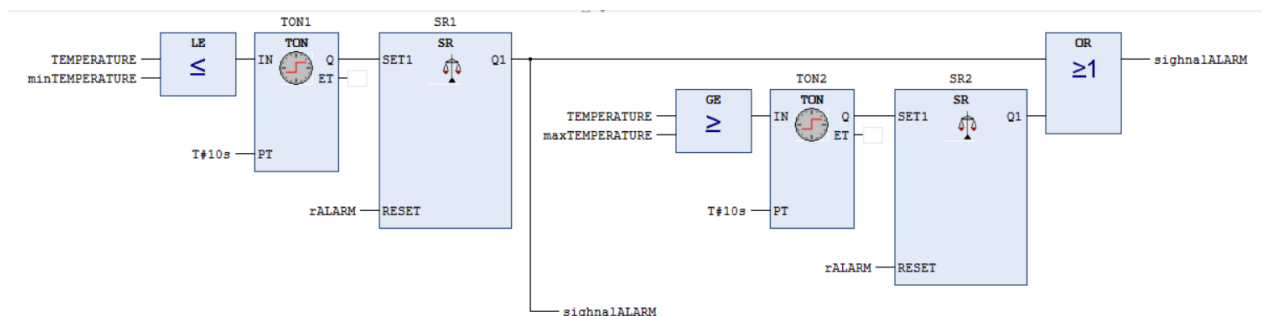


Рисунок 4.8 — Реалізація блоку

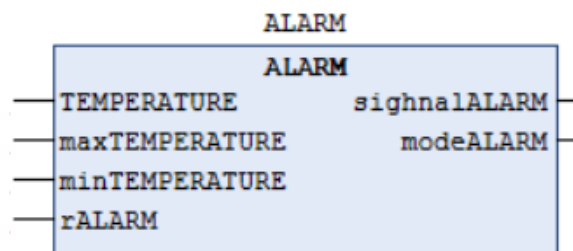


Рисунок 4.9 — Зовнішній вигляд

- САР технологічним параметром має наступний вигляд:

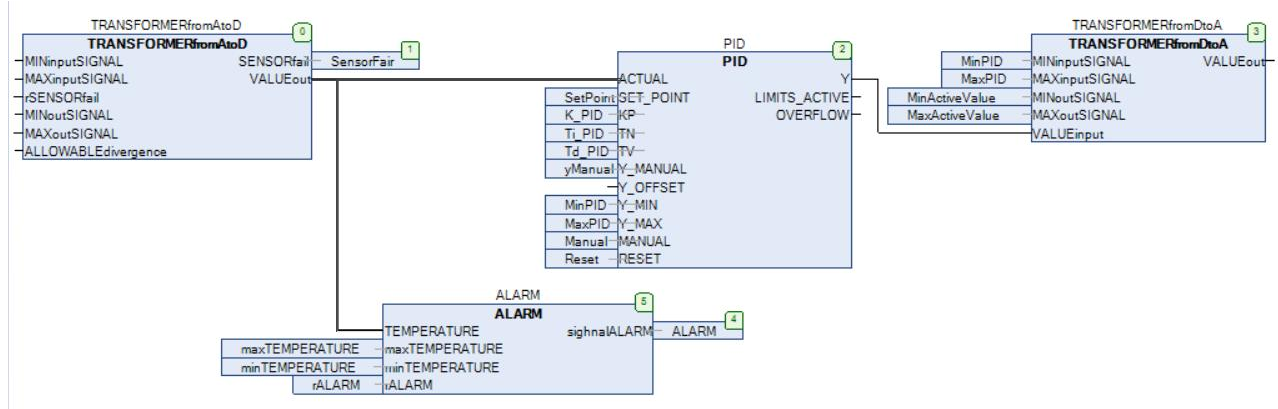


Рисунок 4.10 — Регулювання температури

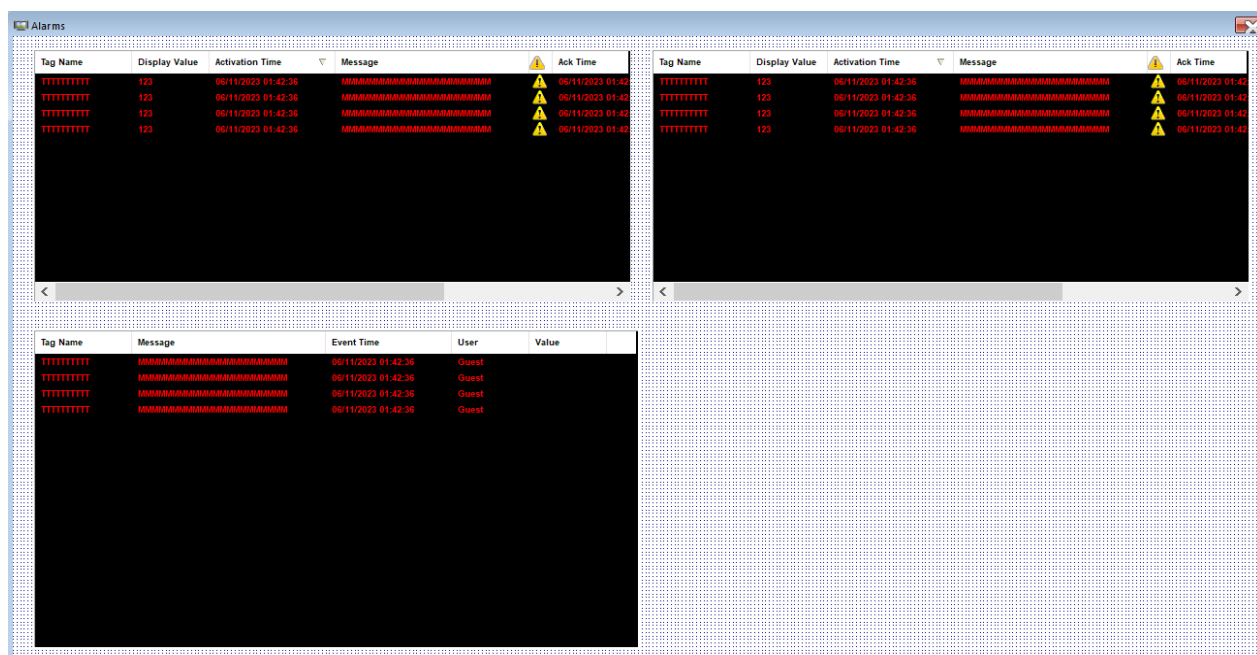
4.2 Програмування функціональності SCADA-системи

SCADA-система була створена у Indusoft Web Studio. На головному меню Menus (рис. 4.11) є кнопки, а зверху можна побачити поточний час і дату:



Рисунок 4.11 — Вікно Menus

Третя кнопка **Alarms** показує аварії (рис. 4.13).



Четверта кнопка Trends показує значення наших параметрів та їх зміну з часом (рис. 4.14).

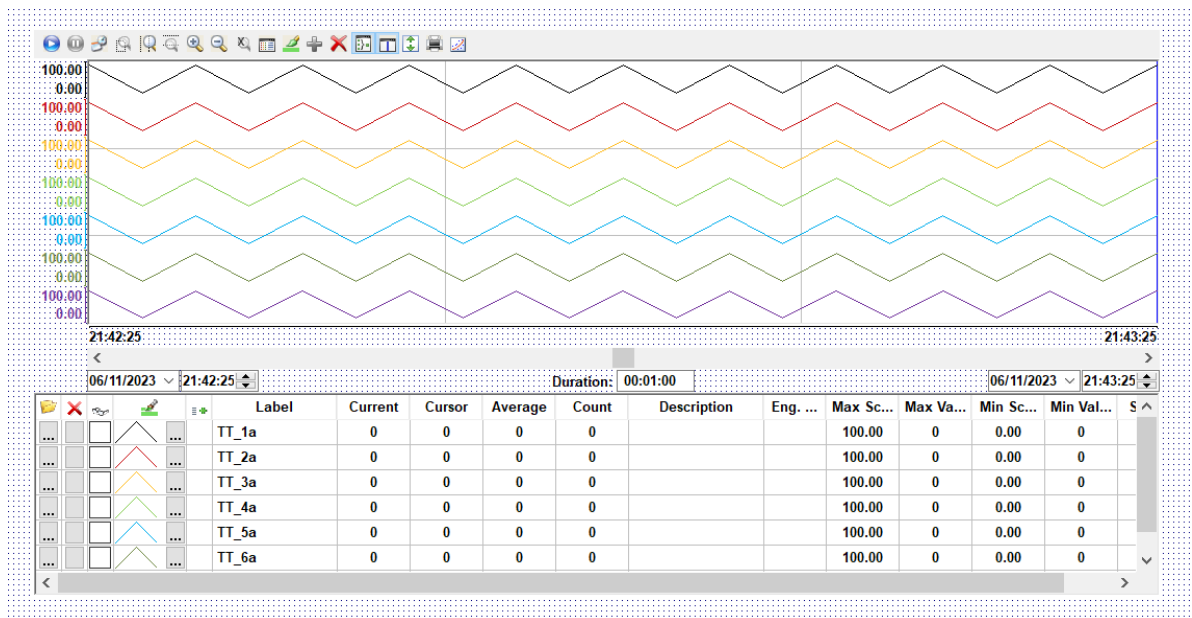


Рисунок 4.14 — Вікно Trends

РОЗДІЛ 5 РЕАЛІЗАЦІЯ СУПЕРВІЗОРНОЇ HMI-STANDART TA MES-LITE ФУНКЦІОНАЛЬНОСТІ В HMI/SCADA СИСТЕМІ WEBSTUDIO

Для системи було розроблено людино-машинний інтерфейс. У цьому підрозділі буде описано наступні вікна: Menus, Mimics, Alarms, Trends, Models. Початкове вікно, називається Menus (рис. 5.1). Воно має кнопки, дату та час.



Рисунок 5.1 — Вікно Menus

Натиснувши на першу кнопку — відкривається діалогове вікно з двома полями: ім'я користувача та пароль (рис. 5.2).

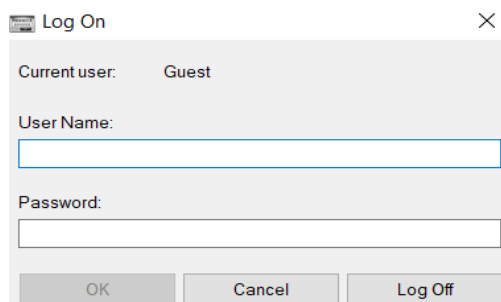


Рисунок 5.2 — Вхід до системи

Натиснувши другу кнопку Mimics — буде зображена мнемосхема

системи керування та головні параметри (рис. 5.3).

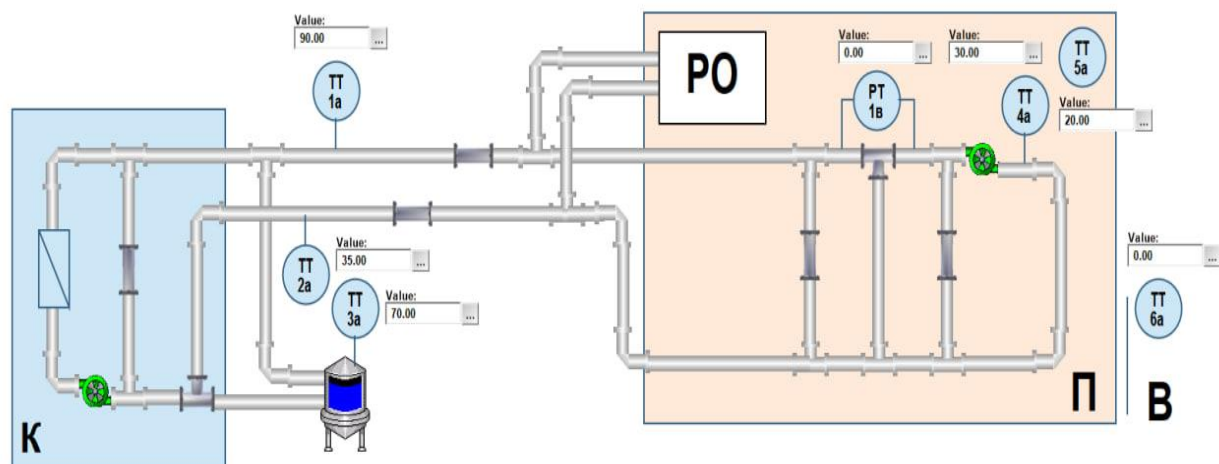


Рисунок 5.3 — Вікно Mimics

Третя кнопка Alarms показує аварії з повідомленнями про проблему (рис. 5.4) та їх вирішеннями (рис. 5.5).

Tag Name	Display ...	Activation TL...	Message	Event Time	User
Class.TT_3a	30	06/11/2023 05:35:30	Зависла температура у приміщенні!!!	06/11/2023 05:35:31	Admin
Class.TT_5a	30	06/11/2023 05:35:53	Висока температура у приміщенні!!!	06/11/2023 05:35:53	Admin
Class.TT_5a	30	06/11/2023 05:35:38	Низька температура у приміщенні!!!	06/11/2023 05:35:53	Admin
Class.TT_5a	30	06/11/2023 05:35:38	Зависла температура у приміщенні	06/11/2023 05:35:53	Admin
Class.TT_1a	50	06/11/2023 05:25:28	Зависла температура гарячої води	06/11/2023 05:34:59	Admin
Class.TT_1a	10	06/11/2023 05:25:28	Низька температура гарячої води!!!	06/11/2023 05:33:56	Admin
Class.PT_1b	0	06/11/2023 05:24:00		06/11/2023 05:24:00	Admin
Class.PT_1b	0	06/11/2023 05:24:00		06/11/2023 05:24:00	Admin
CVair	0.000000	06/11/2023 05:08:13		06/11/2023 05:08:13	Admin
Class.TT_3a	0	06/11/2023 04:11:17		06/11/2023 04:11:17	Admin
Class.TT_4a	0	06/11/2023 04:11:17		06/11/2023 04:11:17	Admin
Class.TT_4a	0	06/11/2023 04:11:17		06/11/2023 04:11:17	Admin
Class.TT_3a	0	06/11/2023 04:11:17		06/11/2023 04:11:17	Admin
Class.TT_2a	0	06/11/2023 04:11:17		06/11/2023 04:11:17	Admin
Class.TT_2a	0	06/11/2023 04:11:17		06/11/2023 04:11:17	Admin
CVair	0	06/11/2023 03:24:53		06/11/2023 03:24:53	Admin

Tag Name	Display ...	Activation TL...	Message	Ack Time	Event Time
Class.TT_3a	30	06/11/2023 05:35:53	Зависла температура у в...		06/11/2023 05:35:53
Class.TT_5a	30	06/11/2023 05:35:53	Висока температура у при...		06/11/2023 05:35:53
Class.TT_5a	5	06/11/2023 05:35:38	Низька температура у при...		06/11/2023 05:35:38
Class.TT_5a	5	06/11/2023 05:35:38	Зависла температура у в...		06/11/2023 05:35:38
Class.TT_1a	0	06/11/2023 05:25:28			06/11/2023 05:25:28
Class.TT_1a	0	06/11/2023 05:25:28	Зависла температура гар...		06/11/2023 05:25:28
Class.TT_1a	0	06/11/2023 05:25:28	Низька температура гарч...		06/11/2023 05:25:28
Class.TT_1a	200	06/11/2023 05:25:12			06/11/2023 05:25:12
Class.TT_1a	100	06/11/2023 05:24:57			06/11/2023 05:24:57
Class.TT_1a	1	06/11/2023 05:24:48			06/11/2023 05:24:48
Class.TT_1a	0	06/11/2023 05:24:03			06/11/2023 05:24:03
Class.PT_1b	0	06/11/2023 05:24:00			06/11/2023 05:24:00
Class.PT_1b	0	06/11/2023 05:24:00			06/11/2023 05:24:00
CVair	0.000000	06/11/2023 05:08:13			06/11/2023 05:08:13

Tag Name	Message	Event Time	User	Value
Open_Screen:3.alarms.acc		06/11/2023 05:33:58	Admin	0
Open_Screen:2.mimics.acc		06/11/2023 05:33:49	Admin	0
Close_Screen:1.menus.acc		06/11/2023 05:29:32	Admin	0
Close_Screen:4.trends.acc		06/11/2023 05:29:32	Admin	0
Close_Screen:5.models.acc		06/11/2023 05:29:32	Admin	0
Close_Screen:3.alarms.acc		06/11/2023 05:29:32	Admin	0
Close_Screen:2.mimics.acc		06/11/2023 05:29:32	Admin	0
Open_Screen:1.menus.acc		06/11/2023 05:23:19	Admin	0
Open_Screen:2.mimics.acc		06/11/2023 05:23:19	Admin	0
Open_Screen:4.trends.acc		06/11/2023 05:23:19	Admin	0
Close_Screen:1.menus.acc		06/11/2023 05:21:34	Admin	0
Close_Screen:2.mimics.acc		06/11/2023 05:21:34	Admin	0
Close_Screen:4.trends.acc		06/11/2023 05:21:34	Admin	0
Close_Screen:5.models.acc		06/11/2023 05:21:34	Admin	0
Close_Screen:3.alarms.acc		06/11/2023 05:21:34	Admin	0
Open_Screen:1.menus.acc		06/11/2023 05:21:20	Admin	0
Open_Screen:2.mimics.acc		06/11/2023 05:21:20	Admin	0
Open_Screen:4.trends.acc		06/11/2023 05:21:20	Admin	0
Close_Screen:2.mimics.acc		06/11/2023 05:21:13	Admin	0
Close_Screen:5.models.acc		06/11/2023 05:21:13	Admin	0
Close_Screen:3.alarms.acc		06/11/2023 05:21:13	Admin	0

Рисунок 5.4 — Вікно Alarms з можливими варіантами аварій

РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ

Темою дипломного проекту є "Автоматизації системи керування опалення за допомогою теплої підлоги" з метою покращення мікроклімату в приміщеннях.

Основними складовими системи АСК за допомогою теплої підлоги є: котел Vaillant turboTEC plus VU 242/5-5 з вбудованим розширювальним баком, чавуна батарея, циркуляційний насос Zegor ZRS32/4GB, двоходові, трьохходовий та трьохходовий регулюючий клапани Belimo EV24A-SZ-TPC, датчики води Raut Automatic Pt1000 Stw-04, датчики повітря Raut Automatic STN-03, датчик перепаду тиску Danfoss YNS-C106X.

Охорона праці — це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності [14].

Кожен громадянин України має право на належні, безпечні і здорові умови праці. Це право закріплено Конституцією України [15].

У цьому розділі запропоновані технічні рішення та організаційні заходи з експлуатації засобів автоматизації, а також визначені необхідні заходи з охорони праці, виробничої санітарії та пожежної безпеки.

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

Реалізація проекту тепла підлога передбачає застосування газового котла для якого буде відведено окреме приміщення без постійної присутності обслуговуючого персоналу, а також виконані наступні заходи:

1. створена газова служба;
2. затверджено відповідне положення про газову службу;
3. визначено особу, відповідальну за газове господарство;
4. затверджені графіки технічного огляду, технічного обслуговування і ремонту об'єктів систем газопостачання;

					ТА-91385.0003.001АТХ.П	Арк.
						80
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат		

5. розроблена документація (паспорт) на газове господарство (котельню) [16].

Згідно із вимогами Правил безпеки систем газопостачання необхідно здійснювати технічне обслуговування та планово-попереджувальні ремонти газового господарства у строки, визначені паспортом або інструкціями заводів-виготовлювачів, з урахуванням умов експлуатації, але не рідше:

технічне обслуговування – 1 раз на місяць

поточний ремонт – 1 раз на 12 місяців

перед початком опалювального сезону.

Результати перевірок необхідно фіксувати у спеціальному журналі із зазначенням дати, особи, яка здійснювала перевірку, та її підпису.

- Одночасно з ремонтом здійснюється перевірка і прочищення газоходів і димових труб - після кожного випадку порушення тяги, але не рідше ніж 1 раз на 12 місяців (до початку опалювального сезону).

Результати оформляються актом, у якому зазначається відсутність засмічення, відокремленість, герметичність, справність оголовків димоходів.

Вимоги до приміщення котельні:

- приміщення заввишки не менш ніж 2 метри;
- обсяг котельні повинен 15 м³;
- площа підлоги не менше 4 м²
- ширина дверей 80 см і двері повинні відкриватися назовні;
- між підлогою і дверима повинна бути щілина не менше 2,5 см;
- димохід може бути виготовлений з нержавіючої сталі з висотою не менше ніж на 0,5 м вище гребеня покрівлі;
- приміщення повинно мати природне та штучне освітлення;
- вікно (кватирка) не менше 0,8 м²; кватирки та вентиляційні канали повинні бути постійно відкриті [16];
- на дверях написи: тепловий пункт №, прізвище, ім'я, по батькові відповідальної особи та контактний телефон [17];
- розміщені попереджувальні знаки безпеки відповідно до Технічного

регламенту: стороннім вхід заборонено та заборону паління.

Котельня повинна бути обладнана:

- автоматичним газоаналізатором для контролю за станом повітряного середовища; [16]
- аварійним освітленням та у вибухобезпечному виконанні, при чому пускову арматуру та запобіжники до світильників установлюють поза приміщеннями котельні;
- внутрішні електромережі повинні відповідати вимогам для вибухонебезпечних зон;
- освітленість приміщення котельні потрібно приймати відповідно до вимог ДБН В.2.5-28 «Природне і штучне освітлення»;
- Блискавкозахист котельні потрібно виконувати відповідно до вимог ДСТУ EN 62305-1:2012, ДСТУ ІЕС 62305-2:2012, ДСТУ EN 62305-3:2012, ДСТУ EN 62305-4:2012;
- Захист від статичної електрики трубопроводів та обладнання котельні потрібно виконувати відповідно до вимог ГОСТ 12.1.018 «Система стандартів безпеки праці. Пожежовибухобезпека статичної електрики. Загальні вимоги» [18];
- Котел Vaillant turboTEC plus VU 242/5-5 повинен бути обладнаний автоматичними пристроями, що забезпечують відключення пальників за умови: припинення подавання газу; зниження тиску газу в них нижче робочого; погасання полум'я; відсутності тяги в димоході; перевищення температури теплоносія.

Електрощитові котелень не дозволяється розташовувати суміжно з приміщеннями громадського та житлового призначення або безпосередньо над та під ними.

У приміщенні, де установлений котел забороняється:

- допускати до роботи осіб, які не пройшли навчання з пожежно-технічного мінімуму та не отримали відповідних кваліфікаційних посвідчень, а також залишати без догляду працюючі котли і нагрівники;

					ТА-91385.0003.001АТХ.П	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат		82

- експлуатувати установки у разі підтікання рідкого палива або витікання газу із системи паливоподачі;
- розпалювати установки без їх попередньої продувки; подавати паливо, коли форсунки або газові пальники згасли;
- працювати при зіпсованих або відключених приладах контролю й регулювання, а також за їх відсутності;
- сушити спецодяг, взуття, інші матеріали на котлі та паропроводах.

6.1.1 Вимоги до обслуговуючого персоналу котлового обладнання

Під час прийняття на роботу працівники повинні проходити інструктаж, навчання з питань охорони праці, з надання першої медичної допомоги потерпілим від нещасних випадків і правил поведінки у разі виникнення аварії, також протипожежний інструктаж.

В подальшому обслуговуючий персонал котлового обладнання проходить щорічне спеціальне навчання (для робіт підвищеної небезпеки) за відповідними нормативно-правовими актами з охорони праці, а посадові особи, які призначені відповідальними за безпечну експлуатацію газового господарства проходять навчання з охорони праці один раз на три роки.

Після виконання всіх вищезазначених заходів працівники можуть бути допущені до роботи.

Працівники, які обслуговують газовий котел повинні мати II групу з електробезпеки.

6.1.2 Вимоги з електробезпеки при експлуатації засобів автоматизації

Електробезпека – це система організаційних і технічних заходів і засобів, що забезпечують захист людей від шкідливої і небезпечної дії електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля і статичної електрики.

Основні нормативні документи, що регламентують вимоги з електробезпеки, це ПУЕ-2017, НПАОП 40.1-1.21-98, НПАОП 40.1-1.01-97, НПАОП-40.1-1.32-01, ДСТУ 7237:2011 та Технічний регламент з безпеки

					ТА-91385.0003.001АТХ.П	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат		83

низьковольтного електричного обладнання (постанова Каб. Міністрів України №1149 від 23.10.2009 р.), а також вимог ДСТУ Б В.2.5-82:2016. «Інженерне обладнання будинків і споруд. Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд».

Згідно ДСТУ 7237:2011 для забезпечення захисту від випадкового дотику людини до струмовідних частин ЕУ застосовують такі види захисту:

- основне (робоче) ізолювання струмовідних частин (захисне ізолювання);
- додаткове, посилене, подвійне ізолювання струмовідних частин;
- захисні оболонки;
- захисні огорожі (тимчасові або стаціонарні);
- безпечне розташування струмовідних частин;
- ізолювання робочого місця;
- мала напруга; захисне вимкнення;
- попереджувальна сигналізація (звукова, світлова тощо);
- блокування;
- встановлення знаків безпеки;
- електрозахисні засоби; засоби індивідуального захисту.

Для запобігання ураженню електричним струмом під час дотику до металевих неструмовідних частин, які можуть бути під напругою внаслідок пошкодження ізоляції, застосовують окремо або в поєднанні такі види захисту:

- захисне заземлення;
- автоматичне вимкнення живлення;
- зрівнювання потенціалів;
- застосування обладнання відповідного класу за електрозахистом;
- захисний електричний поділ кіл;
- ізолювальні (непровідні) приміщення, зони, майданчики;
- системи наднизької напруги (безпечної, захисної).

Передбачена проектом апаратура системи автоматизації та

					ТА-91385.0003.001АТХ.П	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат		84

технологічне устаткування повинні експлуатуватися відповідно до паспортних даних, які визначають номінальні значення струмів і напруг живлення.

Для живлення засобів автоматизації використовується трифазна електромережа з заземленою нейтраллю, з робочою напругою 220/380 В та частотою 50 Гц. Застосована система захисного заземлення TN (підсистеми TN-C та TN-S), яка виключає можливість ураження персоналу електричним струмом при пробі на корпус ЕУ однієї з фаз електромережі, що забезпечується завдяки швидкому вимиканню ділянки електромережі, на якій виникло замикання фази на корпус, за рахунок використання пристроїв максимального струмового захисту.

Для виконання діючих вимог з електробезпеки, все технологічне устаткування згідно з ДСТУ ІЕС 61140:2015 має І клас за електрозахистом [16], а засоби автоматизації (блоки контролерів, екранні пристрої, датчики, виконавчі пристрої, блоки живлення тощо) системи управління мають відповідно І, ІІ та ІІІ класи.

Для захисту людей від помилкових дій та випадкового дотику до струмовідних частин електрообладнання при монтажі, обслуговуванні та експлуатації спроектованої АСК застосовані розподільні щити в металевих шафах в закритому виді, клемні колодки мають бути захищеними спеціальними щитками, електрокабелі мати різнокольорову ізоляцію провідників та відповідне кольорове маркування комутаційних елементів, таблички та написи з позначенням робочих напруг, попереджувальні знаки.

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

6.2.1. Мікроклімат робочої зони

Мікроклімат робочої зони приміщень щитової та операторської приймають за вимогами ДСН 3.3.6.042 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» [19], виходячи із категорії робіт за важкістю праці.

					ТА-91385.0003.001АТХ.П	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат		85

Категорії і характеристики робіт

Категорії робіт	Характеристика робіт
<i>Легка – I</i>	Роботи, які виконуються сидячи, стоячи або пов'язані з ходінням, але не вимагають фізичних зусиль
Середньої важкості – II-а	Роботи, які постійно виконуються ходячи, а також виконуються сидячи або стоячи, але не вимагають переміщення вантажів
Середньої важкості – II-б	Роботи, які пов'язані з ходінням і переміщенням вантажів до 10 кг
Важка – III	Роботи, які пов'язані з систематичним напруженням, постійним переміщенням і перенесенням (понад 10 кг) вантажів

Рисунок 6.1 – Категорії і характеристики робіт

Для приміщень операторської та щитової це відповідно категорія Іб (легка) та категорія II б (середньої важкості).

Параметри мікроклімату робочої зони, що нормуються:

1. Температура повітря (t , °C);
2. Потужність теплових випромінювань (Вт/м²);
3. Відносна вологість повітря (W , %);
4. Швидкість переміщення повітря (м/с).

Оптимальні параметри мікроклімату наведені нижче у в табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Параметри мікроклімату

Період року	Категорія роботи	Оптимальні			Допустимі		
		t , °C	W , %	V м/с	t , °C	W , %	V м/с
Холодний	I-б	21-23	40-60	<0.1	20-24	75	<0.2
	II-б	18-20	40-60	<0.2	17-23	75	<0.3
Теплий	I-б	22-24	40-60	<0.2	20-24	60	0.1-0.3
	II-б	21-23	40-60	<0.3	18-27	65	0.2-0.4

Також температура повітря в робочій зоні виробничих приміщень, системи вентиляції, способи подавання та видалення повітря приймається за Додатком Д ДБН В.2.5-77:2014 «Котельні» [18].

6.2.2. Виробниче освітлення

Приміщення котельні повинно мати природне та штучне освітлення. Освітленість потрібно приймати відповідно до вимог ДБН В.2.5-28 «Природне і штучне освітлення».

При нормуванні природного освітлення використовується коефіцієнт природного освітлення (КПО або e), що залежить від віконних прорізів і віддалення точки виміру. У приміщенні щитової застосовується система бокового природного освітлення.

Для забезпечення вимог безпеки котельня повинна бути обладнана аварійним освітленням у вибухобезпечному виконанні, при чому пускову арматуру та запобіжники до світильників установлюють поза приміщеннями котельні.

6.2.3. Виробничий шум

Для визначення рівня шуму у приміщенні, де встановлений котел, необхідно зробити вимірювання за вимогами ДСН 3.3.6.037-99 [19].

Згідно з даними, що містить паспорт котла Vaillant turboTEC plus VU 242/5-5 рівень звуку при роботі котла становить 48 дБА, що не перевищує допустимий рівень 80 дБА. Циркуляційний насос Zegor ZRS32/4GB для опалення 180 мм працює практично безшумно.

Окрім того, відповідно до проекту, газовий котел буде встановлений в окремому приміщенні, без постійної присутності обслуговуючого персоналу.

6.3. Пожежна безпека та профілактика

Для виконання вимог із забезпечення вибухопожежної та пожежної безпеки, приміщення газової котельні повинно бути обладнане системою автоматичної пожежної сигналізації табл. А1 додатку А ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту» [18].

Відповідальні особи за безпечну експлуатацію газової котельні та обслуговуючий персонал повинні пройти навчання за програмою пожежно-технічного мінімуму, що передбачено вимогами наказу МВС України

					ТА-91385.0003.001АТХ.П	Арк.
						87
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат		

«Порядок затвердження програм навчання та інструктажів з питань пожежної безпеки, організації та контролю за їх виконанням» від 05.12.2019 [19].

У разі виникнення пожежі працівники мають швидко і безпечно покинути робочі місця. З цією метою роботодавець повинен забезпечити належне утримання аварійних виходів та шляхів евакуації. Підходи до аварійних виходів повинні бути вільними, незахаращеними та мати належні позначення (сигнальними кольорами, дороговказами, написами, знаками безпеки тощо)

Шляхи евакуації і аварійні виходи мають бути забезпечені евакуаційним освітленням. Двері аварійних виходів повинні відкриватись назовні і замикатись так, щоб у випадку необхідності будь-яка особа могла легко і швидко їх відкрити без застосування додаткових засобів [20].

Відповідно до вимог пожежної безпеки, на підприємстві повинен бути розроблений порядок огляду приміщень після закінчення робочого дня відповідальними особами з фіксацією у Журналі результатів огляду.

Дії виробничого персоналу при виявленні запаху газу:

- негайно припинити його подавання;
- викликати аварійну газову службу;
- провітрити приміщення.

До усунення несправності в приміщенні забороняється:

- запалювати сірники;
- палити;
- застосовувати відкритий вогонь;
- вмикати та вимикати електроприлади;
- користуватися інструментом, який утворює іскри під час ударів;
- застосовувати вогонь для виявлення витoku газу з газопроводів;
- користуватися газовими пальниками й приладами.

У разі виникнення пожежі необхідно негайно викликати пожежно-рятувальну службу за телефоном 101.

Крім того, обслуговуючий персонал котельні повинен вміти

					ТА-91385.0003.001АТХ.П	Арк.
						88
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат		

користуватися первинними засобами пожежогасіння.

За типом вогнегасники розподіляють на: порошкові, вуглекислотні, водопінні, водяні і газові (табл. 6.2).

Придатність використання вогнегасників визначається, відповідно до класів пожеж:

клас пожежі А - горіння твердих речовин

клас пожежі В - горіння рідких речовин

клас пожежі С - горіння газоподібних речовин

клас пожежі D - горіння металів

клас пожежі Е - горіння електроустановок під напругою

Клас пожежі F - горіння горючих речовин, таких як рослинні та тваринні олії і жири в обладнанні для приготування їжі.

Таблиця 6.2 – Типи вогнегасників відповідно до класів пожеж

Тип вогнегасника	Перелік класів пожеж					
	A	B	C	D	F	E
Порошковий	+	+	+	+	-	+
Водопінний	+	+	-	-	-	-*
Водяний	+	+	-	-	+	-*
Газовий	-	+	-	-	-	+

* Використання, небезпечне для життя людини

Знак “+” означає придатність вогнегасника для гасіння пожежі цього класу; знак “-” означає непридатність для гасіння пожежі цього класу

Отже, у разі виникнення пожежі газоподібних речовин для ліквідації місця займання необхідно застосовувати порошковий вогнегасник (ВП-5). Загалом, порошкові вогнегасники є універсальними засобами пожежогасіння; за їх допомогою можна гасити пожежі майже всіх класів, в тому числі устаткування, що знаходиться під напругою до 1000В.

6.4 Висновок

На роботодавця покладено обов'язок створення безпечних та нешкідливих умов праці, що реалізується у декілька етапів.

По-перше, всі працівники повинні бути застраховані від нещасного випадку на виробництві.

Наступним кроком необхідно провести атестацію робочих місць та, спираючись на висновки атестаційної комісії, підтвердити відповідність існуючим нормам умов праці, покращити умови праці або встановити пільги та сплачувати компенсації працівникам за роботу в шкідливих умовах праці.

Крім того, необхідно здійснити заходи з створення безпечного виробничого середовища. Приміщення, де встановлений газовий котел повинно бути обладнане газоаналізатором, пожежною сигналізацією, автоматикою безпеки, аварійним освітленням, захисним заземленням.

У зв'язку з тим, що робота з обслуговування водогрійних котлів відноситься до робіт підвищеної небезпеки до працівників також застосовуються певні вимоги. Зокрема, до роботи у газовій котельні допускаються особи не молодші 18 років, що пройшли медичний огляд, спеціальне навчання, навчання з протипожежного мінімуму і мають посвідчення кваліфікаційної комісії на право обслуговування котлів, пройшли вступний та первинний на робочому місці інструктажі з охорони праці, електробезпеки, пожежної безпеки, дій у надзвичайних ситуаціях та порядку надання домедичної допомоги. Працівники, які обслуговують газовий котел повинні мати II групу з електробезпеки.

РОЗДІЛ 7 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК

У табл. 7.1 наведено вартість приладів спроектованої системи та вартість монтажних робіт. Кошторис складений в цінах 2023 року.

Таблиця 7.1 – Кошторис

№ п. п	Найменування приладу	Од. Ви- міру	Кіл - сть	Вартість одного приладу, грн			Загальна вартість, грн		
				Облад- нання	Монтажних робіт		Облад- нання	Монтажних робіт	
					Всього	В т.ч. ЗП		Всього	В т.ч. ЗП
1	Датчик температури води Raut Automatic Pt1000 Stw-04	шт.	4	798,00	119,70	11,97	3192,00	478,80	47,88
2	Датчик температури повітря Raut Automatic STH-03	шт.	2	3606,00	540,90	54,09	7212,00	1081,80	108,18
3	Реле перепаду тиску Danfoss YNS-C106X	шт.	1	7450,00	1117,50	111,75	7450,00	1117,5	111,75
4	Радіатор біметалевий Mirado/Diva 500/96	секція	48	425,00	63,75	6,38	20400,00	3060,00	306,00
5	Газовий котел Vaillant turboTEC plus VU 242	шт.	1	45506,4 0	6825,96	682,60	45506,40	6825,96	682,60

Продовження таблиці 7.1

№ п. п	Найменування приладу	Од. Ви- міру	Кіл - сть	Вартість одного приладу, грн			Загальна вартість, грн			
				Облад- нання	Монтажних робіт		Облад- нання	Монтажних робіт		
					Всього	В т.ч. ЗП		Всього	В т.ч. ЗП	
6	Циркуляційний насос Zegor ZRS32/4GB	шт.	1	987,00	148,05	14,81	987,00	148,05	14,81	
7	Перехідник KALDE	шт.	10	35,64	5,35	0,54	356,40	53,50	5,40	
8	Триходовий змішувальний клапан ESBE VRG 131 25-10	шт.	1	5013,00	751,95	75,20	5013,00	751,95	75,20	
9	Клапан 2-ходовий NENUTEC DN15	шт.	4	959,00	143,85	14,39	3836,00	575,40	57,54	
10	Блок живлення Schneider Electric Modicon 1,2A, 24B/DC (ABLM1A24012)	шт.	1	2051,60	307,74	30,77	2051,60	307,74	30,77	
11	ПЛК M172-28, Schneider Electric	шт.	1	19300,00	2895,00	289,50	19300,00	2895,00	289,50	
12	DIN-рейка, ElectroHouse	м	0,45	12,90	1,94	0,19	25,80	3,88	0,39	
				ТА-91385.0003.001АТХ.П						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат						

Кінець таблиці 7.1

№ п. п	Найменування приладу	Од. Ви- міру	Кіл - сть	Вартість одного приладу, грн			Загальна вартість, грн		
				Облад- нання	Монтажних робіт		Облад- нання	Монтажних робіт	
					Всього	В т.ч. ЗП		Всього	В т.ч. ЗП
13	Автоматичний вимикач 1р 6А ez9f34106, Schneider Electric	шт.	1	125,90	18,89	1,89	125,90	18,89	1,89
14	Корпус металлический ЩМП-2.3.1-0 36 УХЛЗ IP31, IEK	шт.	1	1261,00	189,15	18,92	1261,00	189,15	18,92
15	Кабель канал, MALPRO	м	0,6	25,00	3,75	0,38	25,00	3,75	0,38
16	Силовий кабель, ORANGE STAR ВВГ 3X2,5	м	20	46,58	6,99	0,70	931,60	139,74	13,97
17	Кабель контрольний КВВГ 4X1,0	м	100	29,79	4,47	0,45	2979,00	446,85	44,69
18	Гофротруба, DKC, Україна	м	150	16,40	2,46	0,25	49,20	7,38	0,74
19	Клеми KN22N Hager	шт.	25	200,40	30,06	3,00	601,20	90,18	9,02

					ТА-91385.0003.001АТХ.П				Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат					93

Результати створеного коштористу:

- загальна кошторисна вартість 140893,61 грн
- вартість обладнання 121303,10 грн
- монтажні роботи 18195,52 грн
- транспортування 1395 грн

Економічний ефект: $E_{\text{еф}} = \Delta C - K \cdot E_{\text{н}} = 60672,01 - 140893,61 \cdot 0,15 = 39537,97$ грн/рік (показник нормативної економічної ефективності $E_{\text{н}} = 0,15$)

Ефективність: $\Delta C = E_{\text{в}} - \Delta C_{\text{е}} = 119955,36 - 59283,35 = 60672,01$ грн

Економія витрат від впровадженої новації: $E_{\text{в}} = 0,4 \cdot Q_{\text{р}} + E_{\text{о}} = 0,4 \cdot 89888,4 + 84000 = 119955,36$ грн (річну економію на обслугованні приймемо 12000 грн в місяць $\cdot 7$ місяців опалювального сезону = 84000 грн)

Річне споживання теплової енергії: $Q_{\text{р}} = 3 \cdot 35,67 \cdot 7 \cdot 12 = 89888,4$ грн (споживання теплової енергії в опалювальний сезон (приблизно 7 місяців) складає 3Гкал на 120 м². Ціна 1Гкал = 35,67 грн./м²)

Додаткові експлуатаційні витрати: $\Delta C_{\text{е}} = Z_{\text{ам}} + Z_{\text{ел}} + Z_{\text{р}} = 2817,87 + 49420,8 + 7044,68 = 59283,35$ грн/рік

Затрати на амортизацію: $Z_{\text{ам}} = 0,02 \cdot K = 0,02 \cdot 140893,61 = 2817,87$ грн/рік

Затрати на електроенергію: $Z_{\text{ел}} = \Pi \cdot T_{\text{р}} \cdot C_{\text{е}} = 3,9 \cdot 4800 \cdot 2,64 = 49420,8$ грн/рік (сумарна потужність обладнання $\Pi = 3,9$ кВт, річний фонд робочого часу системи $T_{\text{р}} = 4800$ год, ціна електроенергії 1кВт/год $C_{\text{е}} = 2,64$ грн)

Затрати на ремонт: $Z_{\text{р}} = 0,05 \cdot K = 0,05 \cdot 140893,61 = 7044,68$ грн/рік

Розрахуємо термін окупності капіталовкладень:

АСР вважається економічно ефективною, якщо $T_{\text{ок}} < T_{\text{н}}$.

$T_{\text{ок}} = K/\Delta C = 140893,61/39537,97 = 3,6$ роки

Розрахуємо нормативний порівняльний термін окупності капіталовкладень: $T_{\text{н}} = 1/E_{\text{н}} = 1/0,15 = 6,7$ років

Можна зробити висновок, що введення автоматизованої системи керування опаленням є економічно вигідним та ефективним, адже система вважається економічно ефективною, якщо період окупності 3,6 менше ніж

					ТА-91385.0003.001АТХ.П	Арк.
						94
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат		

нормативний порівняльний термін 6,7. Окрім того, термін окупності зменшиться та економічний ефект збільшиться, адже у розрахунках наведено використання посиленого режиму опалення.

ВИСНОВКИ

У даній дипломній роботі розроблено техно-робочий проєкт "Автоматизована система керування опалення за допомогою теплої підлоги".

Робота була розділена на сім основних розділів, які охоплюють проектування, інженерний розрахунок, опис графічної частини проєкту, програмування ПТКЗА, імітаційне моделювання АТК, охорону праці та техніко-економічний розрахунок.

У розділі "Проектування АСУТП" була проведена характеристика технологічного об'єкту управління та обґрунтування структури АСУТП. Були розроблені функціональна та структурна схеми автоматизації, а також програмно-технічний комплекс.

З метою реалізації системи керування опаленням за допомогою теплої підлоги використано сучасні датчики для збору даних про температуру в приміщенні та на вулиці. Отримані дані передаються до регулятора, який застосовує алгоритми управління для регулювання роботи теплої підлоги. У результаті чого була досягнута оптимальна робота системи.

Ця система передбачає комбінацію теплої підлоги з традиційними радіаторами. Даний підхід дозволяє поєднати переваги обох систем. Тепла підлога забезпечує рівномірне та комфортне розподілення тепла в приміщенні, тоді як радіатори можуть швидко нагрівати повітря, що дозволяє у короткий термін збільшити температуру. Це забезпечує більш гнучкий та ефективний контроль температури в приміщенні.

У розділі "Інженерний розрахунок САР" були проведені розрахунки вимірювальних каналів та регулювально-виконавчих каналів системи автоматичного регулювання.

Були проведені математичні дослідження для перевірки ефективності автоматизованої системи опалення. У результаті було отримано дані про споживання енергії, температурні режими та зручність управління.

У розділі "Опис графічної частини проекту" розроблені схеми, креслення та специфікація обладнання, що використовується в системі.

У розділі "Програмування ПТКЗА" описано процес програмування функціональності ПЛК та SCADA-системи та у розділі "Імітаційне моделювання АТК" змодельовано технологічний процес в середовищі Matlab Simulink та програмування контролерної функціональності в софтПЛК CoDeSys та HMI/SCADA-системі WebStudio.

У розділі "Охорона праці" описані заходи, які необхідно виконати при експлуатації та встановленню системи автоматизації.

У розділі "Техніко-економічний розрахунок" зазначено, що АСК забезпечить економічний ефект на 140893,61 грн. Проектний термін окупності капіталовкладення в АСУТП складає 3,6 років.

Отримані результати свідчать про те, що розроблена автоматизована система керування опаленням має високу роботоздатність, надійність та енергоефективність.

Продовження досліджень у цій області може призвести до подальшого вдосконалення систем опалення та створення більш енергоефективних рішень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автоматизовані системи управління технологічного процесу в хімічних виробництвах: курс лекцій / Укладач Л.В.Борисова. – Х.: НУЦЗУ, 2015. – 98с
2. Способи з'єднання до ПЛК URL: <https://dev.iridi.com/Modbus/en> (дата звернення: 01.05.2023)
3. Датчик температура води Raut Automatic Pt1000 Stw-04 URL: <http://www.raut-automatic.kiev.ua/sensors-ua/temperature-ua/water-ua/stw-04-ua.html> (дата звернення: 12.05.2023)
4. Датчик температура повітря Raut Automatic STH-03 URL: <http://www.raut-automatic.kiev.ua/sensors-ru/humidity-ru/sth-03-ru.html> (дата звернення: 18.05.2023)
5. Датчик перепад тиску Danfoss YNS-C106X URL: <https://profimann.com.ua/avtomatika-i-upravlenie/rele-davleniya-vody/rele-davleniya-danfoss-yns-c106x/> (дата звернення: 18.03.2023)
6. Газовий котел Vaillant turboTEC plus VU 242/5-5 URL: <https://teploradost.com.ua/odnokonturnyj-gazovyj-kotel-vaillant-turbotec-plus-vu-24255> (дата звернення: 18.05.2023)
7. Програмований логічний контролер M172 URL: <https://files.rakurs.su/Sistemy-avtomatizacij/Programmierung-logicheskie-kontrollery/Schneider-Electric/M171-M172/Rukovodstvo-po-podklyucheniyu-Modicon-M172-Performance-eng.pdf> (дата звернення: 17.05.2023)
8. Радіатор біметалевий Mirado/Diva 500/96 URL: <https://epicentrk.ua/ua/shop/radiator-bimetallicheskiy-diva-diva-500-96-16atm.html> (дата звернення: 16.05.2023)
9. Клапан двоходовий URL: <https://prom.ua/ua/p1057027117-klapan-dvuhhodovoj-servoprivodom.html> (дата звернення: 12.05.2023)
10. Клапан трьохходовий URL: <https://epicentrk.ua/shop/klapan-salus-3->

khodovyi-zelektromekhanichnym-pryvodom-pmv31-1.html

(дата

звернення: 13.05.2023)

11.Перехідник із зовнішньою металевою різьбою URL:

<https://aquaart.in.ua/ua/p65031332-mufta-kalde-naruzhnoj.html>

(дата

звернення: 14.05.2023)

12.Циркуляційний насос Zegor ZRS32/4GB URL:

<https://www.zegor.shop/shop/nasos-tsirkulyatsionyj-zegor-zrs32-4gb-kab-1-3m/> (дата звернення: 17.05.2023)

13. Різновиди радіаторного опалення URL: <https://tl-news.com.ua> (дата звернення: 12.05.2023)

14.Закон України «Про охорону праці» від 1992

15.Конституція України від 1996

16.Правил безпеки систем газопостачання від 15.05.2015

17.Правил технічної експлуатації теплових установок і мереж, наказ від 14.02.2007

18.ДБН В.2.5-77:2014 Котельні

19.Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99

20.Наказ МНС України Про затвердження Загальних вимог стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників від 25.01.2012

					ТА-91385.0003.001АТХ.П	Арк.
						99
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат		