

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

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

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

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

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

**спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» на тему:
«АСК твердопаливного водогрійного котла
в тренажерному залі»**

Виконав:
студент IV курсу, групи ТА-91
Дзюмак Владислав Сергійович

Керівник:
Доцент, к.т.н.
Степанець Олександр Васильович

Консультант з охорони праці:
Доцент, к.т.н.
Каштанов Сергій Федорович

Рецензент:

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

Студент _____

Київ – 2023 року

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ

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

Дзюмак Владислав Сергійович

1. Тема проєкту «АСК твердопаливним водогрійним котлом в тренажерному залі», керівник проєкту доцент, к.т.н., Степанець Олександр Васильович, затверджені наказом по університету від «29» травня 2023 р. № 2039-с.

2. Термін подання студентом проєкту «__» _____ 20__ р.

3. Вихідні дані до проєкту : об'єктом автоматизації є твердопаливний водогрійний котел встановлений у тренажерному залі площею 1000 м². Система контролює температуру води на виході з котла - шляхом зміни швидкості обертання електромотора, що подає паливо.

4. Зміст пояснювальної записки: Вступ, Проектування АСУТП, Інженерний розрахунок САР, Опис графічної частини проєкту, Програмування ПТКЗА, Імітаційне моделювання АТК, Охорона праці, Техніко-економічний розрахунок, Висновки, Список використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу: Функціональна схема автоматизації, Структурна схема ПТК, Схема принципова електрична, Загальний вид щита, Монтажна схема щита та Схема зовнішніх з'єднань.

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Каштанов С.Ф., доцент, к.т.н.		

7. Дата видачі завдання «__» _____ 20__ р. Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Постановка задачі автоматизації ТОУ. Обґрунтування та аналіз.	19.04.2023	
2	Структурна ПТК	25.04.2023	
3	Схема автоматизації функціональна	30.04.2023	
4	Креслення загального виду щита	04.05.2023	
5	Синтез САР і аналіз її функціонування.	08.05.2023	
6	Розрахунок вимірювальних та виконавчих каналів АТК	12.05.2023	
7	Схема електрична підключень	16.05.2023	
8	Розрахунок надійності функціонування АСУ	19.05.2023	
9	Схеми підключень кабелів, клем, приладів	22.05.2023	
10	Полігонні випробування імітаційної моделі і аналіз функціонування АСУ	24.05.2023	
11	Охорона праці	01.06.2023	
12	Розрахунок техніко-економічної ефективності	01.06.2023	
13	Оформлення пояснювальної записки	08.06.2023	
14	Передзахист ДП	10.06.2023	
15	Захист ДП	20.06.2023	

Студент

Владислав ДЗЮМАК

Керівник

Олександр СТЕПАНЕЦЬ

АНОТАЦІЯ

Дипломний проект виконується на тему “Автоматизація системи управління твердопаливним водогрійним котлом у тренажерному залі”. Система призначена для автоматичного контролю за температурою води на виході з котла шляхом автоматичної подачі палива, системою контролю подачі повітря та контролю розрідження у камері згоряння. Також котел оснащений системою автоматичного очищення зольної камери.

В ході роботи виконані всі поставлені задачі, а саме:

Розділ 1: аналіз існуючої системи, проведений аналіз та переваги об’єкта. Ознайомлення із подібними системами та їхніми різновидами. Проведений аналіз та порівняння існуючих систем.

Розділ 2: підібрана вимірювальна апаратура, виконавчі механізми та контролер із модулем розширення. Зроблений метрологічний розрахунок вимірювальних каналів та розрахунок надійності, в ході якого вияснили, що система є надійною. Зроблено розрахунки надійності для САР та провели експеримент на реальному об’єкті для знаходження кривої розгону та передавальної функції.

Розділ 3: остаточно обрана апаратура, після чого розроблені всі графічні схеми: функціональна схема автоматизації, структурна схема ПТК, схема принципова електрична, загальний вид щита, монтажна схема щита та схема зовнішніх з’єднань. Складена специфікація обладнання.

Розділ 4: розроблена схема функціональності ПЛК в програмному середовищі Codesys та обрана модель ПЛК, яка краще за аналоги підійшла для автоматизації твердопаливних котлів. Розроблена програма функціональності SCADA-системи.

Розділ 5: у розділі проведено імітаційне моделювання АТК за допомогою програм Codesys, Matlab Simulink та Indusoft Web Studio.

Розділ 6: у розділі охорони праці досліджено аспекти під час експлуатації системи. Аналіз показав, що система відповідає всім вимогам безпеки праці. Були встановлені заходи безпеки які забезпечують безпечну роботу для персоналу. Дотримані всі норми по пожежній безпеці та безпеці електричних підключень та перевантажень.

Розділ 7: в ході техніко-економічного розрахунку було розраховано, що система є економічно вигідною та окупиться за 2 роки.

Таким чином можна зробити висновок, що дана система є економічно вигідною, безпечною та потребує мінімального втручання людини в процес. Отже, дану систему твердопаливного котла варто автоматизувати.

Ключові слова: твердопаливний водогрійний котел, автоматизація системи управління, система автоматичного регулювання, температура, тиск, розрідження. електромотор, циркуляційний насос, вентилятор.

ANNOTATION

The diploma project is carried out on the topic of automation of the control system of a solid fuel water heating boiler in a gym. The system is designed for automatic control of the water temperature at the boiler outlet by means of automatic fuel supply, air supply control system and rarefaction control in the combustion chamber. The boiler is also equipped with an automatic ash chamber cleaning system.

During the work, all tasks were completed, namely:

Chapter 1: Analysis of the existing system, performed analysis and benefits of the facility. Acquaintance with similar systems and their varieties. The analysis and comparison of existing systems was carried out.

Chapter 2: Selected measuring equipment, actuators and controller with expansion module. A metrological calculation of measuring channels and a reliability calculation were made, during which it was found that the system is reliable. Reliability calculations for SAR were made and an experiment was conducted on a real object to find the acceleration curve and transfer function.

Chapter 3: The equipment is finally selected, after which all graphic diagrams are developed: automation functional diagram, PTK structural diagram, basic electrical diagram, general view of the shield, assembly diagram of the shield, and external connection diagram. Compiled equipment specification.

Chapter 4: The PLC functionality scheme in the Codesys software environment was developed and the PLC model was selected, which was better than its counterparts for the automation of solid fuel boilers. A SCADA system functionality program has been developed.

Chapter 5: In the chapter, simulation modeling of ATK was carried out using Codesys, Matlab Simulink and Indusoft Web Studio programs.

Chapter 6: The occupational health and safety section examines aspects during system operation. The analysis showed that the system meets all labor safety requirements. Safety measures have been established to ensure safe work for the staff. All standards for fire safety and safety of electrical connections and overloads have been observed.

Chapter 7: During the techno-economic calculation, it was calculated that the system is economically profitable and will pay for itself in 2 years.

Thus, it can be concluded that this system is economically beneficial, safe and requires minimal human intervention in the process. Therefore, this solid fuel boiler system can be automated.

Key words: solid fuel water heating boiler, control system automation, automatic regulation system, temperature, pressure, rarefaction. electric motor, circulation pump, fan.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АСР – автоматична система регулювання
АСУ – автоматизована система управління
АСУТП – автоматизована система управління технологічним процесом
АТК – автоматизований технологічний комплекс
ВК – вимірювальні канали
ВМ – виконавчий механізм
ЧП - частотний перетворювач
ОУ – об'єкт управління
АЦП - аналого-цифровий перетворювач
ЦАП - цифро-аналоговий перетворювач
ПЗ – пояснювальна записка
ПІД – пропорційно-інтегрально-диференціальний
ПЛК – програмований логічний контролер
ПТЗ – програмно-технічні засоби
ПТКЗА – програмно-технічний комплекс засобів автоматизації
РАФХ – розширена амплітудо-фазова характеристика
РВК – регульовально-виконавчий канал в складі РВС
РВС – регульовально-виконавча система АСУТП
РО – регулюючий орган
САР – система автоматичного регулювання
СКМ – система комп'ютерної математики
ТОУ – технологічного об'єкту управління
НМІ – human-machine interface, людино-машинний інтерфейс
MES – manufacturing execution system, система управління виробничими процесами
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: «АСК твердопаливного водогрійного котла
в тренажерному залі»**

ЗМІСТ

ВСТУП	13
РОЗДІЛ 1 ПРОЕКТУВАННЯ АСУТП	15
1.1 Характеристика технологічного об'єкту управління	15
1.2 Вибір і обґрунтування структури АСУТП ТООУ	19
1.3 Технологічні параметри АСУТП ТООУ	20
1.4 Функції АСУТП	21
1.5 Схема автоматизації функціональна.....	22
1.6 Схема структурна програмно-технічного комплексу	24
1.7 Перелік і аналіз джерел техніко-економічної ефективності АТК ТООУ	25
РОЗДІЛ 2 ІНЖЕНЕРНИЙ РОЗРАХУНОК САР	28
2.1 Інженерний розрахунок вимірювальних каналів САР	28
2.1.1 Перелік вимірювальних каналів (ВК).....	28
2.1.2 Схеми структурні вимірювальних каналів.....	29
2.1.3 Особливості електричних підключень датчиків вимірювальних каналів	31
2.1.4 Монтаж технічних засобів вимірювальних каналів	32
2.1.5 Захист технічних засобів вимірювальних каналів від перешкод	35
2.1.6 Схеми структурні надійності вимірювальних каналів	36
2.1.7 Метрологічний розрахунок вимірювальних каналів	37
2.1.8 Розрахунок надійності вимірювальних каналів	37
2.1.9 Функції первинної обробки даних вимірювання в ПЛК	39
2.1.10 Висновок щодо роботоздатності вимірювальних каналів САР	40

					ТА-91391.0007.001.АТХ.П		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	АСК твердопаливного водогрійного котла в тренажерному залі		
Розробив	Дзюмак В.С.						
Перевірів	Степанець О.В.						
Н. контр.	Некрашевич О.В.						
Затвердив	Волощук В.А.						
					Лім.	Арк.	Акрушів
						10	129
					КПІ ім. І. Сікорського НН ІАТЕ, гр. ТА-91		

2.2 Інженерний розрахунок регулювально-виконавчих каналів САР	41
2.2.1 Перелік систем автоматичного регулювання	41
2.2.2 Функціональна і структурна схеми САР	43
2.2.3 Схема структурна регулювально-виконавчого каналу САР	44
2.2.4 Схема структурна програмно-технічних засобів САР	46
2.2.5 Схема структурна надійності реалізації управляючої функції САР	47
2.2.6 Розрахунок надійності реалізації управляючої функції САР	48
2.2.7 Ідентифікація об'єкта управління	50
2.2.8 Розрахунок регуляторів САР	53
2.2.9 Функціональне моделювання САР	61
2.2.10 Висновки щодо роботоздатності РВК САР	72
РОЗДІЛ 3 ОПИС ГРАФІЧНОЇ ЧАСТИНИ ПРОЕКТУ	74
3.1 Схема функціональна автоматизації ТОУ	74
3.2 Схема структурна ПТК	77
3.3 Схема принципова електрична АСР	78
3.4 Креслення загального виду щита	80
3.5 Схема монтажна щита (таблиця з'єднань)	82
3.6 Схема зовнішніх з'єднань	83
3.7 Специфікація обладнання	84
РОЗДІЛ 4 ПРОГРАМУВАННЯ ПТКЗА	89
4.1 Програмування функціональності ПЛК	89
4.2 Програмування функціональності SCADA-системи	94
РОЗДІЛ 5 ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АТК	98
5.1 Схема структурна полігону імітаційного моделювання АТК ТОУ ...	98
5.2 Функціональне моделювання ОУ в СКМ Matlab Simulink	99
5.3 Реалізація контролерної функціональності САР в софт ПЛК CoDeSys	99
5.4 Реалізація супервізорної HMI-Standard функціональності в HMI/SCADA системі Web Studio	101
5.5 Реалізація супервізорної MES-Lite функціональності в HMI/SCADA-системі Web Studio	104
5.6 Структурне моделювання АТК в програмно-технічному симуляторі	107
РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ	109

6.1 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки експлуатації засобів автоматизації та технологічного устаткування на спроектованому об'єкті управління	110
6.2 Технічне рішення та організаційні заходи з гігієни праці та виробничої санітарії	113
6.2.1 Мікроклімат.....	114
6.2.2 Склад повітря робочої зони	115
6.2.3 Виробниче освітлення	115
6.2.4 Виробничий шум	116
6.2.5 Виробничі вібрації	116
6.3 Пожежна безпека та профілактика	117
6.3.1 Технічні рішення системи запобігання пожежі.....	118
6.3.2 Технічні рішення системи протипожежного захисту	118
РОЗДІЛ 7 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК	120
ВИСНОВКИ	125
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	127

ВСТУП

У сучасному світі здоров'я та фізична форма стають все більш пріоритетнішою для людей. Тренажерні зали стали популярними місцями, де люди займаються фізичною активністю та підтримують форму тіла у тонусі. Проте, для забезпечення комфортної температури та зменшення впливу негативних зовнішніх факторів, таких як холод, важливою є наявність ефективної системи опалення.

Одним з ефективних рішень для забезпечення опалення в тренажерних залах є використання твердопаливних водогрійних котлів. Ці пристрої не тільки забезпечують потрібну температуру в приміщенні, але також забезпечують гарячою водою користувачів.

Проте, для ефективної роботи таких котлів необхідно впровадити автоматизацію для деяких функцій. У даному дипломному проекті розглядається система автоматичного керування (АСК) твердопаливного водогрійного котла в тренажерному залі. Особливістю даного об'єкту є наявність системи автоматичного завантаження палива за допомогою шнекового транспортера, а також системи автоматичного очищення зольної камери.

Ця система дозволяє забезпечити безперебійне опалення тренажерного залу, мінімізуючи необхідність в ручній роботі та забезпечуючи високу ефективність. Крім того, вона також має контур гарячого водопостачання та контур опалення, що робить її більш універсальною та функціональною для задоволення потреб тренажерного залу та його користувачів.

Основною метою даного дипломного проекту є розробка та реалізація системи автоматичного керування твердопаливним водогрійним котлом в тренажерному залі, що забезпечує оптимальну температуру повітря та постачання гарячої води. Автоматизація процесів завантаження палива та очищення зольної камери значно спрощує експлуатацію котла, зменшує витрати на ручну працю та забезпечує безперебійну роботу системи опалення та гарячого водопостачання.

Основні завдання, що стоять перед розробкою АСК твердопаливного водогрійного котла, включають проектування та реалізацію системи контролю та регулювання температури, розробку алгоритмів автоматичного завантаження палива та очищення зольної камери, а також

					ТА-91391.0007.001.АТХ.П	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

інтеграцію з вже існуючою системою опалення та гарячого водопостачання в тренажерному залі.

Отже, розробка системи автоматичного керування твердопаливним водогрійним котлом у тренажерному залі є актуальною та перспективною задачею. Цей дипломний проект спрямований на покращення функціональних характеристик та ефективності опалювальної системи тренажерного залу шляхом впровадження автоматизованої системи керування. Оптимальна температура повітря та надійне постачання гарячої води є важливими факторами для забезпечення комфортних умов тренування та підтримки здоров'я користувачів.

					ТА-91391.0007.001.АТХ.П	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1 ПРОЕКТУВАННЯ АСУТП

1.1 Характеристика технологічного об'єкту управління

Твердопаливний котел - це установка для забезпечення теплом теплоносія, якій передає тепло для повітря через теплообмінник з метою опалення приміщень. Паливом для твердопаливних котлів може бути: вугільні брикети, пелети, солома, відходи зернових культур, деревні брикети, тирса і стружка. Твердопаливні котли дають змогу спалювати різного виду тверде паливо з мінімальними викидами та шкодою для навколишнього середовища.

Твердопаливні котли мають свою перевагу в Україні через економічність твердого палива відповідно до газу, а також через надійність відповідно до електричних.

Твердопаливні водогрійні котли можуть мати один або два контури. Найчастіше - це контур опалення приміщення та контур гарячого водопостачання [1].

Різновидів твердопаливних котлів є дуже багато, вони поділяються за: принципом горіння, кількістю контурів, видом палива, принципом завантаження палива.

За принципом горіння твердопаливні котли можуть бути з пошаровим горінням, це коли у горінні спочатку бере участь лише частина палива, а інша частина буде задіюватись в міру прогорання першої частини, пошарове горіння може бути верхнє або нижнє. Піролізне горіння являє собою особливу конструкцію камери згорання, яка розділена на дві частини, у першій відбувається горіння з малою кількістю повітря, що забезпечує виділення піролізного газу, який потрапляє у наступну частину де поєднуючись з достатньою кількістю повітря забезпечує краще горіння. Пряме повне горіння - це процес коли у палива є достатньо повітря для правильного горіння та виділення тепла.

За принципом завантаження палива твердопаливні котли можуть бути: ручні, автоматичні або універсальні. Котли з автоматичним завантаженням палива можуть працювати на основі періодичного відривання бункера та підсипання палива, конвеєрне спалювання або шнекова подача палива [2].

					ТА-91391.0007.001.АТХ.П	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Конструкція твердопаливного водогрійного котла з автоматичною подачею палива може мати багато різних конфігурацій, але основні моменти залишаються незмінними. Камера згорання в яку подається паливо та повітря для зміни інтенсивності горіння. У камері повинен бути присутній димохід для виходу димових газів. Подача палива може відбуватися з допомогою обертання шнека, який буде транспортувати паливо від бункера з паливом до камери згорання. За інтенсивність горіння відповідає піддув. Різновиди піддувів є: натуральний піддув, який використовує природну циркуляцію повітря, примусовий піддув, який відбувається за рахунок обертання вентилятора або комбінований. У камері згорання можуть проходити труби або спіралі труб, по яких рухається теплоносій. Також система може бути обладнана автоматичним підпалом, який являє собою газовий пальник, або автоматичним видаленням золи, якщо це необхідно, з допомогою шнекового або конвеєрного транспортера.

За процес згорання відповідає електромотор, що обертає шнек, чим забезпечує транспортування палива до камери згорання. Також у процесі згорання бере участь дуттєвий вентилятор, який нагнітає повітря у камеру згорання для покращення інтенсивності горіння. За процес опалення відповідають циркуляційні насоси, які транспортують теплоносій по всьому контуру опалення. За процес очищення зольної камери відповідає електромотор, який обертає шнек, який транспортує золу із зольної камери до бункера із золою.

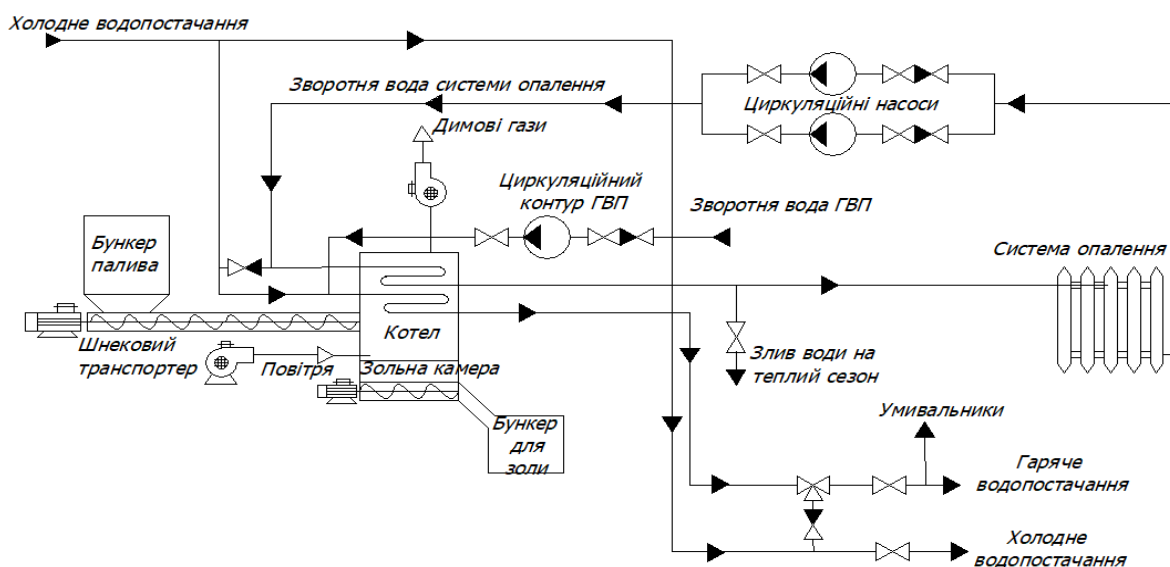


Рисунок 1.1 - Технологічна схема ТОВу твердопаливного водогрійного котла в тренажерному залі

Даний тип котла має перевагу над звичайними за рахунок автоматичної подачі палива, що робить витрату економічною, а принцип регулювання ефективнішим. Подача палива здійснюється шляхом використання електромотора, що обертає шнек. Цей шнек відповідає за переміщення палива від паливного бункера до камери згорання. Для ефективного горіння палива також встановлений дуттєвий вентилятор, який нагнітає повітря для ефективного горіння.

Для запобігання переповненню зольної камери встановлена система автоматичного очищення зольної камери. Робота цієї системи полягає у використанні електромотора для приведення в рух шнека, який переносить золу з зольної камери до бункера із золою.

Котел має два контури, один для гарячого водопостачання, а другий - для опалення. Для циркуляції води у контурі опалення в приміщенні використовується два циркуляційні насоси потужністю 4 кВт. Теплова потужність котла складає 100 кВт, що підходить для опалення тренажерного залу, площа якого 1000 м².

В залежності від сезону змінюється потреба в опаленні, а також змінюється уставка температури нагріву води. У період опалювального сезону котел нагріває воду до температури яка необхідна в опалювальному контурі, що занадто перегріта для гарячого водопостачання. Для вирішення даної проблеми був встановлений регулюючий клапан, який змішує гарячу воду з холодною, що робить її комфортною для використання. В період, коли використання опалювального контуру не потрібне, вода з нього зливається, а котел буде гріти воду до температури уставки, яка буде комфортна у використанні гарячого водопостачання. При настанні опалювального сезону контур опалення заповнюється водою з центрального водопостачання.

Таблиця 1.1 - Кількісні характеристики параметрів і режимів роботи твердопаливного водогрійного котла

Назва параметра	Значення
Температура води на виході з котла	90 °C
Температура зворотної води	60 °C
Температура димових газів	160 °C

Кінець таблиці 1.1

Назва параметра	Значення
Температура палива у зоні шнека	18 °С
Температура в приміщенні	24 °С
Температура навколишнього середовища	4 °С
Тиск води після циркуляційних насосів	150 кПа
Тиск дугтєвого вентилятора	500 Па
Тиск в камері згорання (розрідження)	650 Па
Витрата води гарячого водопостачання	1.5 м3/год

Таблиця 1.2 - Характеристика твердопаливного водогрійного котла

Назва параметра	Значення
Площа обігріву	1000 м ²
Потужність	100 кВт
Тип палива	тверде
Кількість контурів	2 контури
Завантаження палива	автоматичне
Вага	1200 кг
Об'єм бункера	1000 м ³
ККД	90%
Розхід палива	15 кг/год
Висота	1700 мм
Ширина	1700 мм
Глибина	1600 мм
Об'єм палива за оберт	0.25 кг
Максимальна швидкість обертів	60 об/год

1.2 Вибір і обґрунтування структури АСУТП ТОУ

Огляд існуючих систем дає змогу зрозуміти, яка система є кращою, оцінити її переваги та недоліки.

Дворівнева структура АСУТП використовується для поділу функцій управління на два рівні. На нижньому рівні знаходиться рівень керування процесом, де зосереджені пристрої збору даних, контролери, датчики, виконавчі механізми та інші пристрої, що безпосередньо взаємодіють з технологічним обладнанням. Цей рівень забезпечує контроль параметрів процесу, збір даних, виконання керуючих команд та забезпечення безперебійної роботи обладнання. На верхньому рівні знаходиться рівень керування виробництвом, який включає центральний контролер або сервер, на якому виконуються завдання планування, моніторингу та управління виробництвом в цілому. Цей рівень забезпечує аналіз даних, прийняття рішень, планування ресурсів, оптимізацію роботи процесу та взаємодію з системами планування виробництва.

Основною особливістю АСК водогрійного котла в тренажерному залі є його багатофункціональність, гнучкість по відношенню щодо підключення нових підсистем та рівня безпеки контролю за процесами. Дана система дозволяє контролювати температуру води на виході з котла за рахунок двох регулюючих контурів, подачі палива та нагнітання повітря.

В нашому випадку система має дворівневу структуру. На першому рівні знаходиться система управління виробництвом, яка відповідає за контроль датчиків та виконавчими механізмами. На другому рівні система, яка відповідає за збір, моніторинг, обробку і візуалізацію даних з автоматизованих процесів та обладнання.

Місце АСУТП ТОУ в ієрархії інтегрованої АСУ масштабу підприємства згідно з стандартом ISA-95 знаходиться на нижчому рівні ієрархії інтегрованої АСУ масштабу підприємства.

Рівень L0 відповідає за вимірювальну апаратуру та виконавчі механізми: датчики температури води, датчики температури повітря в кімнаті та на вулиці, датчики тиску, датчики перепаду тиску, датчики витрати, циркуляційні насоси, мотори, вентилятори, механізований привід на клапани.

Рівень L1 відповідає контролерному рівню, який відповідає за збір та обробку даних з датчиків та керування виконавчими механізмами, моторами та насосами. До апаратури яка відповідає обробці та передачі

					ТА-91391.0007.001.АТХ.П	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

даних відноситься: ПЛК, модулі розширення та за необхідності перетворювачі.

Рівень L2 відповідає супервізорній автоматизації, яка може бути представлена SCADA системою та забезпечує моніторинг та контроль за процесами на рівні виробництва.

1.3 Технологічні параметри АСУТП ТОУ

Технологічні параметри автоматизованої системи управління технологічним процесом твердопаливного водогрійного котла поділяються на три види: режимні, захисні та контрольні.

Режимні параметри - це виміряні параметри, якими можна управляти за рахунок виконавчих механізмів.

Режимні параметри:

1. Температура води на виході з котла.
2. Тиск повітря, що нагнітається у камеру згорання.
3. Розрідження в камері згорання.

Захисні параметри - це параметри, які відповідають за захист системи та її роботу в аварійному режимі, а також захищають від небажаного впливу чи непередбачуваних ситуацій.

Захисні параметри:

1. Перевищення температури води на виході з котла.
2. Перевищення температури палива у шнековій камері.
3. Наявність перепаду тиску води на циркуляційних насосах.
4. Сповіщення про пустий бункер для палива.
5. Сповіщення про переповнення бункера для золи.

Контрольні параметри - це параметри, які використовуються для визначення стану системи або оцінки її ефективності.

Контрольні параметри:

1. Контроль тиску води в циркуляційному контурі.
2. Контроль температур повітря в приміщенні.
3. Контроль температури зворотної води.
4. Контроль температури димових газів.

					ТА-91391.0007.001.АТХ.П	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.4 Функції АСУТП

Функції автоматизованої системи управління технологічним процесом поділяються на три види: управляючі, захисні та інформаційні.

Управляючі функції грають ключову роль у системі автоматизації, адже вони дають змогу безперебійного регулювання системою.

Управляючі функції:

1. одноконтурне регулювання температури води на виході з котла шляхом зміни частоти струму, що подається на електромотор, що обертає шнек який транспортує паливо від бункера з паливом до камер згоряння;
2. одноконтурне регулювання тиску повітря, що нагнітається у камеру згорання шляхом зміни частоти струму, що подається на дуттєвий вентилятор у пропорції до подачі палива;
3. одноконтурне регулювання розрідження в камері згоряння шляхом зміни частоти струму, що подається на димосос, який створює тягу.

Захисні функції можуть бути оснащеними сигналізацією якогось типу: світловою, звуковою або сповіщенням на телефон чи ПК. Захисна функція повинна забезпечувати безпечну роботу системи та запобігати аварійним ситуаціям.

Захисні функції:

1. при перевищенні температури води на виході з котла - припинення нагнітання повітря та подачі палива у камеру згорання;
2. аварійно сигналізувати та припинити роботу дуттєвого вентилятора, прокрутити шнек з максимальними обертами, щоб скинути паливо у камеру згорання, при перевищенні температури палива у шнековій камері, що означає займання палива у шнековій камері;
3. сигналізувати про можливу несправність циркуляційних насосів при спрацюванні реле перепаду тиску;
4. сповіщати про пустий бункер для палива;
5. сповіщати про переповнений бункер для золи.

Інформаційні функції забезпечують збір даних з датчиків та передачу їх на ПЛК, що робить ці функції ключовими.

Інформаційні функції:

1. температура води на виході з котла - (0 - 90) °C;

					ТА-91391.0007.001.АТХ.П	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. температура зворотної води - (0 - 60) °С;
3. температура димових газів - (0 - 160) °С;
4. температура палива у шнековій камері - (0 - 100) °С;
5. температура повітря в приміщенні - (0 - 40) °С;
6. температура повітря навколишнього середовища - (-30 - 50) °С;
7. тиск води після циркуляційних насосів - (0 - 200) кПа;
8. тиск повітря, що нагнітається у камеру згорання - (0 - 500) Па;
9. тиск в камері згорання - (0 - 650) Па;
10. витрата гарячої води - (0 - 10) м³/год;
11. витрата води із центрального водопостачання - (0 - 10) м³/год.

1.5 Схема автоматизації функціональна

Розглянемо схему функціональну автоматизації водогрійного котла у тренажерному залі (рис. 1.2).

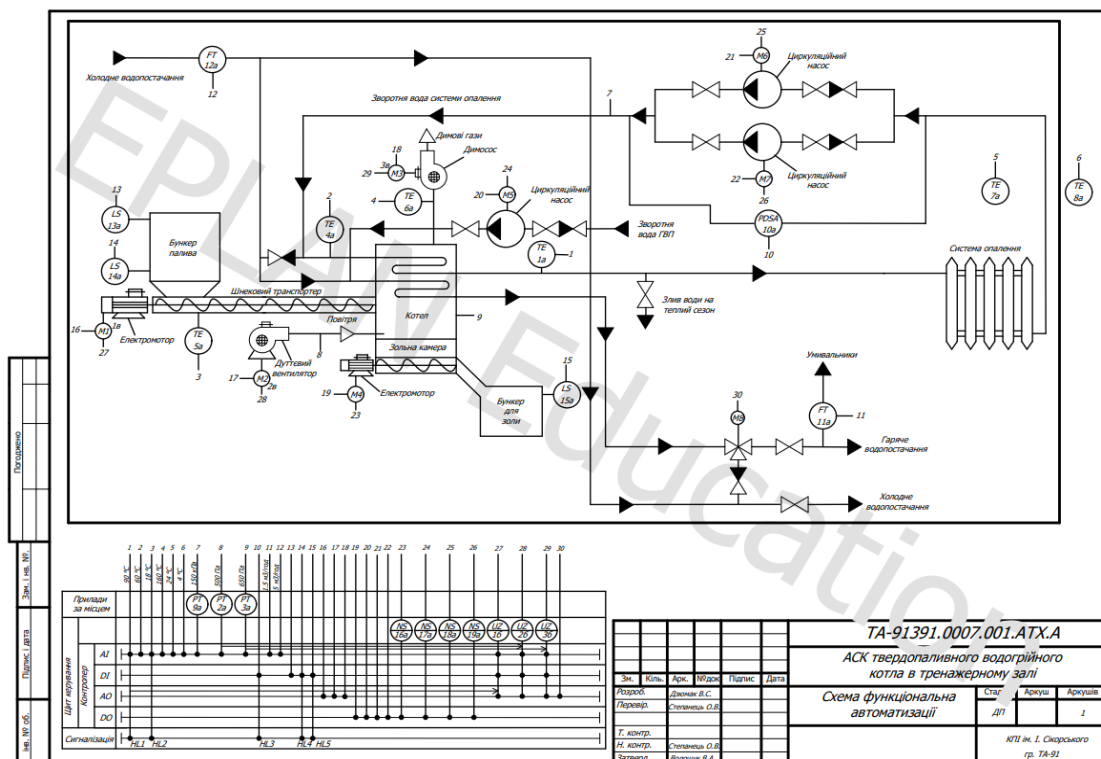


Рисунок 1.2 - Схема функціональна автоматизації твердопаливного водогрійного котла у тренажерному залі

На даній схемі зображений твердопаливний котел з автоматичною подачею палива, який має два водяних контури: контур гарячого

водопостачання та контур опалення з циркуляційними насосами. Котел також обладнаний автоматичним очищенням зольної камери.

Контур опалення має клапан, через який при настанні теплого сезону зливається вода. Також система опалення має клапан підживлення для заповнення контура або поповнення рівня води.

Температура води на вході та виході з котла вимірюється датчиками температури, встановленими у трубі (поз. 1а, 4а).

Для вимірювання температури димових газів та контролю температури палива у шнековій камері використовується датчик температури (поз. 5а, 6а).

Для вимірювання температури повітря у кімнаті використовується кімнатний датчик температури в пластиковому корпусі (поз. 7а).

Вимірювання температури повітря навколишнього середовища відбувається з допомогою датчика температури в захисному коробі, який захищений від вологи, сонячних променів та пилу (поз. 8а).

Тиск теплоносія після циркуляційних насосів у контурі опалення вимірюється датчиками тиску (поз. 9а).

Тиск повітря, яке нагнітає дуттєвий вентилятор до камери згоряння, визначається датчиком тиску (поз. 2а).

Тиск в камері згоряння вимірюється датчиком тиску (поз. 3а).

Реле перепаду тиску (поз. 10а) призначене для сигналізації про несправність, перевищення або нестача теплоносія в контурі опалення.

Витрату води гарячого водопостачання та витрату холодної води з центрального водопостачання вимірюємо з допомогою витратоміра (поз. 11а, 12а).

Датчик верхнього рівня бункера з паливом (поз. 13а) призначений для сигналізації про повний бак палива та дозвіл на початок роботи котла. Датчик нижнього рівня бункера з паливом (поз. 14а) призначений для сигналізації про недостатній рівень палива та необхідність його поповнення. Датчик верхнього рівня в бункері з золою (поз. 15а) призначений для сигналізації про переповнення бункера із золою та необхідність його очищення.

Циркуляція гарячої води у контурі гарячого водопостачання здійснюється за рахунок насосу (поз. 20), що запускається з допомогою контакторів (поз. 17а).

Циркуляція теплоносія в контурі опалення відбувається за рахунок двох циркуляційних насосів (поз. 21, 22), що запускаються з допомогою контакторів (поз. 18б, 19б).

					ТА-91391.0007.001.АТХ.П	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За подачу палива в камеру згорання відповідає електромотор (поз. 1в), який обертає шнек, що транспортує паливо з бункера з паливом до камери згорання. Кількість палива регулюється за рахунок зміни частоти обертання мотору, яка змінюється з допомогою частотного перетворювача (поз. 1б).

Очищення зольної камери відбувається з допомогою електромотору (поз. 19), що обертає шнек який транспортує золу із зольної камери до бункера із золою. Пуск електромотора відбувається з допомогою контактора (поз. 16а).

За нагнітання повітря в камеру згорання відповідає дуттєвий вентилятор (поз. 2в). Тиск повітря регулюється за рахунок зміни частоти обертання вентилятора, яка змінюється з допомогою частотного перетворювача (поз. 2б).

За контроль розрідження в камері згорання відповідає димосос (поз. 3в). Розрідження в камері згорання регулюється за рахунок зміни частоти обертання вентилятора димососа, яка змінюється з допомогою частотного перетворювача (поз. 3б).

За гаряче водопостачання комфортної температури відповідає регулюючий клапан з механізованим приводом (поз. 30), який змішує гарячу воду з котла із холодною водою.

1.6 Схема структурна програмно-технічного комплексу

Автоматизована система керування водогрійним котлом в тренажерному залі має дворівневу структуру. На одному рівні знаходяться: датчики, реле, виконавчі механізми, електромотори, ПЛК та модуль розширення. На іншому рівні знаходиться SCADA система на комп'ютері, який підключається до ПЛК через Ethernet.

Структурна схема програмно-технічного комплексу зображена на (рис. 1.3).

					ТА-91391.0007.001.АТХ.П	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

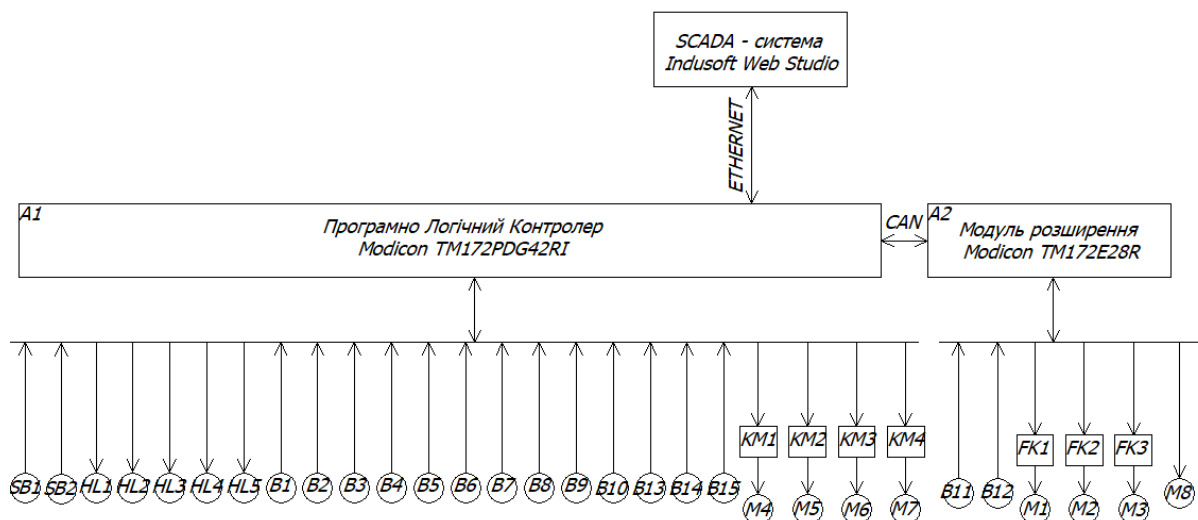


Рисунок 1.3 - Структурна схема програмно-технічного комплексу засобів автоматизації АСУ твердопаливним водогрійним котлом в тренажерному залі

1.7 Перелік і аналіз джерел техніко-економічної ефективності АТК ТОУ

Техніко-економічною ефективністю є співвідношення між витратами на розробку технічного рішення та вигодою або доходом, що отримали від цього технічного рішення. Це важливий показник, який показує наскільки ефективним було це рішення або наскільки ефективно використовуються ресурси в процесі розробки.

Управляючі функції повинні забезпечувати високу швидкість обробки даних та швидкість вимірювання, це буде мати хороший результат у виробничих процесах. Оцінимо наступні управляючі функції:

1. Одноконтурне регулювання температури в кімнаті, шляхом зміни частоти струму, що подається на електромотор, що обертає шнек який транспортує паливо від бункера з паливом до камер згоряння. Дана система у порівнянні із системою ручної подачі палива забезпечує кращий контроль температури води на виході з котла, економічність витрати палива, цілодобовий контроль температури та подачі, на відміну від ручної подачі відсутність постійного відкривання дверей котла та витрати тепла.
2. Одноконтурне регулювання тиску повітря, що нагнітається у камеру згорання шляхом зміни частоти струму, що подається на дуттєвий вентилятор у пропорції до подачі палива. Дана система у порівнянні

із природнім піддувом, має переваги в ефективності горіння за рахунок нагнітання більшого об'єму повітря у камері згорання, тим самим підвищувати ефективність нагрівання. Також дана система забезпечує автоматичне перекривання подачі повітря у разі перевищення температури води яку нагріває котел.

3. Одноконтурне регулювання розрідження в камері згорання шляхом зміни частоти обертання димососу який створює тягу. Дана система у порівнянні з природною тягою має безліч переваг. Однією з них це контроль розрідження, що забезпечує безпечну роботу котла. Другою перевагою даної функції є те, що на відміну від природної тяги, не відбувається задимлення в камері згорання.

Захисні функції повинні забезпечувати безпеку у виробничому процесі та запобігати аварійним ситуаціям. Оцінимо наступні захисні функції:

1. При перевищенні температури води на виході з котла, припинення нагнітання повітря та подачі палива у камеру згорання. Дана система забезпечує правильний нагрів води у системі опалення та запобігає підвищенню температури у контурі, що запобігає закипанню води та утворенню високого тиску.
2. Аварійно сигналізувати та припинити роботу дуттєвого вентилятора та мотору, що обертає шнек, при перевищенні температури палива у шнековій камері. Що означає займання палива у камері. Дана система забезпечує оповіщення персоналу про можливе займання палива у шнековій камері та забезпечує аварійну зупинку обладнання.
3. Сигналізувати про можливу несправність циркуляційних насосів при спрацюванні реле перепаду тиску. Дана система представлена датчиком перепаду тиску, який вимірює тиск до та після циркуляційних насосів. При наявності суттєвого перепаду, сигналізувати про несправність системи або порушення герметичності контуру.
4. Сповіщати про пустий бункер для палива. Система призначена для оповіщення про відсутність палива та неможливість роботи системи.
5. Сповіщати про переповнений бункер для золи. Система призначена для оповіщення про переповнений бункер із золою, та неможливість подальшого переміщення золи із зольної камери до бункера.

Інформаційні функції повинні забезпечувати збір, обробку, передачу, візуалізацію та зберігання інформації, яка необхідна для роботи системи автоматизації. Збір даних повинен включати в себе збір інформації про стан

					ТА-91391.0007.001.АТХ.П	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

системи та обладнання технологічних процесів. Обробка даних дає змогу аналізувати та виявляти проблеми в системі для покращення роботи. Передача даних повинна відбуватися через захищені канали зв'язку та із захистом від зовнішніх факторів. Також одним із факторів інформаційної функції є візуалізація даних, яка повинна відображати у зручному для користувача форматі та місці, щоб отримання інформації було максимально швидким та зручним. Зберігання інформації повинно забезпечувати надійність та конфіденційність даних, що отримуються. Також отримані дані повинні архівуватися та зберігатися під захистом.

					ТА-91391.0007.001.АТХ.П	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2 ІНЖЕНЕРНИЙ РОЗРАХУНОК САР

2.1 Інженерний розрахунок вимірювальних каналів САР

2.1.1 Перелік вимірювальних каналів (ВК)

Вимірювальний канал - це система вимірювання або збору даних про стан або параметри об'єкта, який вимірюється. Він може бути фізичним пристроєм по типу датчика або реле, програмним забезпеченням або комбінацією датчика та програмного забезпечення.

Вимірювальні канали АСК водогрійного котла у тренажерному залі:

- вимірювальний канал температури води на виході з котла (поз. 1а);
- вимірювальний канал температури зворотної води (поз. 4а);
- вимірювальний канал температури димових газів (поз. 6а);
- вимірювальний канал температури в шнековій камері (поз. 5а);
- вимірювальний канал температури повітря в приміщенні (поз. 7а);
- вимірювальний канал температури повітря навколишнього середовища (поз. 8а);
- вимірювальний канал тиску після циркуляційних насосів (поз. 9а);
- вимірювальний канал тиску повітря після дуттєвого вентилятора (поз. 2а);
- вимірювальний канал розрідження в камері згорання (поз. 3а);
- вимірювальний канал перепаду тиску на циркуляційних насосах (поз. 10а);
- вимірювальний канал витрати гарячої води (поз. 11а);
- вимірювальний канал витрати холодного водопостачання (поз. 12а);
- вимірювальний канал верхнього рівня бункера палива (поз. 13а);
- вимірювальний канал нижнього рівня бункера палива (поз. 14а);
- вимірювальний канал верхнього рівня бункера для золи (поз. 15а).

					ТА-91391.0007.001.АТХ.П	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.1.2 Схеми структурні вимірювальних каналів

Схема структурна вимірювального каналу - це схема, яка відображає елементи вимірювального каналу та їхні зв'язки. До складу схеми структурної ВК можуть входити: датчик, перетворювач, оброблювач сигналу, кабелі зв'язку, АЦП, ЦАП, контролер або модулі розширення.

ВК температури прямої та зворотної води у контурі опалення, температури в шнековій камері та температури димових газів зображений на рисунку 2.1.

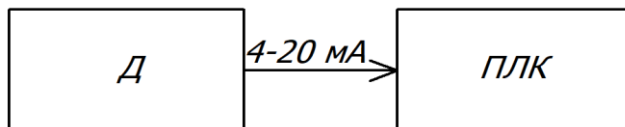


Рисунок 2.1 - Схема структурна ВК температури прямої та зворотної води у контурі опалення, температури в шнековій камері та температури димових газів

Д - датчик температури MBT 5252, на основі термометра опору PT100 з діапазоном вимірювання $(-50...200)^{\circ}\text{C}$ та аналоговим сигналом $(4-20)$ мА [3].

ПЛК - програмовано логічний контролер Modicon TM172PDG42RI [4].

ВК температури повітря в приміщенні зображений на рисунку 2.2.

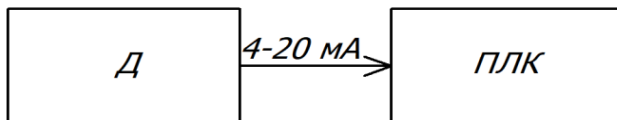


Рисунок 2.2 - Схема структурна ВК температури повітря в приміщенні

Д - датчик температури RAUT ST-02 з діапазоном вимірювання $(0...40)^{\circ}\text{C}$ та аналоговим сигналом $(4-20)$ мА [5].

ПЛК - програмовано логічний контролер Modicon TM172PDG42RI.

ВК температури повітря навколишнього середовища зображений на рисунку 2.3.

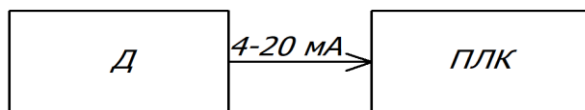


Рисунок 2.3 - Схема структурна ВК температури повітря навколишнього середовища

Д - датчик температури RAUT ST-01 з діапазоном вимірювання (-30...50)°C та аналоговим сигналом (4-20) мА [6].

ПЛК - програмовано логічний контролер Modicon TM172PDG42RI.

ВК тиску в контурі опалення, тиску дуттєвого вентилятора та розрідження в камері згорання зображений на рисунку 2.4.

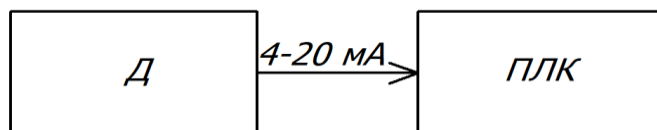


Рисунок 2.4 - Схема структурна ВК тиску в контурі опалення, тиску дуттєвого вентилятора та тиску в камері згорання

Д - датчик тиску MBS 1700 з діапазоном вимірювання (0-10) бар та аналоговим сигналом (4-20) мА [7].

ПЛК - програмовано логічний контролер Modicon TM172PDG42RI.

ВК перепаду тиску на циркуляційних насосах зображений на рисунку 2.5.

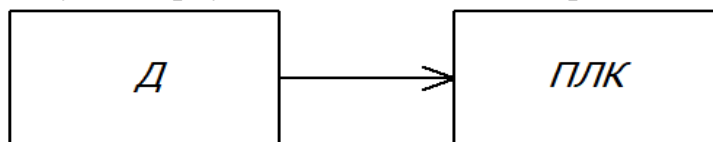


Рисунок 2.5 - Схема структурна ВК перепаду тиску на циркуляційних насосах

Д - реле перепаду тиску КР44 [8].

ПЛК - програмовано логічний контролер Modicon TM172PDG42RI.

ВК витрати гарячого та холодного водопостачання зображений на рисунку 2.6.

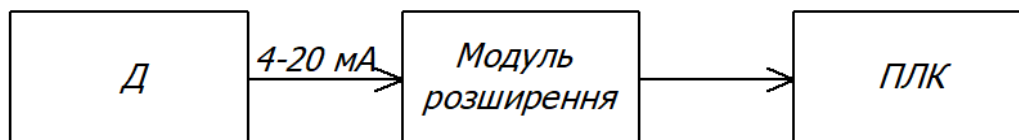


Рисунок 2.6 - Схема структурна ВК витрати гарячого та холодного водопостачання

Д - витратомір SIEMENS QVE3000 [9].

Модуль розширення - Modicon TM172E28R [10].

ПЛК - програмовано логічний контролер Modicon TM172PDG42RI.

ВК вимірювання рівня верхнього та нижнього рівня в бункері палива та верхнього рівня в бункері для золи зображений на рисунку 2.7.

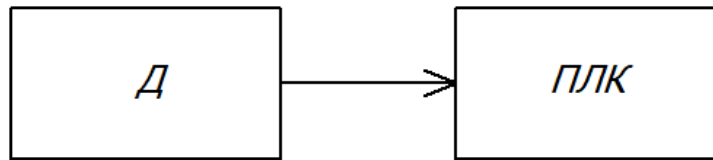


Рисунок 2.7 - Схема структурна ВК вимірювання рівня верхнього та нижнього рівня в бункері палива та верхнього рівня в бункері для золи
 Д - ємнісний датчик рівня DLS-27N-20 [11].
 ПЛК - програмовано логічний контролер Modicon TM172PDG42RI.

2.1.3 Особливості електричних підключень давачів вимірювальних каналів

Для підключення датчиків з уніфікованим вихідним сигналом до джерел напруги потрібно використовувати захисні стабілітрони. Ці стабілітрони призначені для захисту від перенапруги, що дозволяє забезпечити стабільну роботу електроніки та підвищити надійність системи. Перенапруга може виникати через збільшення напруги або струму в електричному колі.

Підключення термометрів опору можна зробити двома способами: двопровідним методом, трьох провідним та чотирьох провідним методом. При підключенні двопровідним методом ми не розраховуємо на велику точність вимірювання температури. Трьохпровідний метод підключення термометра опору потрібен для того, щоб зменшити вплив опору провідника. При підключенні чотирьох провідним методом ми уникаємо не точних вимірювань через вплив опору.

2.1.4 Монтаж технічних засобів вимірювальних каналів

Монтаж датчика температури MBT 5252 зображений на рисунку 2.8.

Монтаж даного датчика у трубопровід чи на місце де потрібно виміряти температуру відбувається під кутом 90 градусів за допомогою різьбового врізу.

Монтаж датчика повинно відбуватися так, щоб кінець чутливого елемента був у центрі труби або у місці з найвищою температурою.

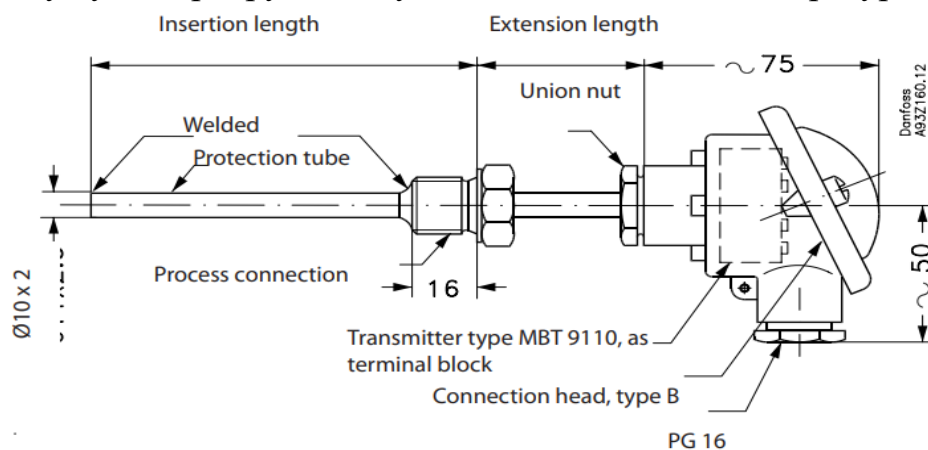


Рисунок 2.8 - Монтаж датчика температури MBT 5252

Монтаж датчика температури в приміщенні ST-02 зображений 2.9.

Монтаж даного типу датчика відбувається у верхній точці стіни.

Кріплення датчика може відбуватися за допомогою чотирьох шурупів до стіни.

Також кріплення може бути з'ємного типу. На корпусі знаходяться два отвори, за допомогою яких можна зчіплювати датчик за шуруп на стіну. Це дає змогу при необхідності швидко знімати та обслуговувати датчик.

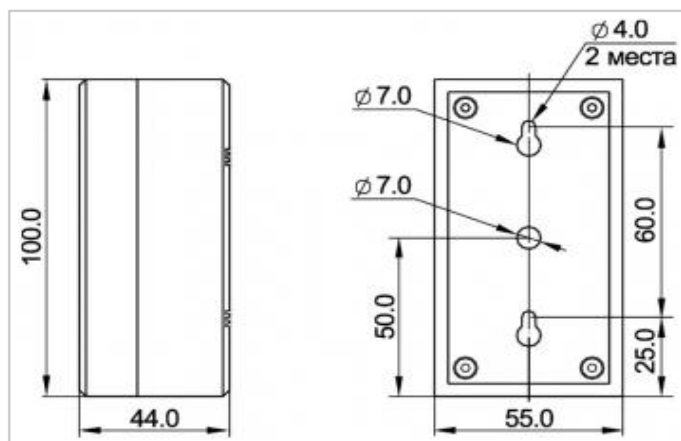


Рисунок 2.9 - Монтаж датчика температури ST-02 в приміщенні

Монтаж датчика температури навколишнього середовища ST-01 зображений на рисунку 2.10.

					ТА-91391.0007.001.АТХ.П	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Монтаж даного датчика повинен відбуватися на зовнішній стіні будівлі під навісом, також щоб не потрапляло пряме сонячне проміння.

Кріплення датчика відбувається за рахунок двох шурупів.

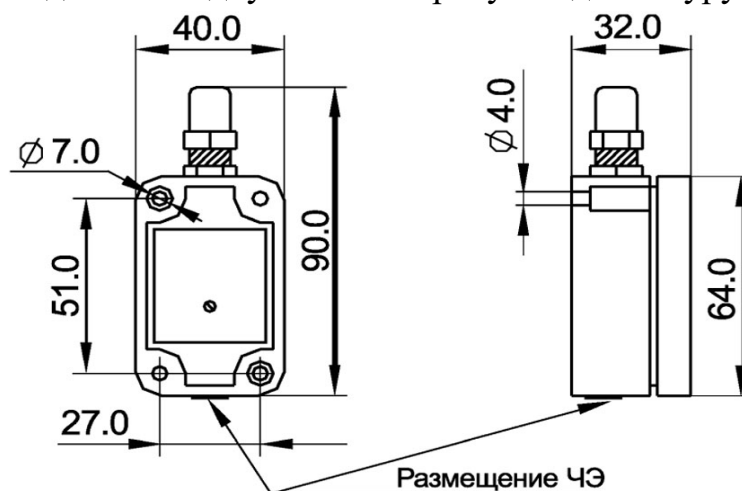


Рисунок 2.10 - Монтаж датчика температури ST-01 на зовнішній стіні приміщення

Монтаж датчика тиску MBS 1700 зображений на рисунку 2.11.

Датчик тиску може монтуватися як на трубопровід так і на повітропровід.

Монтаж відбувається за допомогою різьбового з'єднання, куди вкручується датчик.

Чутливий елемент повинен взаємодіяти з повітрям або водою, тим самим вимірювати значення тиску чи розрідження.

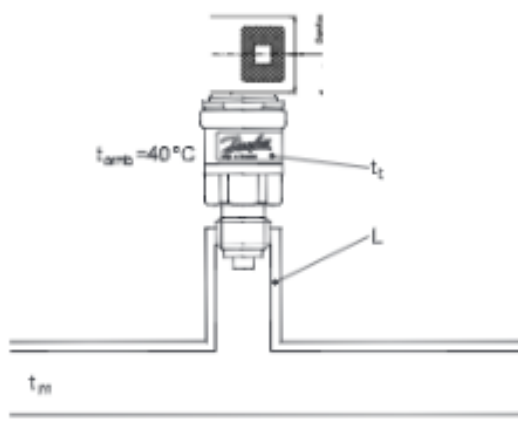


Рисунок 2.11 - Монтаж датчика тиску MBS 1700 на трубу

Монтаж реле перепаду тиску КР 44 зображений на рисунку 2.12.

Реле перепаду тиску має дві точки виміру тиску, які монтуються різьбовими з'єднаннями у трубу.

Монтаж у системі повинен бути до та після циркуляційних насосів.

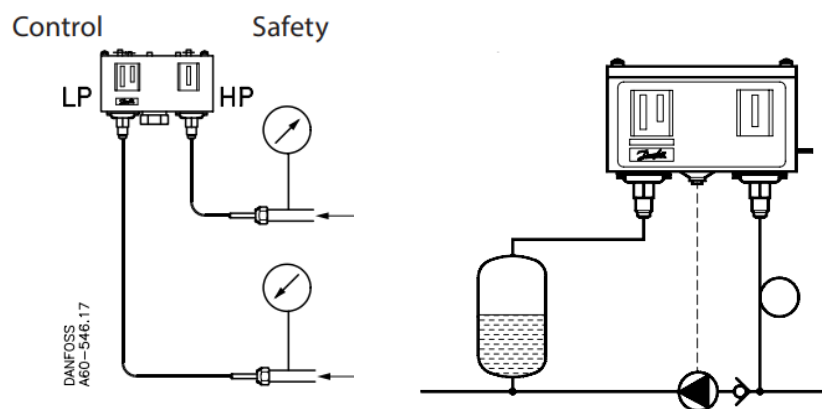


Рисунок 2.12 - Монтаж реле перепаду тиску KP 44 у двох точках

Монтаж витратоміра SIEMENS QVE3000 зображений на рисунку 2.13.

Датчик витрати води повинен мати фланцевий тип монтажу.

Діаметр витратоміра та труби повинен співпадати для коректного виміру значення.

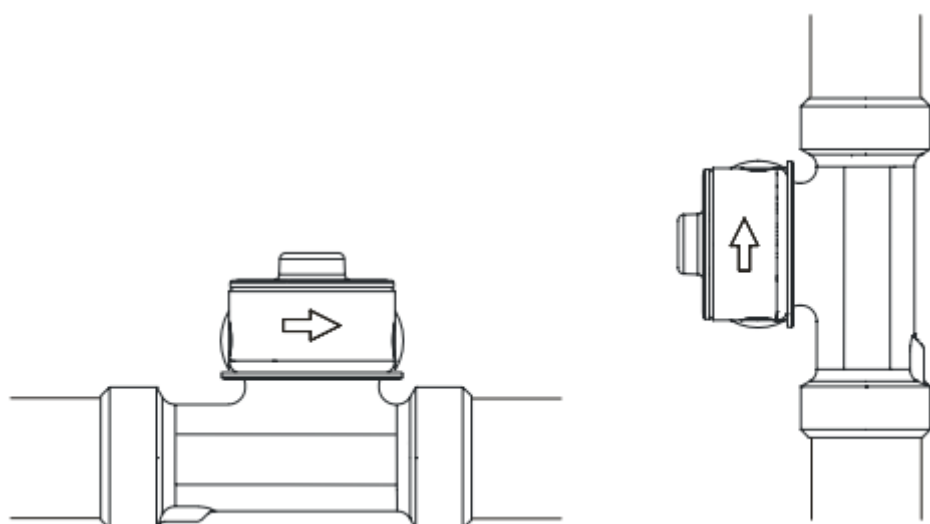


Рисунок 2.13 - Монтаж витратоміра води SIEMENS QVE3000

Монтаж ємнісного датчика рівня DLS-27N-20 зображений на рисунку 2.14.

Монтаж датчика рівня повинен бути у бункері з сипучими матеріалами, або не електропровідних матеріалів.

Датчик має різьбове з'єднання та вкручується у місце, де потрібно робити вимір.

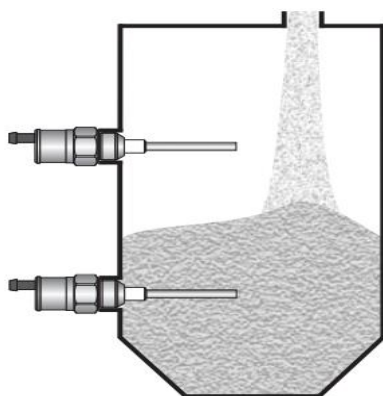


Рисунок 2.14 - Монтаж датчика верхнього та нижнього рівня DLS-27N-20 у бункерах

2.1.5 Захист технічних засобів вимірювальних каналів від перешкод

Захист технічних засобів системи автоматизації відіграє велику роль у точності вимірювання та коректності отриманих даних. Захист відіграє ключову роль у проектуванні систем, а отже і в управлінні процесами.

Електромагнітне наведення є найпоширенішою проблемою з якою стикається вимірювальний канал. Перешкоди такого типу можуть викликати помилки у вимірювальних сигналах датчиків, впливати на якість роботи системи та навіть призвести до її відмови.

Один з найбільш поширених методів боротьби з електромагнітним наведенням полягає в екрануванні проводів та заземленні датчиків. Екранування проводів забезпечує захист від зовнішніх електромагнітних впливів шляхом використання покриття з фольги або іншого електропровідного матеріалу. Заземлення датчиків передбачає підключення їх до землі за допомогою спеціальних елементів, які можуть створювати електромагнітне поле.

Існує кілька типів кабельної продукції, що використовуються для захисту від електромагнітного наведення. Вони включають екрановані кабелі з мідними або алюмінієвими жилами, кабелі з фольгованим екраном та кабелі з металевою оболонкою. Щоб захистити кабель від механічних пошкоджень та забруднення, можна використовувати пластикові кабель-канали або гофротрубу для прокладання.

2.1.6 Схеми структурні надійності вимірювальних каналів

До складу схеми структурної надійності може відноситися: блок живлення, ПЛК, модуль розширення, датчики, реле, ЦАП, АЦП, перетворювачі, кріпильні механізми та проводи передачі даних.

До складу вимірювальних каналів які під'єднані до системи автоматичного регулювання температурою води на виході з котла відносяться датчик температури води та датчик температури навколишнього середовища, так як система погодозалежна.

Структурні схеми надійності для кожної функції ВК зображений на рисунках 2.15 та рисунку 2.16.

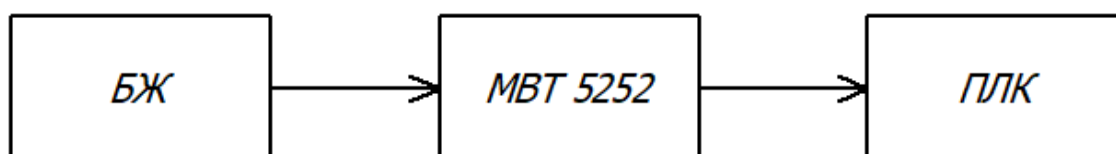


Рисунок 2.15 - Структурна схема вимірювання температури води в контурі опалення

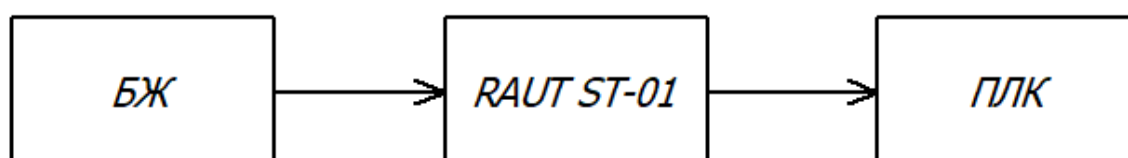


Рисунок 2.16 - Структурна схема вимірювання температури навколишнього середовища

2.1.7 Метрологічний розрахунок вимірювальних каналів

Межа основної допустимої приведенної похибки ВК визначається за формулою:

$$\varepsilon = \sqrt{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2}$$

Межа абсолютної похибки ВК визначається за формулою:

$$\Delta = \varepsilon(x_{\max} - x_{\min}) \frac{1}{100}$$

ВК температури прямої води у контурі опалення.

Знайдемо межу основної допустимої приведенної похибки:

$$\varepsilon = \sqrt{0.3^2 + 0.01^2} = 0.3 \%$$

Знайдемо межу абсолютної похибки:

$$\Delta = 0.3(200 - (-50)) \frac{1}{100} = 0.75 \text{ } ^\circ\text{C}$$

ВК температури навколишнього середовища.

Знайдемо межу основної допустимої приведенної похибки:

$$\varepsilon = \sqrt{0.5^2 + 0.01^2} = 0.5 \%$$

Знайдемо межу абсолютної похибки:

$$\Delta = 0.5(50 - (-30)) \frac{1}{100} = 0.4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

2.1.8 Розрахунок надійності вимірювальних каналів

Розрахунок надійності вимірювального каналу складається з таких розрахунків: середній час напрацювання, ймовірність безвідмовної роботи та середній час відновлення роботоспроможності.

Інтенсивність відмов ВК визначається за формулою:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i$$

Середній час напрацювання ВК на відмову визначається за формулою:

$$T_{cp} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}$$

					ТА-91391.0007.001.АТХ.П	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ймовірність безвідмовної роботи ВК за даний час визначається за формулою:

$$P_{\delta}(\tau) = e^{-\frac{\tau}{T_{сер}}} = e^{-\lambda\tau} = 1 - \frac{\tau}{T_{сер}}$$

Середній час відновлення роботоспроможності ВК визначається за формулою:

$$T_{\epsilon} = \frac{T_{cp}}{K_{гот}} - T_{cp}$$

$K_{гот}$ - коефіцієнт готовності якій складає 0.9995.

Вимоги до надійності повинні включати такі вимоги:

- Середній час між відмовами функції повинен перевищувати 10 000 годин, що підтвердить надійність системи та її здатність працювати протягом тривалого періоду.
- Коефіцієнт готовності має бути більше 0.995, щоб забезпечити швидку реакцію на виниклу проблему.
- Час відновлення працездатності повинен бути найменшим, щоб швидко відновити роботу системи і запобігти евакуації з приміщення під час охолодження.
- Ймовірність безвідмовної роботи також має бути максимально високою.

Розрахунки ВК температури води на виході з котла:

Інтенсивність відмов БЖ ABLM1A24025: $\lambda = 14.3 * 10^{-6} \text{ 1/год}$ [12].

Інтенсивність відмов датчика MBT 5252: $\lambda = 11.4 * 10^{-6} \text{ 1/год}$

Інтенсивність відмов ПЛК Modicon TM172PDG42RI: $\lambda = 14.3 * 10^{-6} \text{ 1/год}$

Знайдемо інтенсивність відмов ВК:

$$\lambda = (14.3 + 11.4 + 14.3) * 10^{-6} = 40 * 10^{-6} \text{ 1/год}$$

Знайдемо середній час напрацювання ВК:

$$T_{cp} = \frac{1}{40 * 10^{-6}} = 25000 \text{ год}$$

Знайдемо ймовірність безвідмовної роботи ВК за $\tau = 90$ днів:

$$P_{\delta}(\tau) = 1 - 2160/25000 = 0.914$$

Знайдемо середній час відновлення роботоспроможності ВК:

$$T_{\epsilon} = \frac{25000}{0.9995} - 25000 = 12.5 \text{ год}$$

Розрахунки ВК температури навколишнього середовища:

Інтенсивність відмов БЖ ABLM1A24025: $\lambda = 14.3 * 10^{-6} \text{ 1/год}$

Інтенсивність відмов датчика RAUT ST-01: $\lambda = 14.3 * 10^{-6} \text{ 1/год}$

Інтенсивність відмов ПЛК TM172PDG42RI: $\lambda = 14.3 * 10^{-6} \text{ 1/год}$

					ТА-91391.0007.001.АТХ.П	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Знайдемо інтенсивність відмов ВК:

$$\lambda = (14.3 + 14.3 + 14.3) * 10^{-6} = 42.9 * 10^{-6} \text{ 1/год}$$

Знайдемо середній час напрацювання ВК:

$$T_{cp} = \frac{1}{42.9 * 10^{-6}} = 23310 \text{ год}$$

Знайдемо ймовірність безвідмовної роботи ВК за $\tau = 90$ днів:

$$P_8(\tau) = 1 - 2160/23310 = 0.907$$

Знайдемо середній час відновлення роботоспроможності ВК:

$$T_6 = \frac{23310}{0.9995} - 23310 = 11.6 \text{ год}$$

2.1.9 Функції первинної обробки даних вимірювання в ПЛК

Функції первинної обробки даних необхідні для точності та надійності обробки даних, які ПЛК отримує від датчиків або інших вимірювальних пристроїв. Ці функції дозволяють правильно приймати дані та після їхньої обробки правильно перетворити для надсилання сигналу керування.

У ПЛК Modicon TM172PDG42RI від компанії Schneider Electric за приймання та надсилання сигналів відповідають аналогові та дискретні входи/виходи. В даного ПЛК є 6 аналогових виходів, 8 аналогових входів, 10 дискретних виходів та 14 дискретних входів.

При потраплянні в ПЛК сигнал проходить такі етапи:

Фільтрація сигналу на якому відсіюються різного роду шуми, якщо вони були. Та якщо потрібно вирівнюють значення від випадкових відхилень.

Також можливий етап калібрування даних на якому виправляються відхилення вимірювання, що можуть виникати через недоліки датчиків. В даної моделі ПЛК є функції автоматичного калібрування коефіцієнтів або можливість калібрувати їх вручну.

Наступним етапом отримані дані перетворюються із отриманого сигналу в цифрові значення. Наприклад, сигнал 4-20 мА від датчика температури перетворюється в цифровий показник температури градуси Цельсія.

Наступним етапом дані проходять етап логічної обробки. Для даної моделі ПЛК є вбудовані функції обробки даних.

Після проходження логічних обробок настає етап обробки за допомогою математичних операцій. Ця функція дозволяє робити з даними,

					ТА-91391.0007.001.АТХ.П	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

різного роду математичні маніпуляції такі як: додавання, віднімання, ділення і т. д.

Також додатково дані можуть проходити обробку часових параметрів, що дозволяє аналізувати динаміку зміни даних в часі та виконувати різного роду операції пов'язані із часом.

Додатково може бути функція збереження даних, яка дозволяє зберігати оброблені дані, щоб в подальшому використовувати їх для аналізу та покращення роботи, або використовувати ці дані в іншій частині роботи.

2.1.10 Висновок щодо роботоздатності вимірювальних каналів САР

Оцінку роботоздатності вимірювальних каналів можна зробити на основі декількох факторів таких як: точність вимірювання, надійність реалізації.

Точність вимірювання є важливим фактором, оскільки він показує наскільки точними є вимірювальні дані. Також на точність вимірювання може позитивно впливати наявність аналогових входів на ПЛК, зменшуючи шуми.

Надійність реалізації є не менш важливим фактором, адже відмова будь-якого вимірювального каналу може призвести до неправильної обробки даних та неправильного керування процесом. Саме тому надійність повинна бути високою, що ми і перевіряли у розрахунку надійності.

Отже, можемо зробити висновок, що вимірювальні канали температури води на виході з котла та температури навколишнього середовища є працездатними, вони мають високу точність вимірювання, абсолютна похибка складає 0.4 та 0.75 градуси Цельсія відповідно. Система є надійною, оскільки ймовірність безвідмовної роботи перевищує 90%.

Середній час відновлення роботоспроможності складає приблизно 12 годин, що дозволить виправити недоліки системи без суттєвого перепаду показників.

					ТА-91391.0007.001.АТХ.П	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Інженерний розрахунок регульовально-виконавчих каналів САР

2.2.1 Перелік систем автоматичного регулювання

Система автоматичного регулювання - це комплекс технічних заходів або алгоритмів, який повинен підтримувати вихідну величину на заданому рівні або в певних межах, або змінювати її за заданим законом.

Кожна система автоматичного регулювання складається з датчиків, які зчитують інформацію з середовища або про стан об'єкта та передають вище. За керування може відповідати ПЛК, релейні пристрої або мікроконтролери. Виконавчі механізми можуть бути представлені: електроприводом на клапани, електромоторами, вентиляторами чи якимось електроприладом, який може виконувати якусь функцію, або пневматичними чи гідравлічними ВМ.

Перелік всіх систем автоматичного регулювання автоматизації водогрійного твердопаливного котла в тренажерному залі:

1. САР температури води на виході з котла

Для забезпечення регулювання температури води на виході з котла було обрано одноконтурну систему регулювання. Вона буде працювати за рахунок зміни частоти обертання електромотора, який обертає шнек, що транспортує паливо з бункера палива до камер згоряння. Одноконтурний тип керування був обраний тому, що він відповідає поставленим вимогам, вона поліпшує та прискорює контроль температури в залежності від типу клімату.

В даній системі контролер отримує значення уставки (бажаної температури) після чого він порівнює це значення з тим, яке вимірюється зараз в системі і в залежності від зміни температури, контролер передає сигнал на виконавчий механізм, представлений електромотором, який керується через частотний перетворювач.

2. САР тиску повітря, що нагнітається в камеру згорання

Для забезпечення регулювання тиску повітря, що нагнітається в камеру згорання було обрано одноконтурну систему регулювання. Принцип дії даної системи полягає в вимірювання тиску в повітропроводі та порівняння із заданим значенням, після чого розрахунок керуючого впливу на виконавчий механізм, який змінює частоту обертання дуттєвого вентилятора, який створює повітряний потік в камеру згорання.

					ТА-91391.0007.001.АТХ.П	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Одноконтурний тип керування був обраний через його переваги у швидкості відповіді, економічності та простоті управління. Вона зменшує відхилення незалежно від того, якими факторами це відхилення було викликане. Також ця система є менш чутливою до зміни параметрів на відміну від інших типів систем.

Регулювання здійснюється на основі виміряного значення (тиску утвореного в повітропроводі) та у відповідності до нього керує виконавчим механізмом (змінюю частоти обертання дуттєвого вентилятора). Значенням уставки буде значення бажаного тиску, яке обчислюється у відповідності до кількості завантаженого палива у камеру згорання.

3. САР розрідження в камері згорання

Для забезпечення регулювання розрідження в камері згорання було обрано одноконтурну систему регулювання. Вона зменшує відхилення незалежно від того, якими факторами це відхилення було викликане. Принцип дії даної системи полягає у частоті зміни обертання вентилятора димососа, який створює тягу димових газів. Також ця система є менш чутливою до зміни параметрів на відміну від інших типів систем.

Одноконтурне регулювання здійснюється на основі виміряного значення розрідження в камері згорання та у відповідності до нього керує виконавчим механізмом, змінюю частоти обертання вентилятора димососа. Значенням уставки буде значення бажаного тиску, яке обчислюється у відповідності до тиску утвореного дуттєвим вентилятором та інтенсивністю горіння.

					ТА-91391.0007.001.АТХ.П	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2.2 Функціональна і структурна схеми САР

Функціональна схема САР - графічне представлення структури та зв'язків між компонентами, які складають систему. Вона відображає функціональні блоки та їх взаємозв'язки, які виконують різні операції у системі керування. Функціональна схема САР демонструє процес вимірювання значень, передачі сигналів і їх приймання, показуючи, як і де ці операції відбуваються.

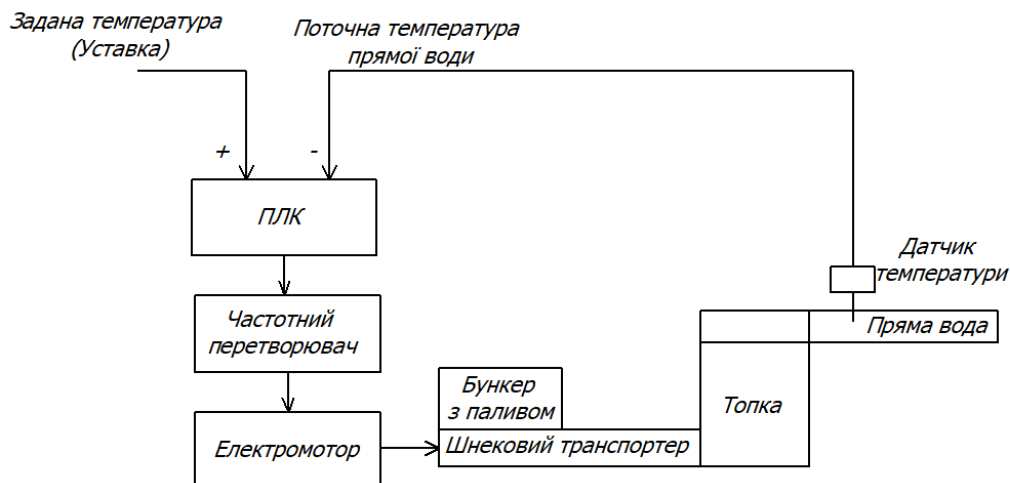


Рисунок 2.17 - Схема функціональна одноконтурної САР температури води на виході з котла

На рисунку 2.17 зображена схема, яка показує принцип роботи САР температурою води на виході з котла. Температура води на виході з котла вимірюється датчиком температури. Розбаланс у вигляді різниці уставки та вимірюваного значення подається на ПЛК, через який іде на частотний перетворювач. ЧП здійснює зміну частоти струму, яка подається на електромотор, чим змінює швидкість обертання мотора. Мотор обертає шнековий транспортер, який транспортує паливо в камеру згорання. Якщо температура води перевищує норму, то мотор сповільнює свої оберти. Якщо температура нижча за задану, то мотор пришвидшує обертання, чим збільшує подачу палива.

Структурна схема САР - це графічне зображення елементів та зв'язків між ними, що використовуються для опису фізичної структури САР. Структурна схема показує, як система буде реалізована в обладнанні.

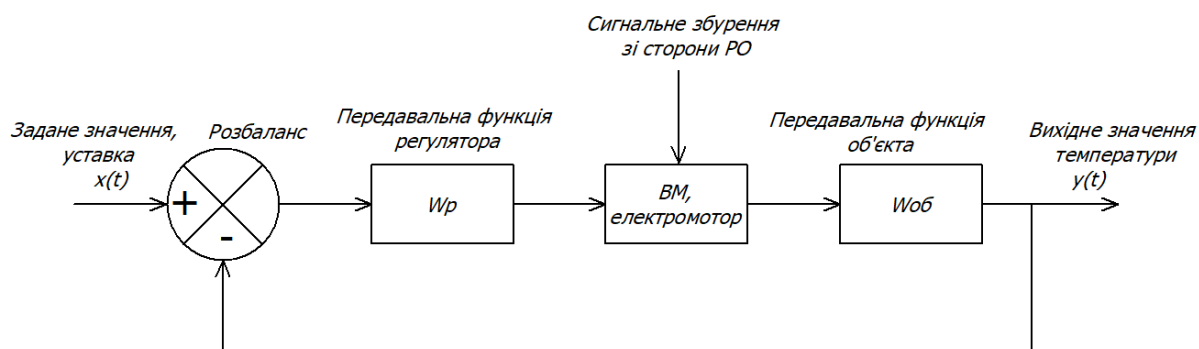


Рисунок 2.18 - Схема структурна одноконтурної САР температури води на виході з котла

На рисунку 2.18 зображена схема структурна одноконтурної САР температури води на виході з котла. В даній системі контролер отримує значення уставки бажаної температури, після чого він порівнює це значення з тим, яке вимірюється зараз в системі і в залежності від зміни температури, контролер передає сигнал на виконавчий механізм, електромотор, який керується через частотний перетворювач.

W_p - передавальна функція регулятора.

$W_{об}$ - передавальна функція об'єкта.

$x(t)$ - задане значення уставки, бажана температура води на виході з котла.

$y(t)$ - вихідне значення температури, поточне значення вимірюваної температури.

2.2.3 Схема структурна регульовально-виконавчого каналу САР

Схема структурна регульовально-виконавчого каналу САР включає в себе два канали виконавчий, який реалізується в ПЛК, та виконавчий канал, який передає команди управління від ПЛК на виконавчий механізм. Для реалізації структурних схем використовується метод блок-схеми. На схемі можуть бути зображені такі елементи: вимірювальний пристрій, регулятор, блок ручного керування, джерело живлення, виконавчий механізм.

Структурна схема регуляційного каналу САР температури води на виході з котла відображає перехід сигналів між різними елементами та описує, як дані обробляються на кожному етапі.

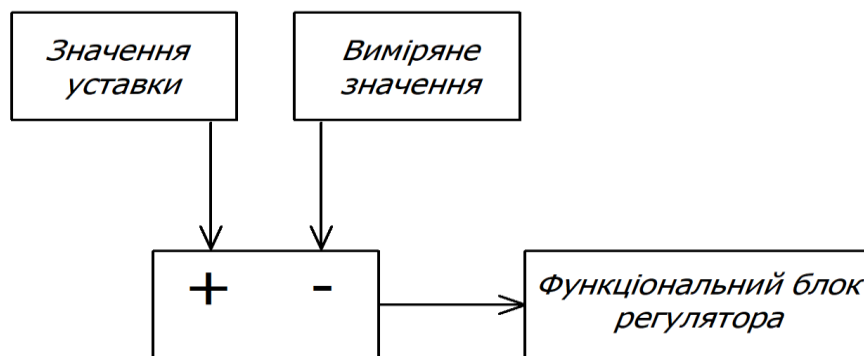


Рисунок 2.19 - Схема структурна регулювального каналу САР температури води на виході з котла

Схема на рисунку 2.19 зображує функціональний блок регулятора, який приймає значення, порівнює їх та генерує вихідний сигнал. Сигнали, які надходять до функціонального блока це: додатній сигнал уставки (бажаної температури) та мінусовий сигнал поточного виміряного значення (поточний показник датчика температур води на виході з котла).

Схема структурна виконавчого каналу САР температури води на виході з котла відповідає за передачу сигналу від ПЛК до виконавчого механізму, тим самим керуючи процесом на фізичному рівні.

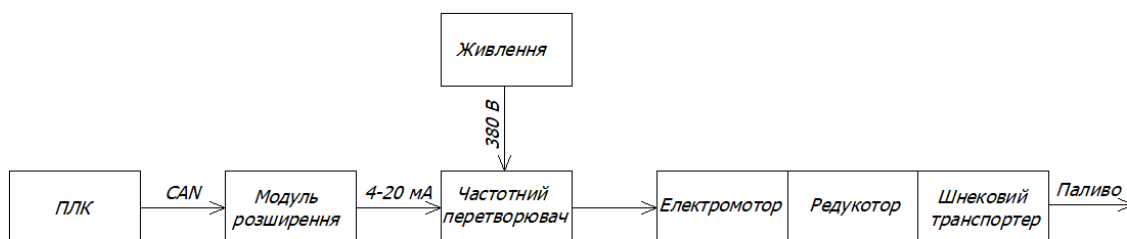


Рисунок 2.20 - Схема структурна виконавчого каналу САР температури води на виході з котла

На рисунку 2.20 зображена схема принципу дії виконавчого каналу САР температури води на виході з котла. Аналоговий сигнал (4-20) мА від ПЛК надходить до частотного перетворювача через модуль розширення з яким зв'язується по шині CAN. Частотний перетворювач живиться від мережі 380В та передає змінну частоту струму для електромотора, який через редуктор повільно обертає шнековий транспортер, що транспортує паливо в камеру згорання.

Автоматичний режим роботи виконавчого каналу полягає в тому, що у відповідності до отриманого значення уставки та виміряного значення

температур, ПЛК вираховує з якою швидкістю повинен обертатися мотор чи повільніше, чи швидше. ПЛК надсилає сигнал на ЧП, який перетворює частоту струму, який подається на електромотор в потрібний для того, щоб шнек обертався з правильною швидкістю.

2.2.4 Схема структурна програмно-технічних засобів САР

Схема структурна програмно-технічних засобів САР поєднує в собі схеми структурні вимірювального та регулювально-виконавчого каналів САР, а також містять елементи супервізорного рівня АСУТП: інформаційну магістраль, SCADA-систему та СУБД.

Вимірювальний канал САР забезпечує збір даних з датчика температури води на виході з котла та перетворює їх у цифровий вигляд. Дані з датчика передаються до ПЛК, де відбувається їх обробка та порівняння з встановленим значенням регулятора.

Регулювально-виконавчий канал САР забезпечує керування електромотором, що обертає шнековий транспортер через зміну частоти струму частотним перетворювачем. Дане регулювання відбувається на основі отриманих даних із вимірювального каналу та розрахунках регулятора.

Інформаційна магістраль необхідна для налагодження зв'язку між деякими елементами САР.

SCADA система використовується для відображення даних отриманих від системи. Також попри відображенні інформації вона може керувати системою або архівувати дані. Безпосередньо за архівування та зберігання даних відповідає СУБД.

Схема структурна ПТЗ САР температури води на виході з котла зображена на рисунку 2.21.

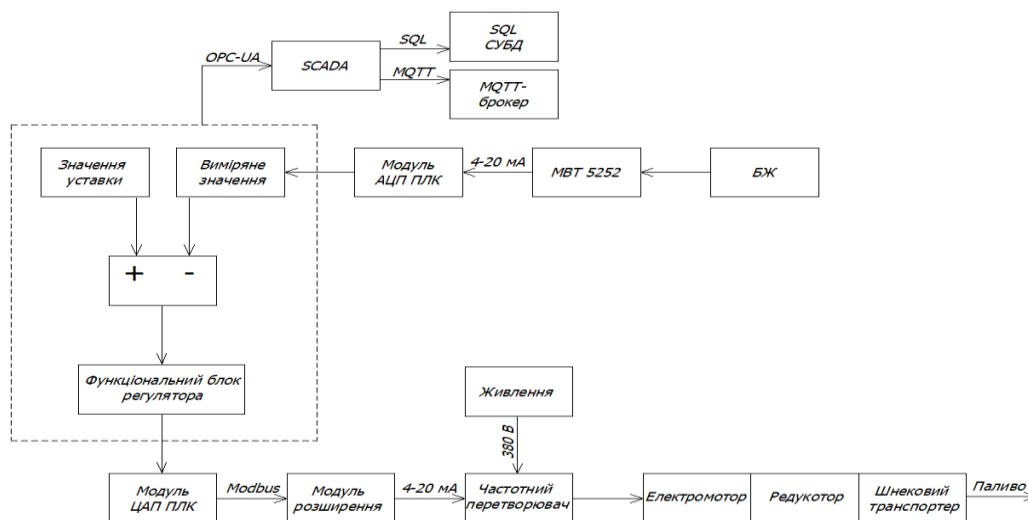


Рисунок 2.21 - Схема структурна ПТЗ САР температури води на виході з котла

2.2.5 Схема структурна надійності реалізації управляючої функції САР

Структурна схема надійності показує, як підключати різні елементи САР для більшої надійності системи. Елементами системи можуть бути кріпильні елементи, прилади вимірювання, контролери та виконавчі механізми.

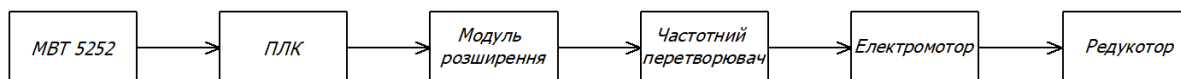


Рисунок 2.22 - Схема структурна надійності реалізації управляючої функції САР

На рисунку 2.22 зображена структурна схема надійності реалізації управляючої функції САР температури на виході з котла, яка показує послідовне з'єднання елементів, які беруть участь у керувальному процесі. Дана схема показує ланцюжок у якому при відмові хоча б одного елемента, якщо він не має резервного, то відмовить вся система. На схемі зображений датчик температури, який вимірює значення температури води на виході з котла, обробляє інформацію та передає на контролер. У ПЛК сигнал від датчика перетворюється в цифровий та розраховується, потім перетворюється в аналоговий та передається на частотний перетворювач через модуль розширення. Частотний перетворювач отримавши сигнал від ПЛК змінює частоту струму, який подає на електромотор, який змінює частоту обертання шнека через редуктор.

2.2.6 Розрахунок надійності реалізації управляючої функції САР

Розрахунок надійності реалізації управляючої функції САР включає в себе розрахунок таких параметрів як: інтенсивність відмов, середній час напрацювання регульовально-виконавчого каналу на відмову, ймовірність безвідмовної роботи регульовально-виконавчого каналу за заданий час, середній час на відновлення роботоспроможності кожного регульовально-виконавчого каналу.

Вимоги до надійності повинні включати наступні аспекти:

- Середній час між відмовами функції повинен перевищувати 10 000 годин, що свідчить про високу надійність системи та її здатність працювати протягом тривалого періоду без відмов.
- Коефіцієнт готовності повинен бути не менше 0.995, що дозволить системі швидко реагувати на виникнення проблем та забезпечити безперебійну роботу.
- Час відновлення працездатності повинен бути якомога мінімальним, щоб система могла швидко відновити роботу та уникнути необхідності евакуації людей з приміщення під час охолодження.
- Ймовірність безвідмовної роботи також повинна бути максимальною, що гарантує стабільне та неперервне функціонування системи.

Запишемо час напрацювання для всіх елементів структурної схеми надійності реалізації управляючої функції, згідно документацій:

- Час напрацювання на відмову датчика температури MBT 5252: $T_{\text{ЧН}} = 87660 \text{ год}$
- Час напрацювання на відмову ПЛК TM172PDG42RI: $T_{\text{ЧН}} = 70100 \text{ год}$
- Час напрацювання на відмову модуля розширення Modicon TM172E28R: $T_{\text{ЧН}} = 70100 \text{ год}$
- Час напрацювання на відмову частотного перетворювача ATV212: $T_{\text{ЧН}} = 35000 \text{ год}$ [13].
- Час напрацювання на відмову електромотора AIP90L2: $T_{\text{ЧН}} = 26300 \text{ год}$
- Час напрацювання на відмову редуктора: $T_{\text{ЧН}} = 52500 \text{ год}$

Інтенсивність відмов - це характеристика надійності кожного датчика та елемента в структурних схемах надійності. Якщо елемент менш надійний, то інтенсивність відмов будемо вищою. Інтенсивність відмов знаходиться за формулою:

$$\lambda = \frac{1}{T_{\text{ЧН}}}$$

					ТА-91391.0007.001.АТХ.П	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Знайдемо інтенсивність відмов для кожного елементу:

Інтенсивність відмов датчика температури МВТ 5252: $\lambda = 11.4 \cdot 10^{-6} 1/\text{год}$

Інтенсивність відмов ПЛК TM172PDG42RI: $\lambda = 14.3 \cdot 10^{-6} 1/\text{год}$

Інтенсивність відмов TM172E28R: $\lambda = 14.3 \cdot 10^{-6} 1/\text{год}$

Інтенсивність відмов ЧП ATV212: $\lambda = 28.6 \cdot 10^{-6} 1/\text{год}$

Інтенсивність відмов електромотора AIP90L2: $\lambda = 38.0 \cdot 10^{-6} 1/\text{год}$

Інтенсивність відмов редуктора: $\lambda = 19.0 \cdot 10^{-6} 1/\text{год}$

Знайдемо загальну інтенсивність відмов структурної схеми за формулою:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i$$

$$\lambda = (11.4 + 14.3 + 14.3 + 28.6 + 38.0 + 19.0) \cdot 10^{-6} = 125.6 \cdot 10^{-6} 1/\text{год}$$

Середній час напрацювання на відмову визначає період роботи елемента до першого виникнення неполадки або першої відмови. Середній час напрацювання на відмову знаходиться за формулою:

$$T_{cp} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}$$

$$T_{cp} = \frac{1}{125.6 \cdot 10^{-6}} = 7960 \text{ год}$$

Ймовірність безвідмовної роботи РВК за заданий час визначається за формулою:

$$P_{\delta}(\tau) = e^{-\frac{\tau}{T_{сер}}} = e^{-\lambda \tau} = 1 - \frac{\tau}{T_{сер}}$$

Задамо період у 1000 год для розрахунку ймовірності безвідмовної роботи РВК:

$$P_{\delta}(\tau) = 1 - \frac{1000}{7960} = 0.874$$

Середній час відновлення роботоспроможності РВК визначається за формулою:

$$T_{\delta} = \frac{T_{cp}}{K_{гот}} - T_{cp}$$

$K_{гот}$ - коефіцієнт готовності якій складає 0.9995.

$$T_{\delta} = \frac{7960}{0.9995} - 7960 = 3.9 \text{ год}$$

Як бачимо, всі вимоги дотримані, що показує систему надійною та ефективною. Час відновлення складає менше ніж 4 годин, що дасть змогу відновити роботу системи без евакуації персоналу на період відновлення системи. За такий період температура в приміщенні не встигне сильно впасти.

					ТА-91391.0007.001.АТХ.П	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2.7 Ідентифікація об'єкта управління

Ідентифікацією об'єкта називають процес побудови математичної моделі твердопаливного водогрійного котла в тренажерному залі. Можливі декілька варіантів ідентифікації: аналітичний або експериментальний.

В даному випадку для визначення математичної моделі використаємо експериментальний метод.

В ході виконання роботи була обрана одноконтурна система регулювання температурою на виході з котла, тому для визначення нам потрібно визначити реакцію регульованого параметра на збурення.

Для проведення експерименту спочатку потрібно перевести систему у ручний режим, дочекатися закінчення перехідних процесів та вирівнювання значення. Після цих етапів нанести збурення та зняти показники датчика, та побудувати залежність температури від часу, що буде кривою розгону зображеною на рисунку 2.23.

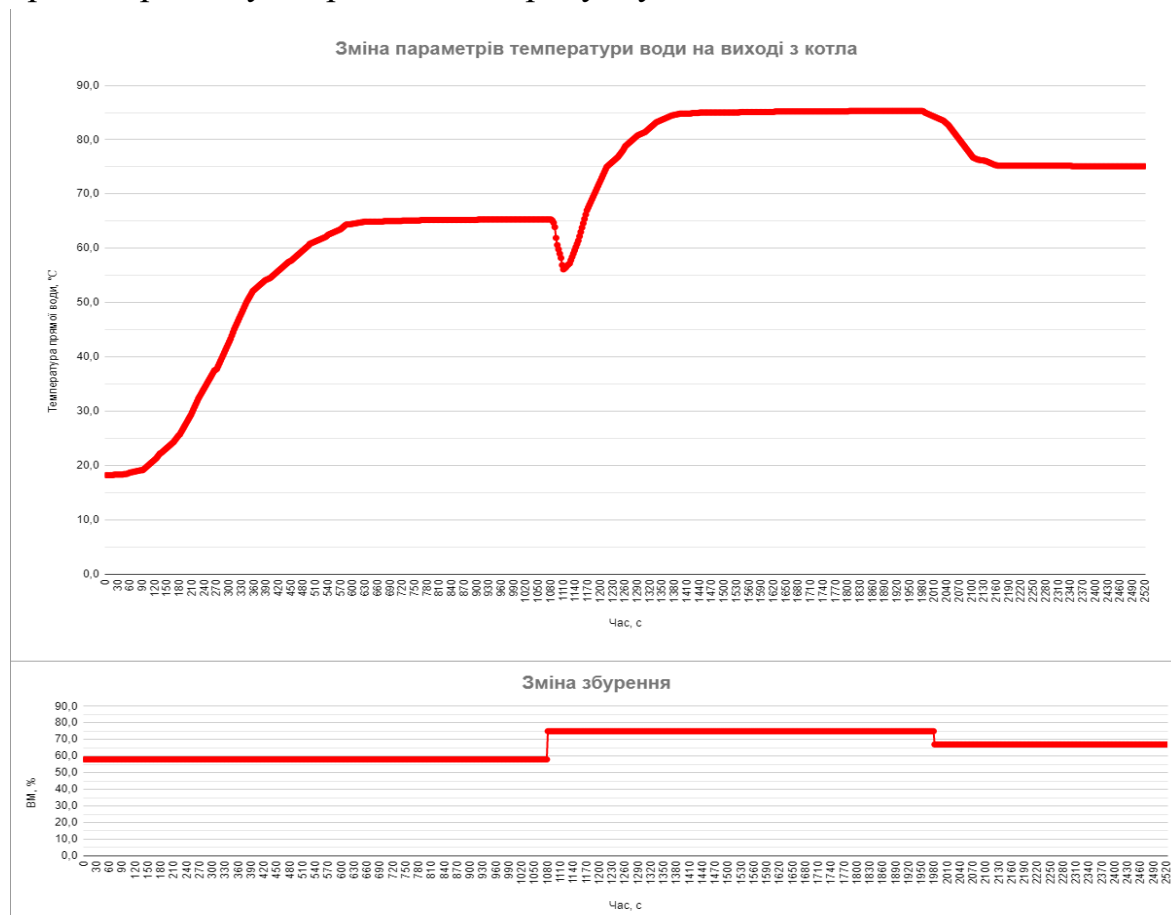


Рисунок 2.23 - Крива розгону температури води на виході з котла при проведенні експерименту

Для зручності проведення обрахунків візьмемо ділянку після нанесення збурення, що називається розгінна характеристика та зображена на рисунку 2.24.



Рисунок 2.24 - Розгінна характеристика ділянки після збурення

Тепер потрібно визначити параметри з розгінної характеристики для передавальної функції, використовуючи метод логарифмування:

$$y(\infty) = 85$$

$$y(0) = 65$$

$$t_1 = 112$$

$$t_2 = 176$$

$$K = \frac{y(\infty) - y(0)}{\Delta u} = \frac{85 - 65}{17} = 1.18 \text{ - коефіцієнт передачі;}$$

$$\tau = 0.5(3t_1 - t_2) = 0.5(3 * 112 - 176) = 80 \text{ - запізнення;}$$

$$T = \frac{t_2 - \tau}{1.2} = \frac{176 - 80}{1.2} = 100 \text{ - час.}$$

Отже, передавальна функція буде мати наступний вигляд:

$$W_{об} = \frac{1.18}{100p + 1} * e^{-80p}$$

Перехідна характеристика зображена на рисунку 2.25.

					ТА-91391.0007.001.АТХ.П	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

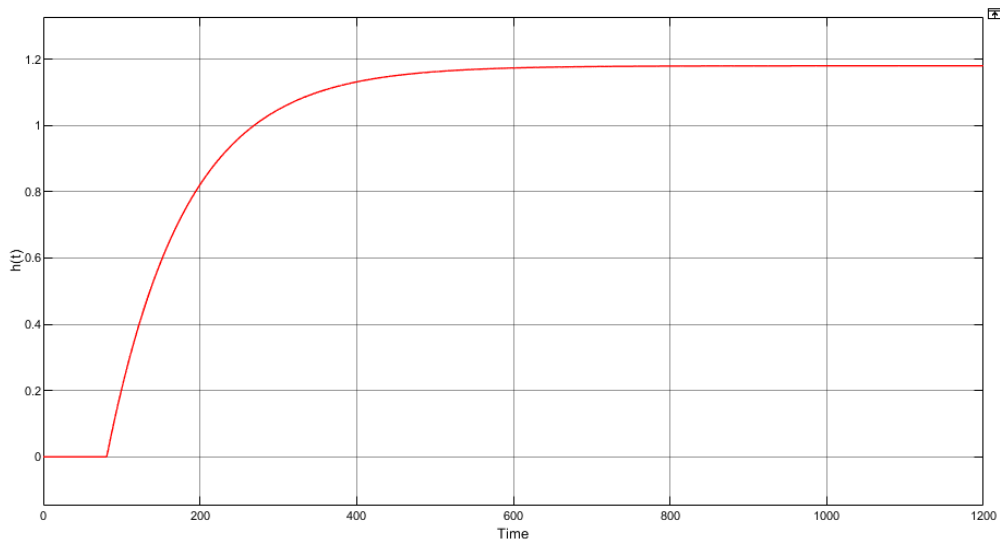


Рисунок 2.25 - Перехідна характеристика зміни температури води на виході з котла

Для того, щоб перевірити чи правильно ідентифікований об'єкт накладемо графік перехідного процесу на графік розгінної характеристики, що зображено на рисунку 2.26.

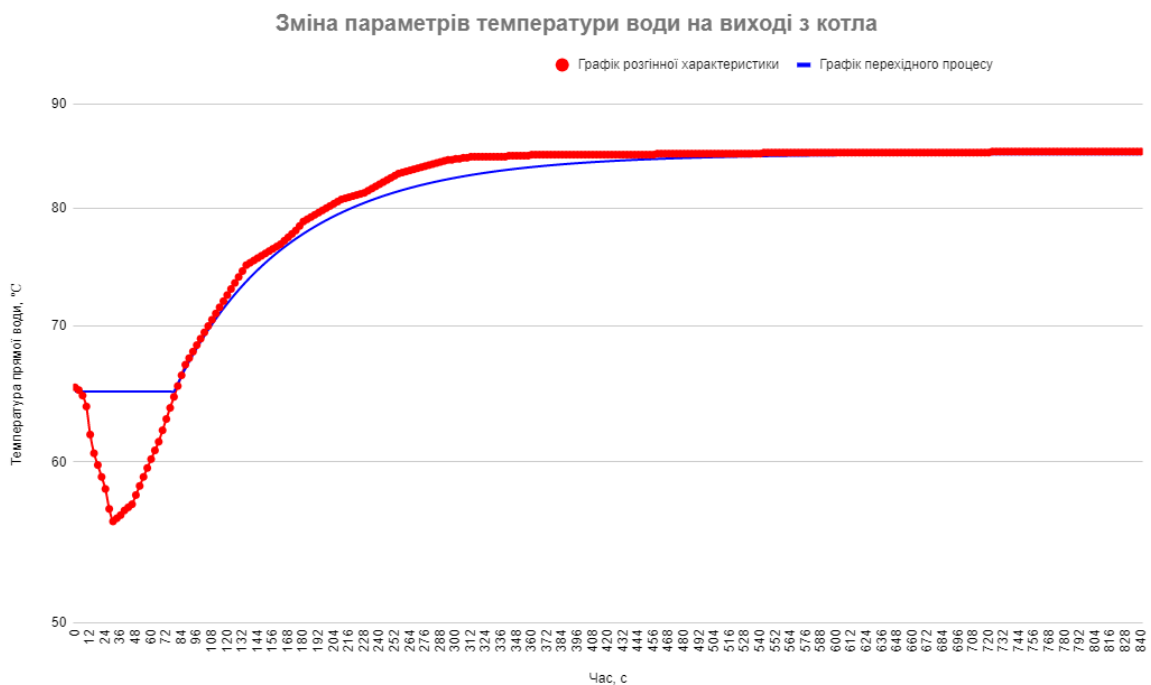


Рисунок 2.26 - Накладання графіка перехідного процесу на графік розгінної характеристики

На початку перехідного процесу присутній невеликий спад температури, це пов'язано з тим, що температура палива, яке подається, значно нижча за температуру горіння в камері і при різкому збільшенні

інтенсивності подачі палива, температура горіння спочатку спадає, а після збільшення інтенсивності горіння починає зростати.

2.2.8 Розрахунок регуляторів САР

Передавальна функція для контуру регулювання температурою на виході з котла має наступний вигляд:

$$W_{об} = \frac{1.18}{100p + 1} * e^{-80p}$$

Для отримання перехідної характеристики, змодельуємо передавальну функцію у середовищі Simulink:



Рисунок 2.27 - Структурна схема перехідного процесу в середовищі Simulink

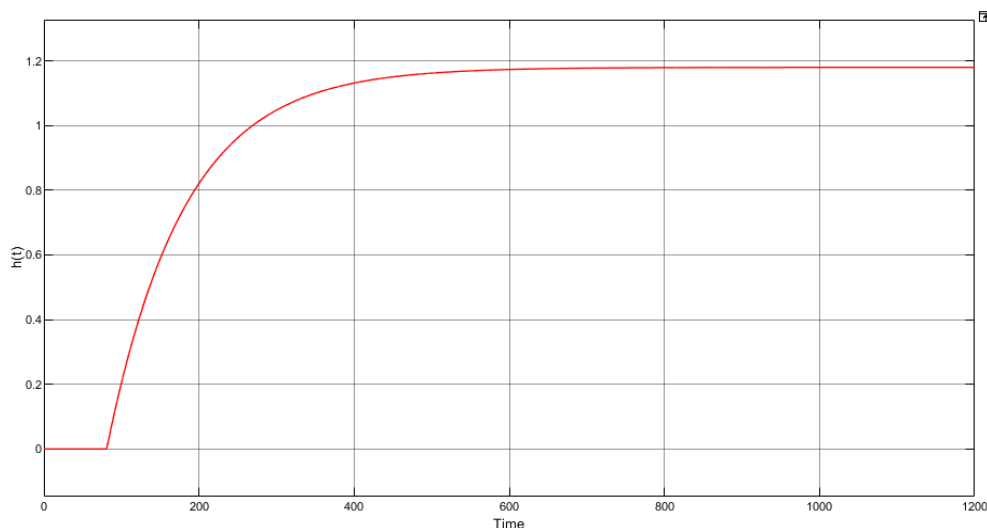


Рисунок 2.28 - Перехідна характеристика в середовищі Simulink

Якщо для регулювання використовується одноконтурна система, то розрахунок буде проводитися для ПІ регулятора. Перевагами ПІ регулятора перед ПД регулятором полягає в простоті налаштування та меншій чутливості до шуму та збурень. ПД регулятор має додатковий диференційний коефіцієнт, який може призвести до появи перехідних процесів, що можуть створити напруження в системі регулювання та спричинити появу коливань в процесі регулювання. В свою чергу ПІ регулятор має лише пропорційну та інтегральні складові, що забезпечують більш стабільну роботу системи. Він може бути налаштованим таким

чином, щоб забезпечити потрібну точність регулювання без перенапруження системи.

Для знаходження налаштувань будемо використовувати метод РАФХ та експрес метод.

Метод РАФХ:

Для знаходження налаштувань методом РАФХ задамося ступенем коливальної стійкості: $m=0.366$.

Для побудови кривої заданої степені коливальності скористаємося формулами для ПІ регулятора:

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

$$\text{де } A_{об}(\omega) = \sqrt{P_{об}^2(m, \omega) + Q_{об}^2(m, \omega)}$$

Код m-файла, для побудови кривої коефіцієнтів:

```
w=0:0.0001:0.021;
m=0.366;
p=w*(1j-m);
W=(1.18.*exp(-80*p))./(100*p+1);
Re=real(W);
Im=imag(W);
Kp=-(m*Im+Re)./(Im.^2+Re.^2);
Ki=-w*(m.^2+1).*Im./(Im.^2+Re.^2);
plot(Kp,Ki,'k');
ylabel('Ki');
xlabel('Kp');
grid on;
```

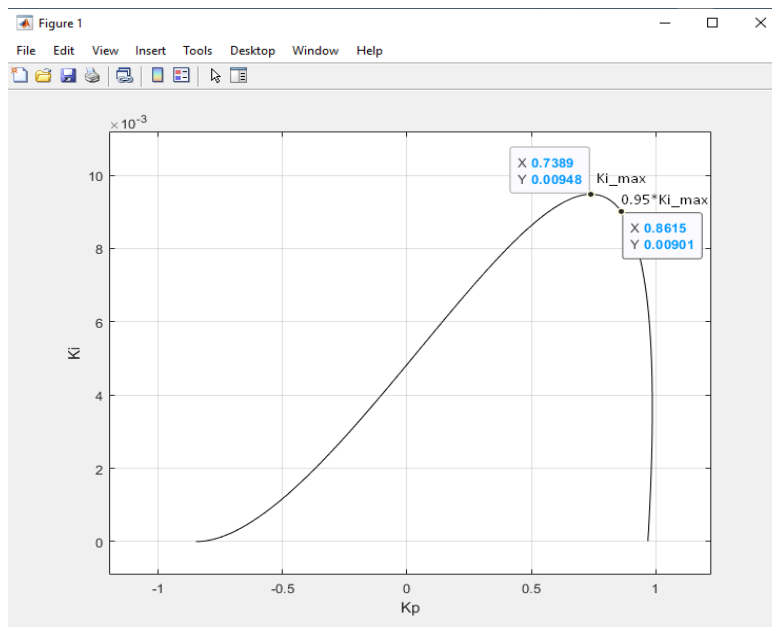


Рисунок 2.29 - Крива заданого степеня коливальності з позначеними точками Ki_max (максимальне значення Ki), $0.95Ki_max$

На кривій оберемо параметри налаштування регулятора:

$$Ki = 0.95 \max(Ki);$$

$$Kp = 0.8615$$

$$Ki = 0.00901$$

$$Ti = Kp/Ki = 95.6$$

З використанням отриманих даних побудуємо перехідні характеристики для об'єкта з ПІ регулятором по каналах збурення-вихід та завдання-вихід з допомогою Simulink.

Побудуємо модель схеми та перехідний процес по каналу збурення-вихід:

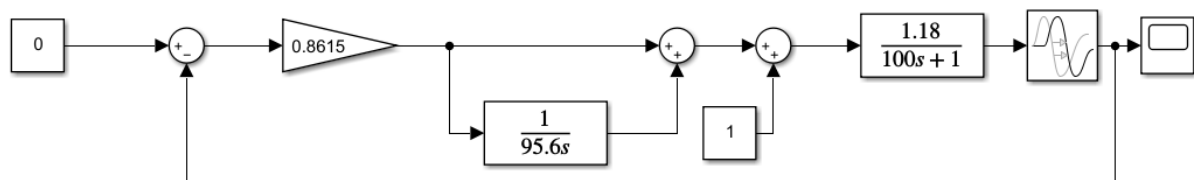


Рисунок 2.30 - Модель схеми по каналу збурення-вихід

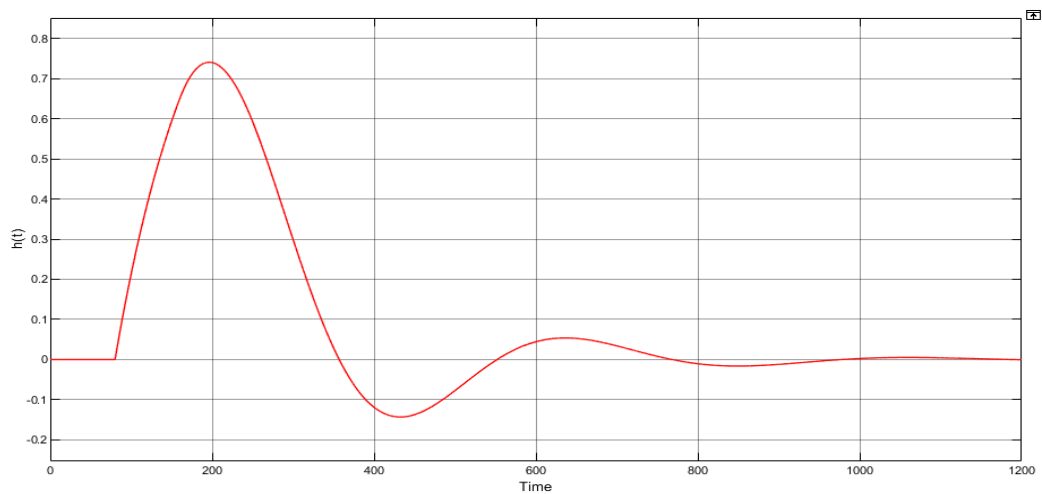


Рисунок 2.31 - Перехідний процес по каналу збурення-вихід

Побудуємо модель схеми та перехідний процес по каналу завдання-вихід:

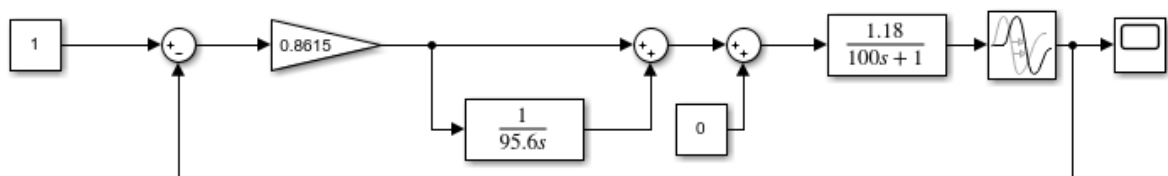


Рисунок 2.32 - Модель схеми по каналу завдання-вихід

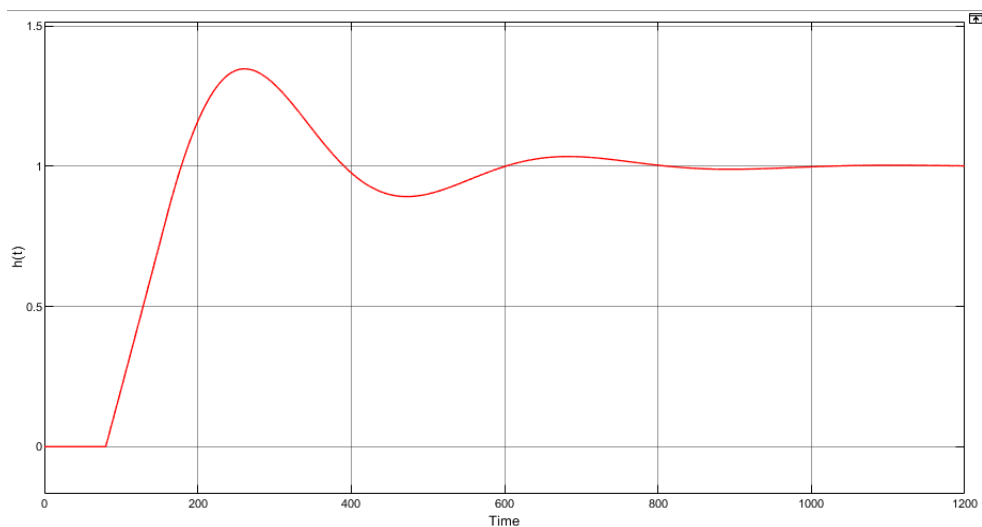


Рисунок 2.33 - Перехідний процес по каналу завдання-вихід

Визначимо прямі показники якості для системи та занесемо до таблиці:

					ТА-91391.0007.001.АТХ.П	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Таблиця 2.1 - Прямі показники якості за методом РАФХ

Показник якості	Збурення-вихід	Завдання-вихід
Статична похибка, $\Delta_{ст}$	0	0
Динамічна похибка, $\Delta_{дин}$	0.74	0.34
Перерегулювання σ , %	18.9	34
Степінь затухання, Ψ	0.93	0.91
Час перехідного процесу $t_{пп}$, с	695	760

Експрес метод:

Використаємо експрес метод часткової компенсації для знаходження параметрів тому, що він дозволяє швидко знайти необхідні параметри, він має високу надійність, оскільки він здатний працювати в умовах різних збурень і помилок моделювання, також цей метод є гнучким, адже він підтримує різноманітність структур регулятора.

Знайдемо параметри регулятора за допомогою наступних формул:

$$K_p = \frac{1}{K_{об}} * (0.739 * \frac{\tau_{об}}{T_{об}} * (1 + \frac{\tau_{об}}{T_{об}})^2 - 1) =$$

$$= \frac{1}{1.18} * (0.739 * \frac{80}{100} * (1 + \frac{80}{100})^2 - 1) = 0.776$$

$$T_i = \tau_{об} * \frac{6.36 * K_{об} * K_p}{\frac{\tau_{об}}{T_{об}} * (1 + \frac{\tau_{об}}{T_{об}})^3} = 80 * \frac{6.36 * 1.18 * 0.776}{\frac{100}{80} * (1 + \frac{80}{100})^3} = 146$$

Побудуємо модель схеми та перехідний процес по каналу збурення-вихід:

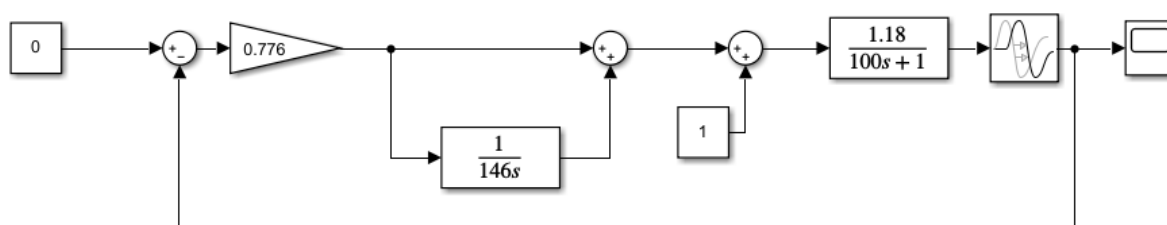


Рисунок 2.34 - Перехідний процес по каналу збурення-вихід

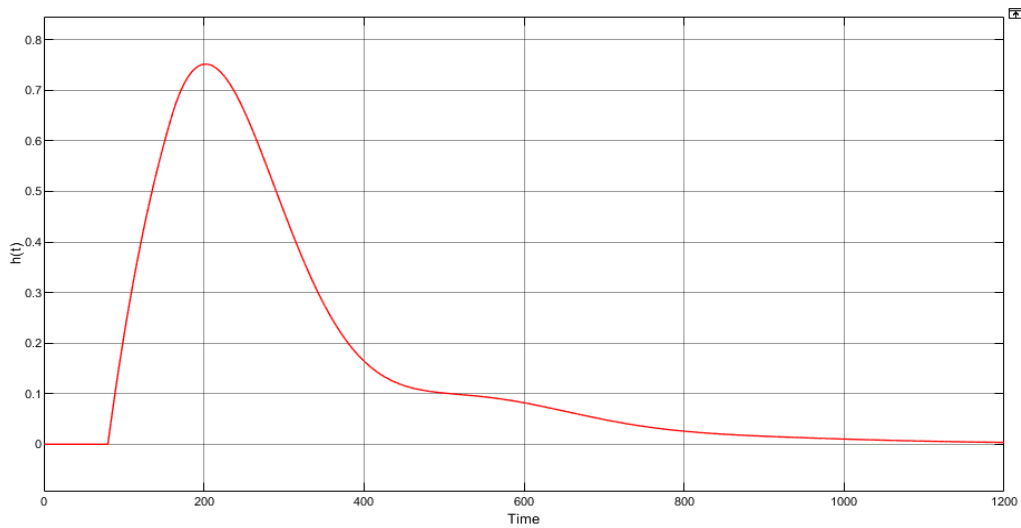


Рисунок 2.35 - Перехідний процес по каналу збурення-вихід
Побудуємо модель схеми та перехідний процес по каналу завдання-вихід:

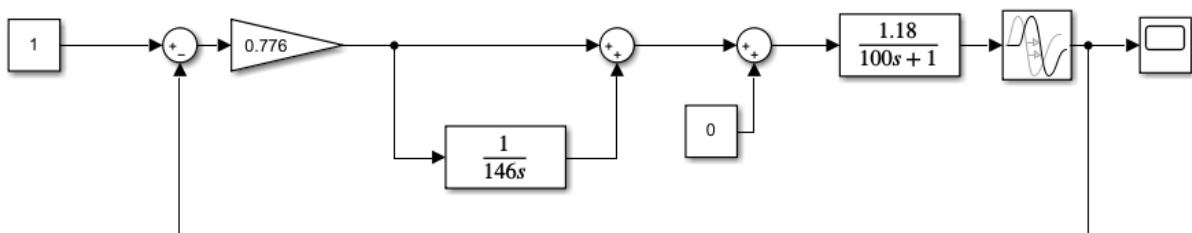


Рисунок 2.36 - Модель схеми по каналу завдання-вихід

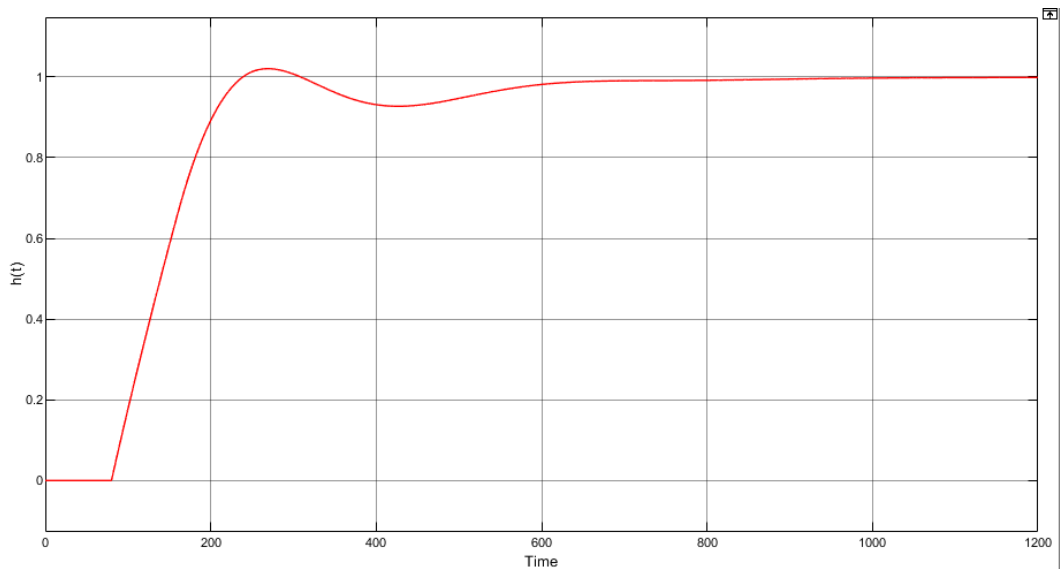


Рисунок 2.37 - Перехідний процес по каналу завдання-вихід
Визначимо прямі показники якості для системи та занесемо до таблиці:

Таблиця 2.2 - Прямі показники якості за експрес методом

Показник якості	Збурення-вихід	Завдання-вихід
Статична похибка, $\Delta_{ст}$	0	0
Динамічна похибка, $\Delta_{дин}$	0.75	0.02
Перерегулювання σ , %	0	2
Степінь згасання, Ψ	1	1
Час перехідного процесу $t_{пп}$, с	743	880

Порівняймо два методи та виберемо який з них кращий:

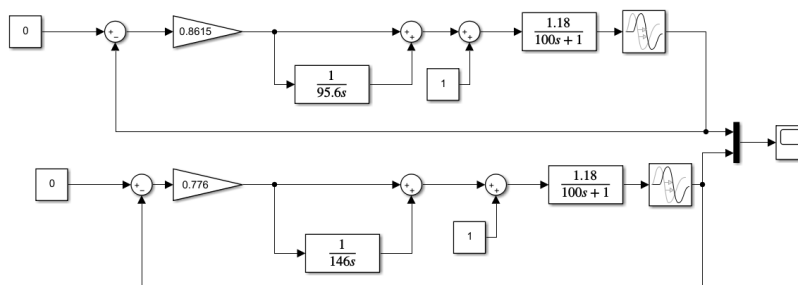


Рисунок 2.38 - Модель схеми по каналу збурення-вихід для обох каналів

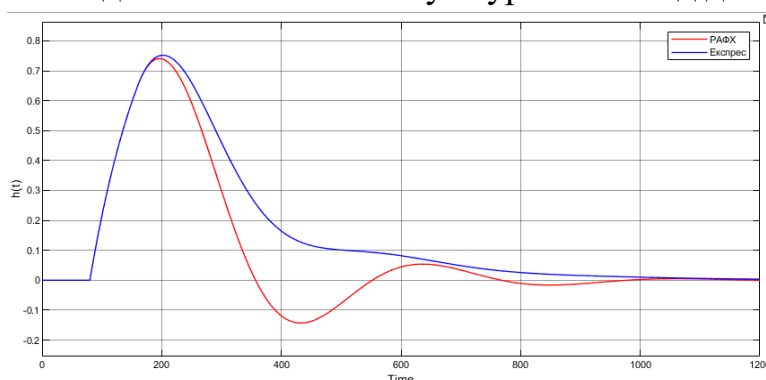


Рисунок 2.39 - Перехідний процес збурення-вихід для обох методів

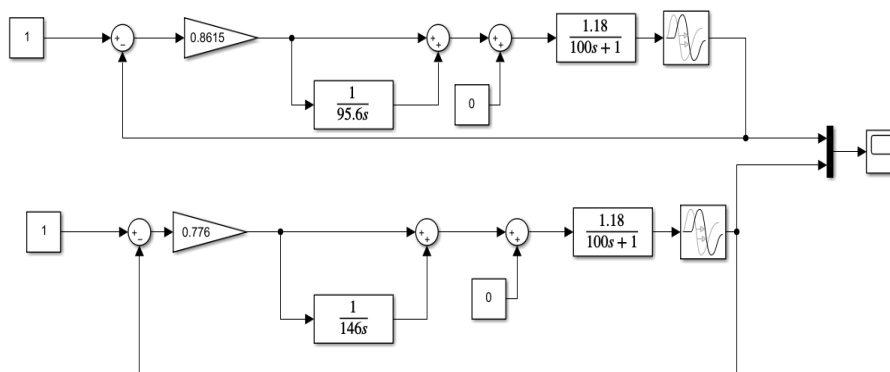


Рисунок 2.40 - Модель схеми по каналу завдання-вихід для обох каналів

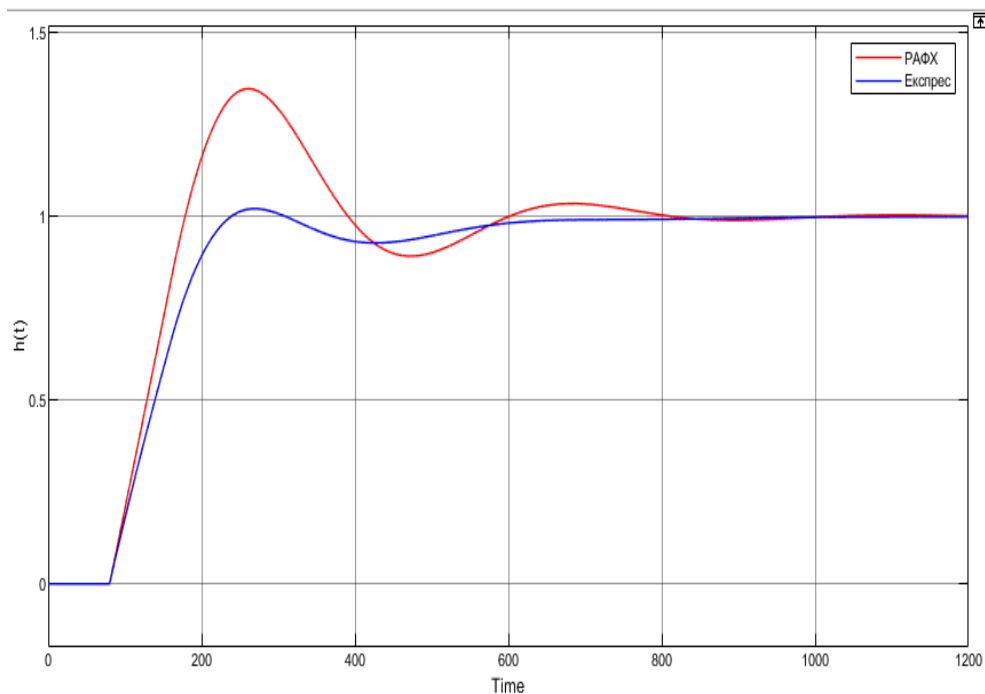


Рисунок 2.41 - Перехідний процес завдання-вихід для обох методів

Таблиця 2.3 - Порівняння прямих показників якості для обох методів

Показник якості	РАФХ		Експрес	
	Збурення-вихід	Завдання-вихід	Збурення-вихід	Завдання-вихід
Статична похибка, $\Delta_{ст}$	0	0	0	0
Динамічна похибка, $\Delta_{дин}$	0.74	0.34	0.75	0.02
Перерегулювання σ , %	18.9	34	0	2
Степінь затухання, Ψ	0.93	0.91	1	1
Час перехідного процесу $t_{пп}$, с	695	760	743	880

Порівнявши отримані значення параметрів ПІ регулятора оберемо той метод, який дає кращі результати. Експрес метод часткової компенсації буде кращим через нульове перерегулювання та меншу динамічну похибку. Інші параметри відрізняються не суттєво. Отже, маємо такі параметри:

$$K_p = 0.776$$

$$T_i = 146$$

2.2.9 Функціональне моделювання САР

Аналіз чутливості САР потрібен для визначення впливу зміни різних параметрів системи на її ефективність. Цей аналіз дозволяє зрозуміти, які параметри системи мають найбільший вплив на результати її роботи та допомагає знайти способи покращення цих результатів, шляхом налаштування відповідних параметрів.

Також аналіз чутливості може використовуватись для оптимізації параметрів системи, забезпечувати її точність та швидкість роботи, а також для визначення впливу різних факторів на регулювання її роботи.

Аналіз чутливості САР температури води на виході з котла:

Для того, щоб провести аналіз чутливості системи автоматичного регулювання температурою на виході з котла, потрібно змінити параметри об'єкта K , T , τ в діапазоні 10%.

Розрахуємо значення проміжку параметрів об'єкта:

$$K_{об} = 1.18 * 10\% = \pm 0.12$$

$$T_{об} = 100 * 10\% = \pm 10$$

$$\tau = 80 * 10\% = \pm 8$$

Отримаємо наступні значення:

$K_{об} = 1.06; K_{об} = 1.18; K_{об} = 1.3; T_{об} = 90; T_{об} = 100; T_{об} = 110; \tau = 72; \tau = 80; \tau = 88.$

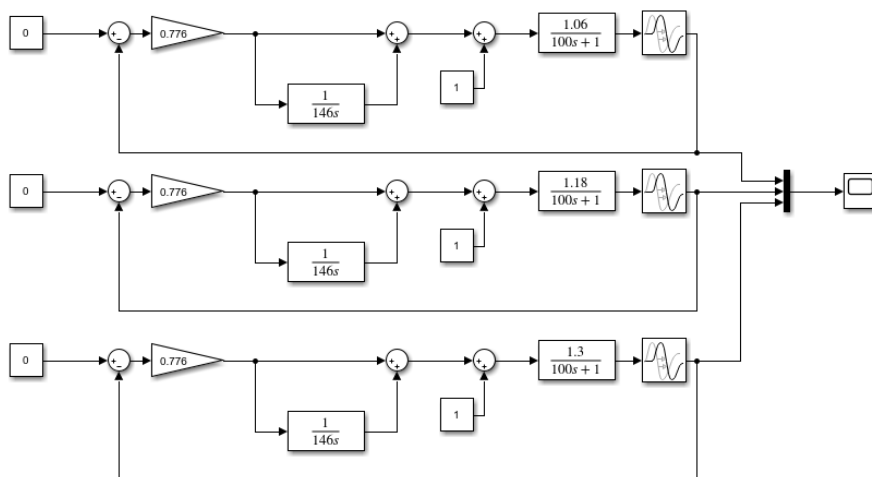


Рисунок 2.42 - Модель схеми по каналу збурення-вихід із зміненими параметрами Коб

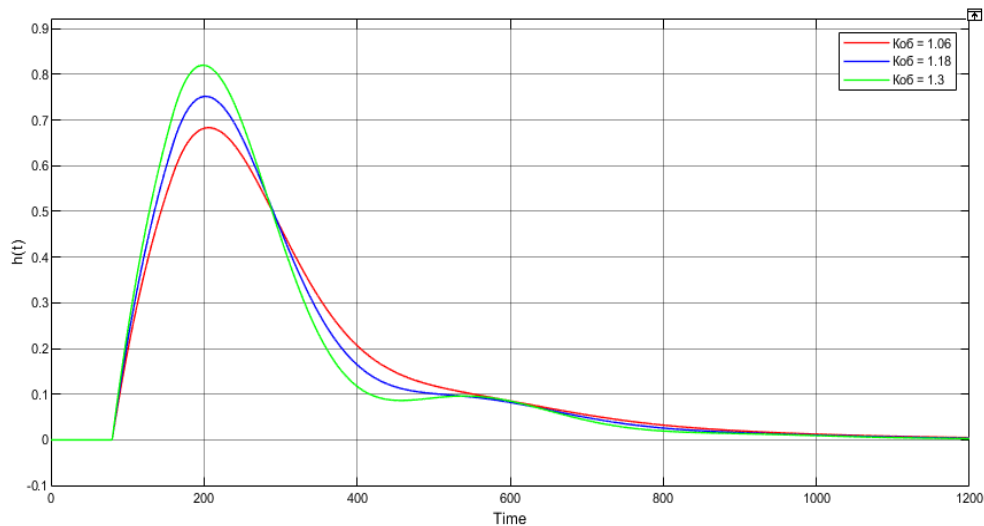


Рисунок 2.43 - Перехідна характеристика по каналу збурення-вихід із зміненими параметрами Коб

Таблиця 2.4 - Прямі показники якості по каналу збурення-вихід із зміненими параметрами Коб

Показник якості	Коб=1.06	Коб=1.18	Коб=1.3
Статична похибка, Δст	0	0	0
Динамічна похибка, Δдин	0.68	0.75	0.82
Перерегулювання σ, %	0	0	0
Степінь затування, Ψ	1	1	1
Час перехідного процесу tпп, с	712	743	775

Обчислимо значення коефіцієнта чутливості як співвідношення відносної зміни показника якості і відносної зміни параметру ОУ.

$$K_{\text{чут}} = \frac{\frac{\text{Нове значення показника якості} - \text{Старе значення показника якості}}{\text{Старе значення показника якості}} * 100\%}{\frac{\text{Нове значення параметра} - \text{Старе значення параметра}}{\text{Старе значення параметра}} * 100\%}$$

$$K_{\text{чут } 1} = \left| \frac{\frac{0.68 - 0.75}{0.75} * 100\%}{\frac{1.06 - 1.18}{1.18} * 100\%} \right| = 0.92$$

$$K_{\text{чут } 2} = \left| \frac{\frac{0.82 - 0.75}{0.75} * 100\%}{\frac{1.3 - 1.18}{1.18} * 100\%} \right| = 0.92$$

САР буде вважатися малочутливою, якщо значення коефіцієнту чутливості не перевищує одиниці.

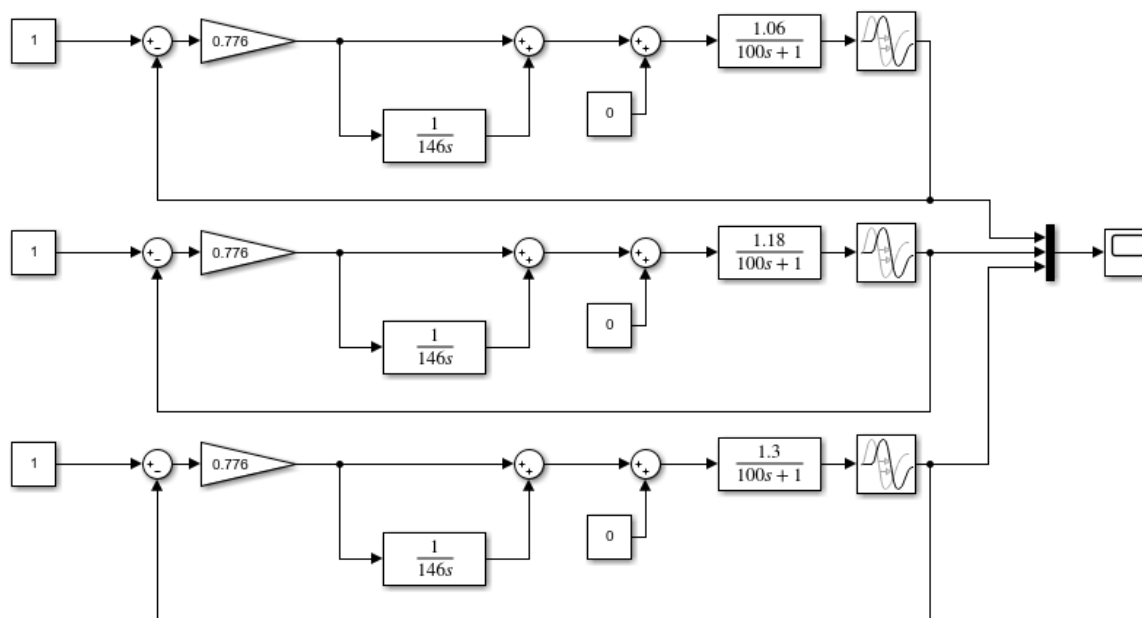


Рисунок 2.44 - Модель схеми по каналу завдання-вихід із зміненими параметрами Коб

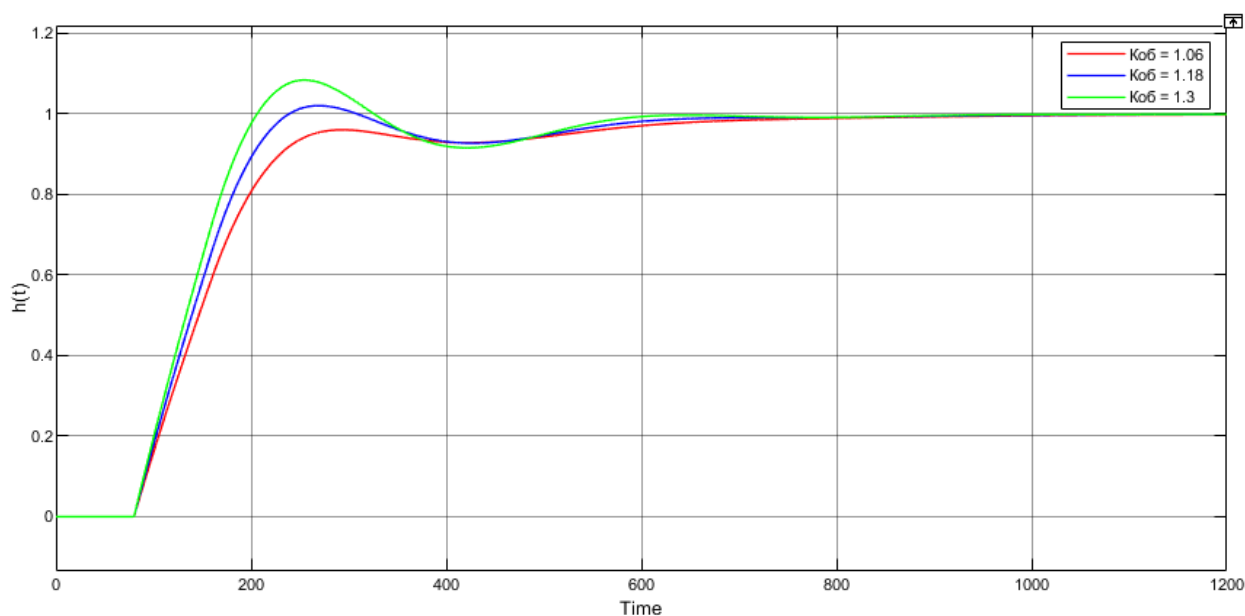


Рисунок 2.45 - Перехідна характеристика по каналу завдання-вихід із зміненими параметрами Коб

Таблиця 2.5 - Прямі показники якості по каналу завдання-вихід із зміненими параметрами Коб

Показник якості	Коб=1.06	Коб=1.18	Коб=1.3
Статична похибка, Δст	0	0	0
Динамічна похибка, Δдин	0	0.02	0.08
Перерегулювання σ, %	0	2	8
Степінь згасання, Ψ	1	1	1
Час перехідного процесу tпп, с	820	880	940

Обчислимо значення коефіцієнта чутливості як співвідношення відносної зміни показника якості і відносної зміни параметру ОУ.

$$K_{\text{чут}} = \frac{\frac{\text{Нове значення показника якості} - \text{Старе значення показника якості}}{\text{Старе значення показника якості}} * 100\%}{\frac{\text{Нове значення параметра} - \text{Старе значення параметра}}{\text{Старе значення параметра}} * 100\%}$$

$$K_{\text{чут } 1} = \left| \frac{\frac{0 - 0.02}{0.02} * 100\%}{\frac{1.06 - 1.18}{1.18} * 100\%} \right| = 9.8$$

$$K_{\text{чут } 2} = \left| \frac{\frac{0.08 - 0.02}{0.02} * 100\%}{\frac{1.3 - 1.18}{1.18} * 100\%} \right| = 29.5$$

САР буде вважатися малочутливою, якщо значення коефіцієнту чутливості не перевищує одиниці.

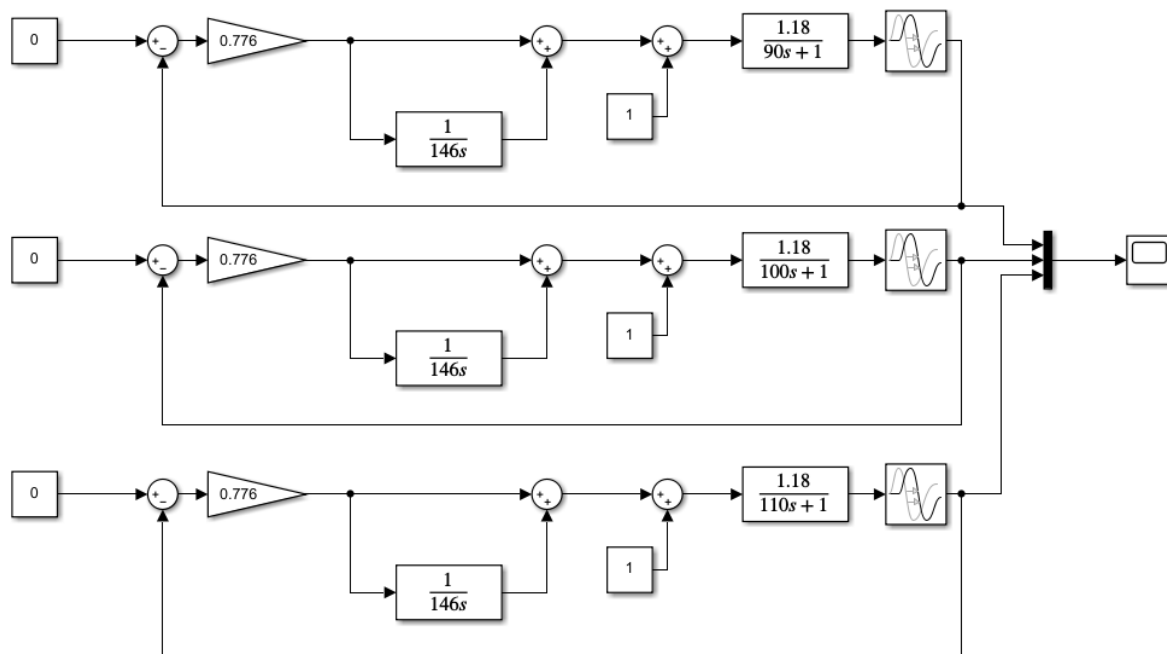


Рисунок 2.46 - Модель схеми по каналу збурення-вихід із зміненими параметрами $T_{об}$

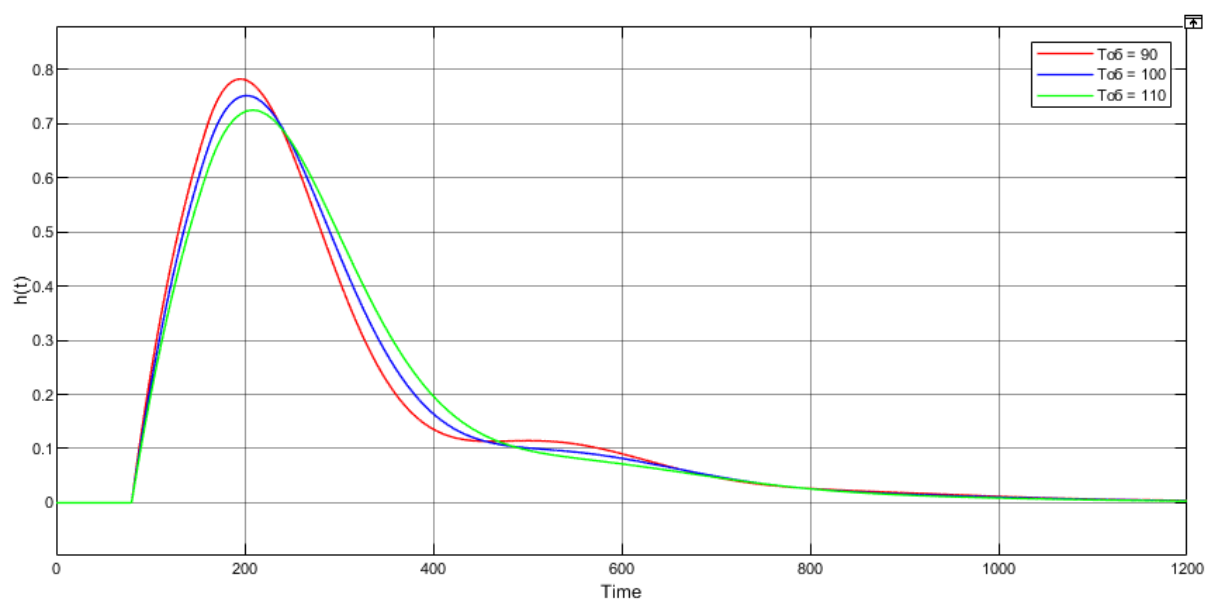


Рисунок 2.47 - Перехідна характеристика по каналу збурення-вихід із зміненими параметрами $T_{об}$

Таблиця 2.6 - Прямі показники якості по каналу збурення-вихід із зміненими параметрами $T_{об}$

Показник якості	$T_{об}=90$	$T_{об}=100$	$T_{об}=110$
Статична похибка, $\Delta_{ст}$	0	0	0
Динамічна похибка, $\Delta_{дин}$	0.78	0.75	0.72
Перерегулювання σ , %	0	0	0
Степінь затування, Ψ	1	1	1
Час перехідного процесу $t_{пп}$, с	748	743	738

Обчислимо значення коефіцієнта чутливості як співвідношення відносної зміни показника якості і відносної зміни параметру ОУ.

$$K_{\text{чут}} = \frac{\frac{\text{Нове значення показника якості} - \text{Старе значення показника якості}}{\text{Старе значення показника якості}} * 100\%}{\frac{\text{Нове значення параметра} - \text{Старе значення параметра}}{\text{Старе значення параметра}} * 100\%}$$

$$K_{\text{чут } 1} = \left| \frac{\frac{0.78 - 0.75}{0.75} * 100\%}{\frac{90 - 100}{100} * 100\%} \right| = 0.4$$

$$K_{\text{чут } 2} = \left| \frac{\frac{0.72 - 0.75}{0.75} * 100\%}{\frac{110 - 100}{100} * 100\%} \right| = 0.4$$

САР буде вважатися малочутливою, якщо значення коефіцієнту чутливості не перевищує одиниці.

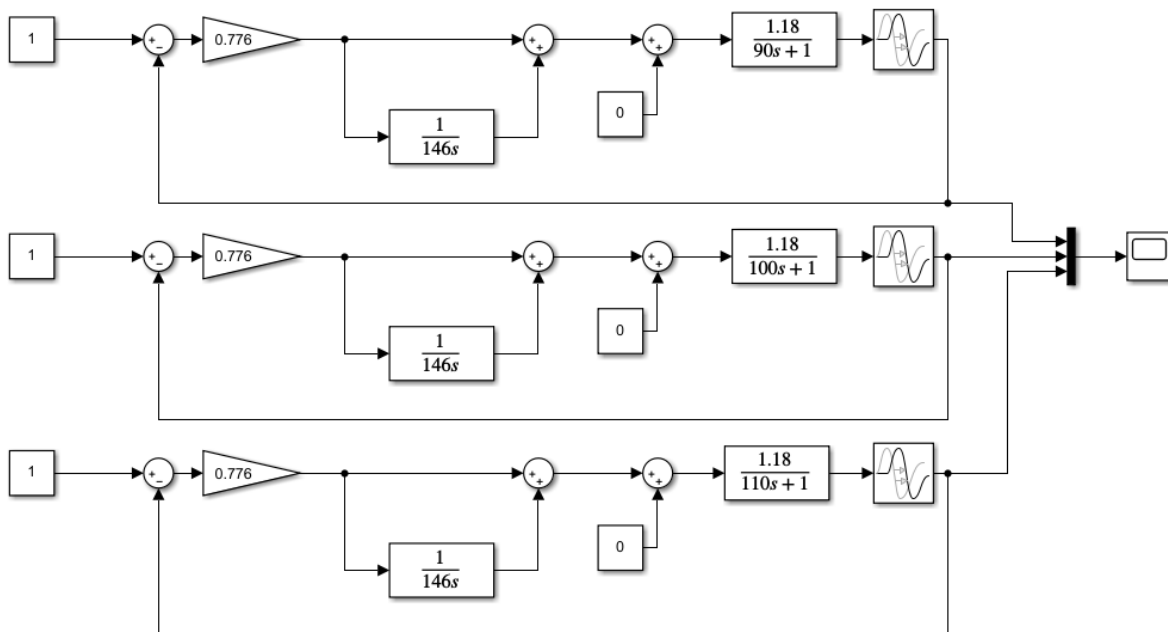


Рисунок 2.48 - Модель схеми по каналу завдання-вихід із зміненими параметрами $T_{об}$

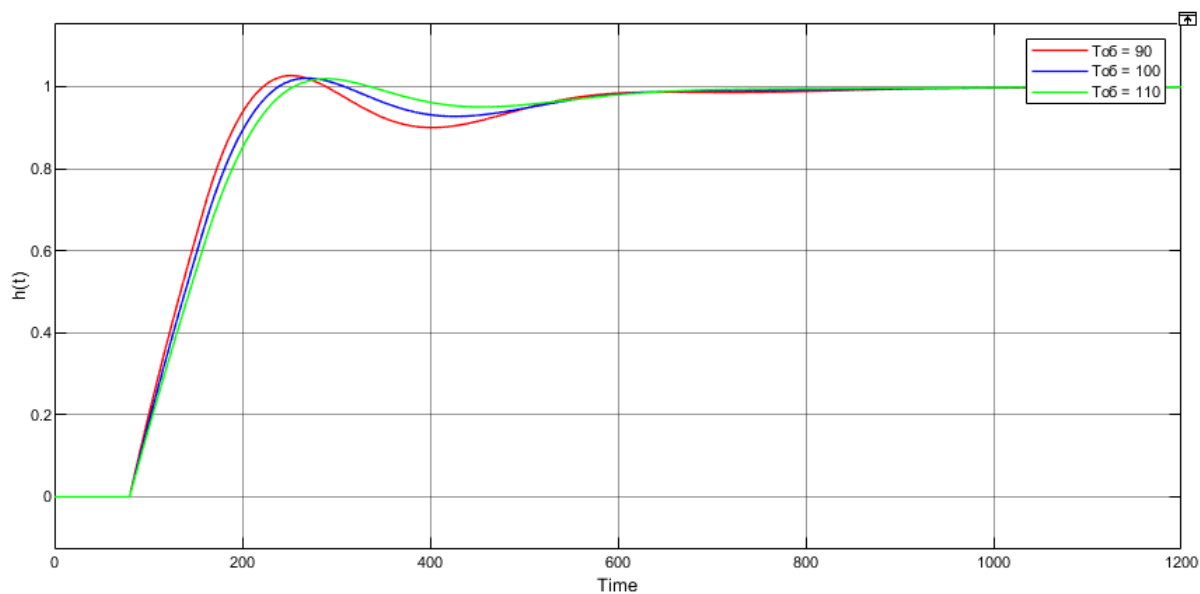


Рисунок 2.49 - Перехідна характеристика по каналу завдання-вихід із зміненими параметрами $T_{об}$

Таблиця 2.7 - Прямі показники якості по каналу завдання-вихід із зміненими параметрами Тоб

Показник якості	Тоб=90	Тоб=100	Тоб=110
Статична похибка, Δст	0	0	0
Динамічна похибка, Δдин	0.03	0.02	0.01
Перерегулювання σ, %	3	2	1
Степінь затухання, Ψ	1	1	1
Час перехідного процесу tпп, с	890	880	870

Обчислимо значення коефіцієнта чутливості як співвідношення відносної зміни показника якості і відносної зміни параметру ОУ.

$$K_{\text{чут}} = \frac{\frac{\text{Нове значення показника якості} - \text{Старе значення показника якості}}{\text{Старе значення показника якості}} * 100\%}{\frac{\text{Нове значення параметра} - \text{Старе значення параметра}}{\text{Старе значення параметра}} * 100\%}$$

$$K_{\text{чут}} = \left| \frac{\frac{0.03 - 0.02}{0.02} * 100\%}{\frac{90 - 100}{100} * 100\%} \right| = 5$$

$$K_{\text{чут}} = \left| \frac{\frac{0.01 - 0.02}{0.02} * 100\%}{\frac{110 - 100}{100} * 100\%} \right| = 5$$

САР буде вважатися малочутливою, якщо значення коефіцієнту чутливості не перевищує одиниці.

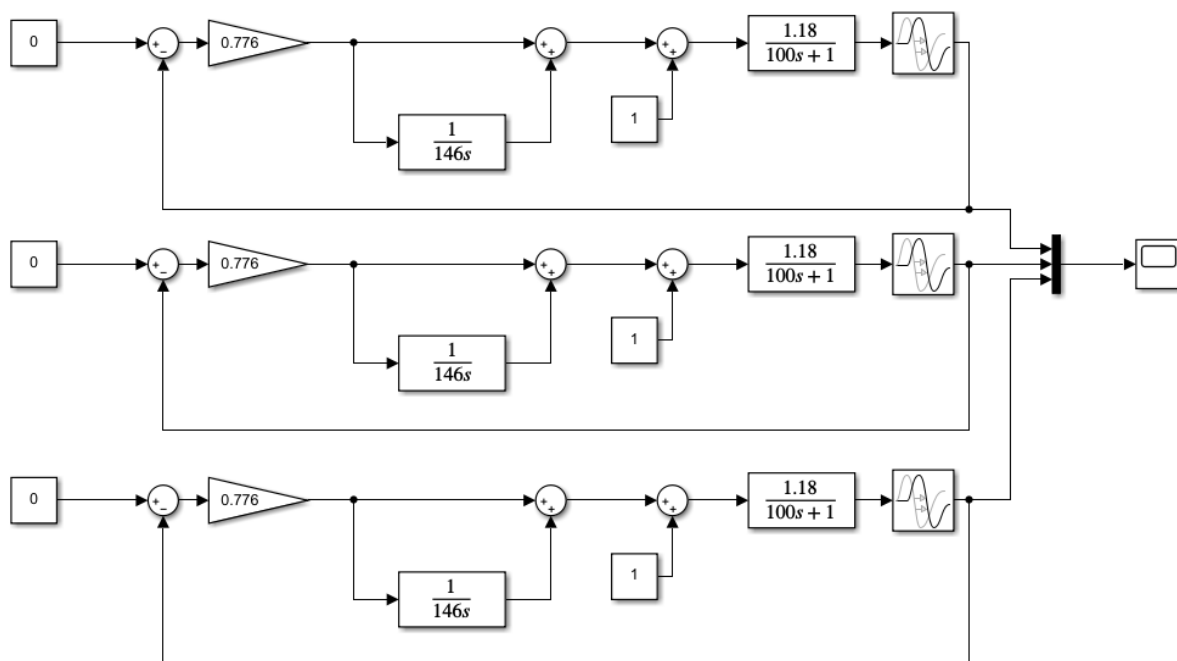


Рисунок 2.50 - Модель схеми по каналу збурення-вихід із зміненими параметрами τ

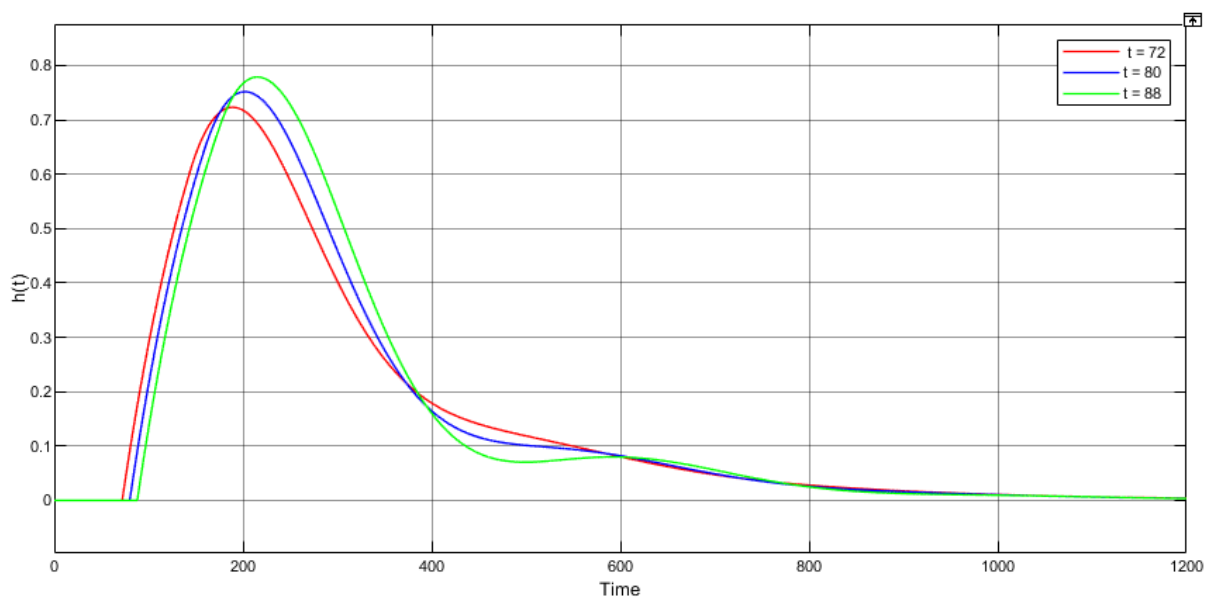


Рисунок 2.51 - Перехідна характеристика по каналу збурення-вихід із зміненими параметрами τ

Таблиця 2.8 - Прямі показники якості по каналу збурення-вихід із зміненими параметрами τ

Показник якості	$\tau=72$	$\tau=80$	$\tau=88$
Статична похибка, $\Delta_{ст}$	0	0	0
Динамічна похибка, $\Delta_{дин}$	0.72	0.75	0.78
Перерегулювання σ , %	0	0	0
Степінь затухання, Ψ	1	1	1
Час перехідного процесу $t_{пп}$, с	746	743	740

Обчислимо значення коефіцієнта чутливості як співвідношення відносної зміни показника якості і відносної зміни параметру ОУ.

$$K_{\text{чут}} = \frac{\frac{\text{Нове значення показника якості} - \text{Старе значення показника якості}}{\text{Старе значення показника якості}} * 100\%}{\frac{\text{Нове значення параметра} - \text{Старе значення параметра}}{\text{Старе значення параметра}} * 100\%}$$

$$K_{\text{чут } 1} = \left| \frac{\frac{0.72 - 0.75}{0.75} * 100\%}{\frac{72 - 80}{80} * 100\%} \right| = 0.4$$

$$K_{\text{чут } 2} = \left| \frac{\frac{0.78 - 0.75}{0.75} * 100\%}{\frac{88 - 80}{80} * 100\%} \right| = 0.4$$

САР буде вважатися малочутливою, якщо значення коефіцієнту чутливості не перевищує одиниці.

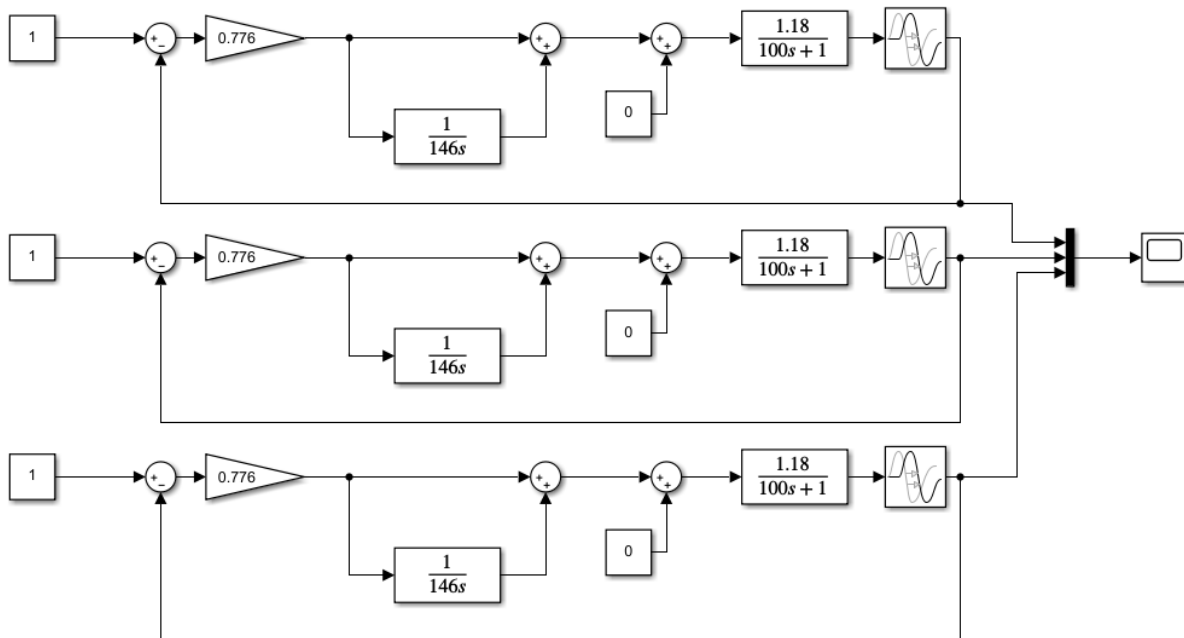


Рисунок 2.52 - Модель схеми по каналу завдання-вихід із зміненими параметрами τ

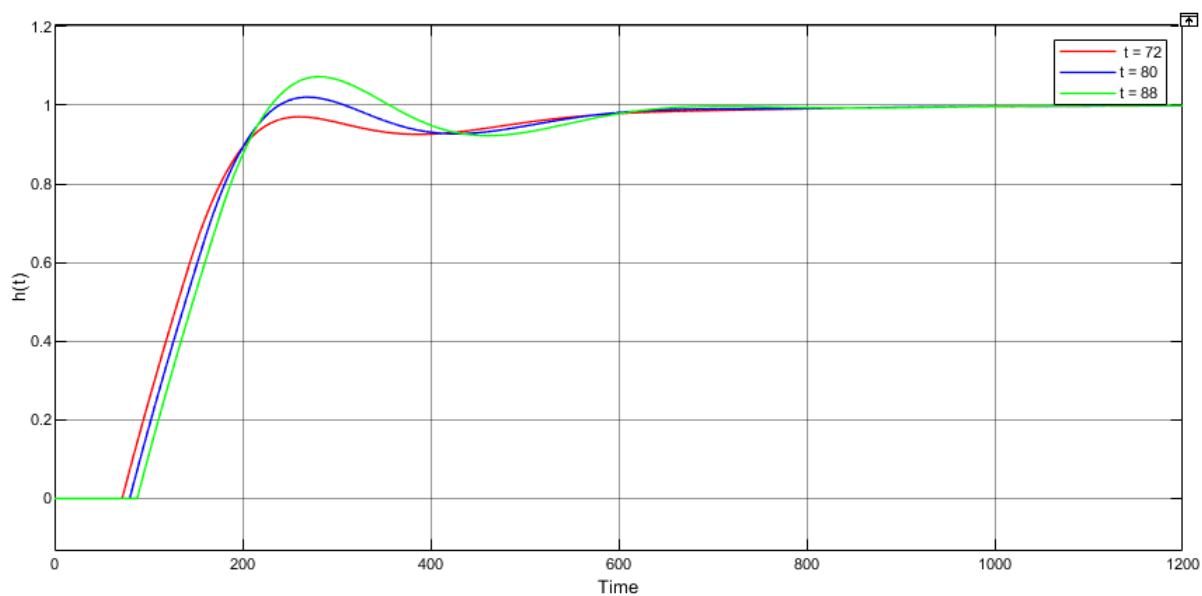


Рисунок 2.53 - Перехідна характеристика по каналу завдання-вихід із зміненими параметрами τ

Таблиця 2.9 - Прямі показники якості по каналу завдання-вихід із зміненими параметрами τ

Показник якості	$\tau=72$	$\tau=80$	$\tau=88$
Статична похибка, $\Delta_{ст}$	0	0	0
Динамічна похибка, $\Delta_{дин}$	0	0.02	0.07
Перерегулювання σ , %	0	2	7
Степінь затухання, Ψ	1	1	1
Час перехідного процесу $t_{пп}$, с	885	880	875

Обчислимо значення коефіцієнта чутливості як співвідношення відносної зміни показника якості і відносної зміни параметру ОУ.

$$K_{чут} = \frac{\frac{\text{Нове значення показника якості} - \text{Старе значення показника якості}}{\text{Старе значення показника якості}} * 100\%}{\frac{\text{Нове значення параметра} - \text{Старе значення параметра}}{\text{Старе значення параметра}} * 100\%}$$

$$K_{чут 1} = \left| \frac{\frac{0 - 0.02}{0.02} * 100\%}{\frac{72 - 80}{80} * 100\%} \right| = 10$$

$$K_{чут 2} = \left| \frac{\frac{0.07 - 0.02}{0.02} * 100\%}{\frac{88 - 80}{80} * 100\%} \right| = 25$$

САР буде вважатися малочутливою, якщо значення коефіцієнту чутливості не перевищує одиниці.

2.2.10 Висновки щодо роботоздатності РВК САР

Роботоздатність одноконтурної САР температури води на виході з котла оцінюємо по таких критеріях:

1. Якість регулювання

Якість регулювання один з найважливіших параметрів, якій визначає роботоздатність РВК САР. Вона відповідає за точність та швидкість переходу системи від одного стану до іншого під впливом зовнішніх вхідних сигналів, що є ключовим для правильної роботи САР.

У каналі завдання-вихід, ми бачимо невеликий динамічний викид та нульову статичну похибку, а час перерегулювання складає близько 900 секунд, що є хорошим результатом, який показує, що система регулюється добре.

2. Чутливість прямих показників якості перехідних процесів в замкненій САР до параметричних збурень

Параметричні збурення ОУ впливають на перехідні процеси в замкненій САР. Якщо відповідь системи на збурення занадто сильна, то це призведе до нестабільності САР. Для визначення чутливості провели розрахунок чутливості, який показав, що чутливість не вплине кардинально на працездатність системи.

3. Надійність функцій САР

Надійність функцій САР показує час безвідмовної роботи або час відновлення працездатності системи після аварійних ситуацій. Для САР температури води на виході з котла схеми надійності є послідовні, що означає при відмові хоча б одного елементу перестане працювати вся система. Такий метод є не надійним, але більш економічно вигідним. Час відновлення роботи системи складає менше ніж 4 годин. Цей результат є задовільним, так як за цей період приміщення не вистигне сильно охолонути та не потрібно буде евакуйовувати персонал.

					ТА-91391.0007.001.АТХ.П	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3 ОПИС ГРАФІЧНОЇ ЧАСТИНИ ПРОЕКТУ

3.1 Схема функціональна автоматизації ТОВ

Схема функціональна автоматизації твердопаливного водогрійного котла в тренажерному залі зображує приміщення тренажерного залу, у якому розміщений твердопаливний котел з двома контурами. Один контур для гарячого водопостачання, другий для опалення. Котел оснащений автоматичною подачею палива та автоматичним очищенням зольної камери.

Дана система має три системи автоматичного регулювання:

1. Система контролю температури на виході з котла, яка представлена вимірювальним каналом у вигляді датчика температури (поз. 1а), який встановлений на трубі опалення відразу після котла для більш точного вимірювання температури. Сигнал з датчика передається на ПЛК, де після опрацювання дає сигнал на виконавчий механізм, який представлений електромотором (поз. 1в), який обертає шнек, що транспортує паливо із бункера з паливом до камери згорання. За регулювання швидкості обертання мотора відповідає частотний перетворювач (поз. 1б), який змінює частоту струму, що подається на мотор.
2. Система контролю тиску повітря, що нагнітається в камеру згорання представлена вимірювальним каналом у вигляді датчика тиску (поз. 2а), який встановлений на повітропроводі для більш точного виміру тиску. Сигнал, який ПЛК отримує від датчика тиску опрацьовується та передається на виконавчий механізм, який представлений дуттєвим вентилятором (поз. 2в), що нагнітає повітря у камеру згорання для кращого горіння. За регулювання тиску повітря, що нагнітається вентилятором, відповідає частотний перетворювач (поз. 2б), що змінює частоту струму для вентилятора, тим самим змінює частоту його обертання.
3. Система контролю розрідження в камері згорання, яка представлена датчиком розрідження (поз. 3а), встановленим в камері згорання для точного вимірювання значень. Сигнал, який передається від датчика розрідження на ПЛК, опрацьовується та передається на виконавчий механізм, що представлений димососом (поз. 3в), який створює тягу.

					ТА-91391.0007.001.АТХ.П	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За регулювання швидкості обертання мотору в димососі відповідає частотний перетворювач (поз. 3б), який змінює частоту струму, що подається на димосос.

Також в системі опалення присутні такі елементи вимірювання, як датчик температури зворотної води (поз. 4а), який призначений для більш точного регулювання та контролю температурами. Датчик тиску (поз. 9а), який призначений для контролю тиску води в системі. Він встановлюється відразу після циркуляційних насосів (поз. 21б, 22б), які керуються дискретно за допомогою контактора (поз. 18а, 19а). Для коректної роботи циркуляційних насосів встановлений датчик перепаду тиску (поз. 10а), який у разі спрацювання буде означати про відмову роботи системи насосів або проблему із ними.

Для забезпечення безпечної роботи димососа на димопроводі встановлений датчик температури димових газів (поз. 6а), який визначає температуру, яка є безпечною для роботи димососа.

Оскільки система регулювання температурою води на виході з котла є погодозалежною, то на зовнішній стороні стіни під накриттям встановлений датчик температури повітря навколишнього середовища (поз. 8а), який впливає на регулювання. Також у приміщенні встановлений датчик температури повітря (поз. 7а) для більш точного регулювання.

Система автоматичної подачі палива починається з бункера з паливом, який розташований у зручному місці для завантаження палива у великих об'ємах. На бункері з паливом встановлено датчик верхнього та нижнього рівня палива (поз. 13а, 14а). Датчик верхнього рівня показує рівень завантаження палива, якщо процес проходить під час завантаження із машини, коли відсутній зоровий контакт. Датчик нижнього рівня оснащений сигналізацією, яка повинна показувати та повідомляти про закінчення палива та необхідність його поповнення. Наступний крок, це транспортування палива через шнековий транспортер, у якому встановлений датчик температури палива (поз. 5а), який оснащено сигналізацією, яка повинна показувати різке підвищення температури, що означає загоряння палива в шнековому транспортері.

Система автоматичного очищення зольної камери представлена електромотором (поз. 19б), який обертає шнек, що транспортує золу до зольної камери. Електромотор вмикається періодично та керується дискретно за допомогою контактора (поз. 16а). Бункер із золою оснащений

					ТА-91391.0007.001.АТХ.П	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

датчиком верхнього рівня (поз. 15а) із сигналізацією, який показує, що бункер потрібно очистити.

Гаряче водопостачання та підживлення контуру опалення бере свій початок від центрального холодного водопостачання. Для контролю витрати води встановлений витратомір води (поз. 12а), який вимірює затрачену воду на підживлення контуру опалення, холодне та гаряче водопостачання приміщення. Гаряче водопостачання також веде свій контроль витрати води за допомогою витратоміра води (поз. 11а).

Контур гарячого водопостачання має свій циркуляційний контур із циркуляційним насосом (поз. 20б), який керується дискретно за допомогою контактора (поз. 17а), для забезпечення гарячої води відразу на подачі. За регулювання комфортної температури води для гарячого водопостачання встановлений триходовий термозмішувальний клапан, який керується електроприводом (поз. 30а).

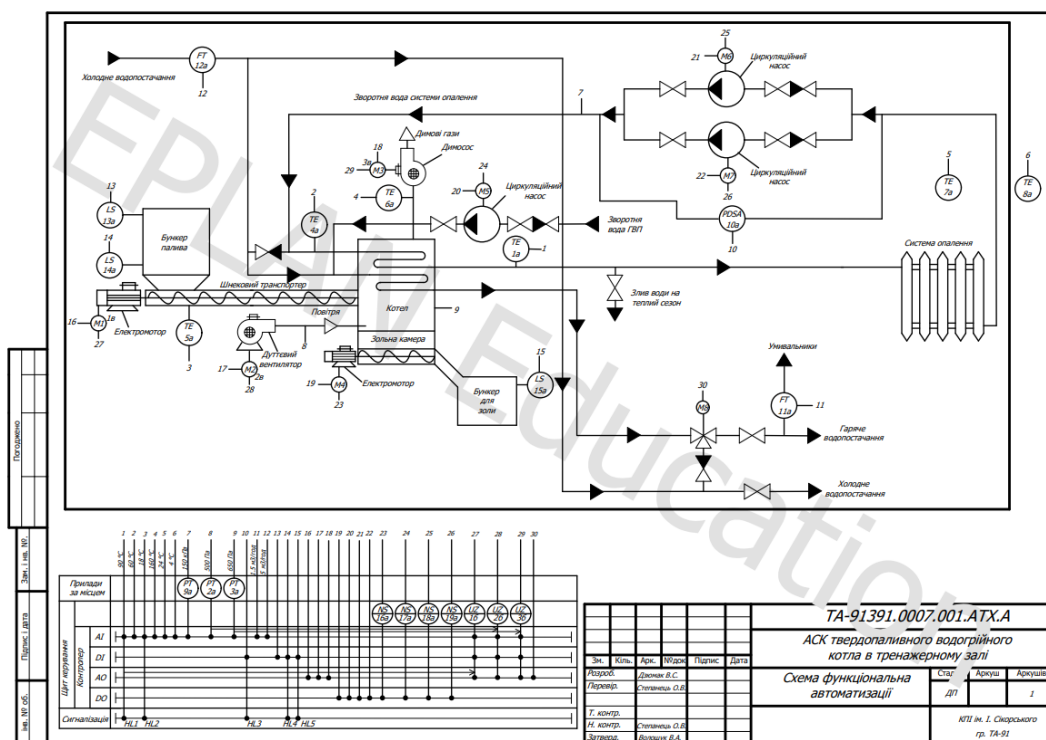


Рисунок 3.1 - Функціональна схема автоматизації твердопаливного водогрійного котла в тренажерному залі

3.2 Схема структурна ПТК

Схема структурна програмно-технічного комплексу зображує у собі дворівневу структуру. На нижньому рівні знаходяться вимірювальна апаратура та виконавчі механізми.

Схема структурна програмно-технічного комплексу для твердопаливного водогрійного котла в тренажерному залі зображений на рисунку 3.2.

До вимірювальної апаратури та виконавчих механізмів на даній схемі відносяться:

- SB1 - кнопка запуску системи;
- SB2 - кнопка зупину системи;
- HL1-HL5 - лампочки сигналізації або сповіщення;
- B1-B15 - вимірювальна апаратура;
- FK1-FK3 - частотні перетворювачі струму;
- KM1-KM4 - контактори;
- M1-M8 - мотори, вентилятори, насоси та електропривід.

Вся вимірювальна апаратура та виконавчі механізми підключаються до ПЛК або до модуля розширення, який підключений до ПЛК через шину CAN.

Другий рівень представляє собою SCADA - систему Indusoft Web Studio, яка підключається до ПЛК через Ethernet.

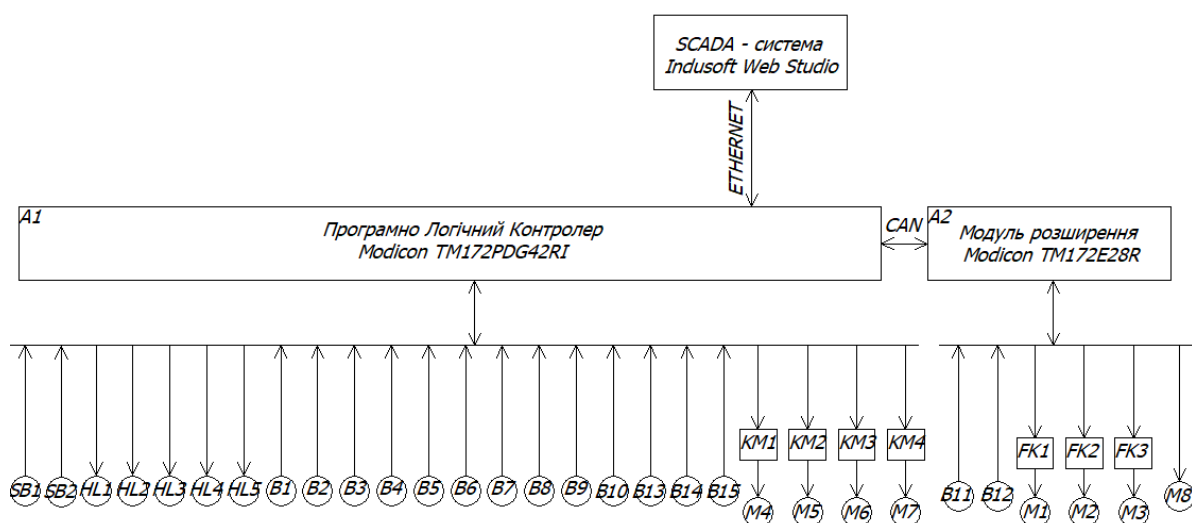


Рисунок 3.2 - Схема структурна ПТК

3.3 Схема принципова електрична АСР

Електрична принципова схема - це графічне зображення електричної системи, яке використовує символи та лінії для показу зв'язків між різними електричними компонентами.

Електрична принципова схема відображає основні компоненти системи та їх взаємозв'язки, включаючи джерела живлення, резистори, конденсатори, індуктивності, перемикачі, транзистори, операційні підсилювачі, мікросхеми тощо. Символи, використані в схемі, мають стандартизовані значення і допомагають інженерам та технікам зрозуміти і розробити принципову схему.

Головна мета електричної принципової схеми - передати важливі деталі системи та їх взаємозв'язки, щоб спростити розуміння та аналіз електричних кіл та систем. Вона допомагає інженерам планувати, проектувати, будувати та обслуговувати електричні системи шляхом візуального відображення їх структури та функцій.

Схема на рисунку 3.3 починається із шини живлення, яка має три фази (L1-L3), нейтраль (N) та захисне заземлення (PE). Від даної шини живиться вся система, тому на початку встановлений силовий автоматичний вимикач (QF1).

За перетворення напруги у 24В відповідає блок живлення (GB1), який підключений через автоматичний вимикач (QF5). На виході блок живлення має дві клеми підключення 0В та 24В.

На схемі зображені модуль розширення (A2) та ПЛК (A1), які відповідають за управління всією системою. Живляться елементи від 24В від блока живлення. ПЛК має 42 дискретних та аналогових входи/виходи, а модуль розширення додає 28 дискретних та аналогових входів/виходів.

До дискретних виходів ПЛК підключено чотири контактори (KM1-KM4), які відповідають за керування циркуляційними насосами (M5-M7) та електромотору очищення золи (M4), які живляться від шини живлення, через автоматичні вимикачі (QF6-QF9). Також до виходів під'єднані сигналізаційні лампочки (HL1-HL5), які живляться від блока живлення. Дискретні входи ПЛК відповідають за реле перепаду тиску (B10), кнопку запуску (SB1), кнопку зупинки системи (SB2) та датчики рівня у бункері палива та золи (B13-B15), які мають трипровідну схему підключення.

					ТА-91391.0007.001.АТХ.П	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

До аналогових входів ПЛК підключаються датчики температури (В1-В4) за двопровідною схемою, датчики температури повітря в приміщенні та на вулиці (В5-В6), які мають двопровідну схему підключення, що живляться від 24В блока живлення, датчики тиску (В7-В9), які мають двопровідну схему підключення та живляться від 24В блока живлення та ПЛК.

До аналогових входів модуля розширення підключені датчики витрати води (В11-В12), які мають двопровідну схему підключення та електропривід (М8), що обертає триходовий змішувальний клапан для підмішування холодної води. Електропривід має чотири жили підключення, дві жили відповідають за живлення та дві за керування та регулювання.

САР температурою води на виході з котла представляє собою ряд елементів. Починається ланцюжок від датчика температури води на виході з котла (В1), сигнал від якого передається на ПЛК, де опрацьовується та передається через виходи модуля розширення на частотний перетворювач (FK1), який живиться від шини живлення, яке проходить через силовий автоматичний вимикач (QF2). Живлення від частотного перетворювача передається на електромотор (М1), який керується за рахунок зміни частоти струму, що подається на нього.

САР тиску повітря, що нагнітається в камеру згорання представляє собою ряд елементів. Починається ланцюжок від датчика тиску (В7), сигнал від якого передається на ПЛК, де опрацьовується та передається, через виходи модуля розширення на частотний перетворювач (FK2), який живиться від шини живлення, яке проходить через силовий автоматичний вимикач (QF3). Живлення від частотного перетворювача передається на дуттєвий вентилятор (М2), який керується за рахунок зміни частоти струму, що подається на нього.

САР розрідження в камері згорання представляє собою ряд елементів. Починається ланцюжок від датчика тиску (В8), сигнал від якого передається на ПЛК, де опрацьовується та передається через виходи модуля розширення на частотний перетворювач (FK3), який живиться від шини живлення, яке проходить через силовий автоматичний вимикач (QF4). Живлення від частотного перетворювача передається на димосос (М3), який керується за рахунок зміни частоти струму, що подається на нього.

					ТА-91391.0007.001.АТХ.П	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

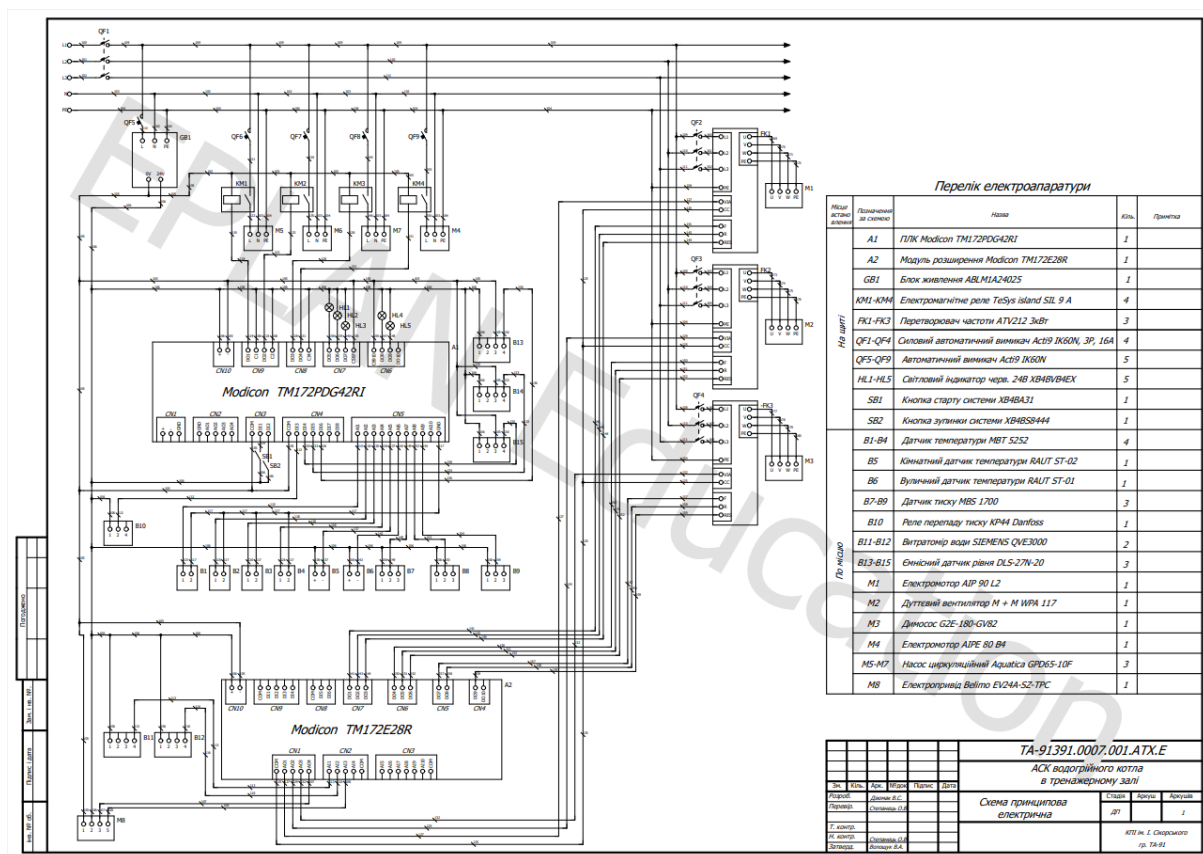


Рисунок 3.3 - Схема принципова електрична підключення елементів АСУ твердопаливного водогрійного котла в тренажерному залі

3.4 Креслення загального виду щита

Креслення загального виду щита на рисунку 3.4 має у собі дві частини креслення, фасад та монтажний бік. Креслення виконане у масштабі (1:10).

Фасад показує закритий щит автоматизації, який має розміри: висота - 1000 мм, ширина - 600 мм та глибина - 300 мм. Цих розмірів щита цілком достатньо, щоб розмістити в ньому всі елементи задіяні у автоматизації. На фасадній стороні щита розміщені лампочки сигналізації, кожна з яких відповідає за свою проблему:

- HL1 - сигналізація про перевищення температури води на виході з котла;
- HL2 - сигналізація про перевищення температури палива в шнековій камері (спалахування палива в шнековій камері);
- HL3 - сигналізація про перепад тиску води на циркуляційних насосах (можлива поломка або відмова насосної групи);

- HL4 - сигналізації від датчика нижнього рівня в бункері з паливом;
- HL5 - сигналізації від датчика верхнього рівня у бункері для золи.

Також на фасаді щита розміщена кнопка SB1, яка відповідає за запуск. Та кнопка SB2, яка відповідає за зупинку системи, яка потрібна для аварійних зупинок для персоналу, які не мають доступу до середини щита.

Монтажний бік щита автоматизації фактично показує щит із відкритими дверцятами на якому видно розміщення всіх елементів щита автоматизації.

На монтажній стінці щита встановлена металева пластина розмірами 950x560 до якої будуть прикріплюватися всі елементи. На щиті розміщено чотири DIN рейки (P1-P4) з елементами на них. По краях та між рейками розміщені кабельканалний короб розмірами 40x60, він потрібен для зручного та акуратного розміщення проводів на щиті.

На першій рейці розміщені: блок живлення (GB1), ПЛК (A1), модуль розширення (A2) та контактори (KM1-KM4) для дискретного керування циркуляційними насосами та електромотором для системи очищення зольної камери.

На другій рейці розміщені автоматичні вимикачі (QF1-QF9) для вимикання всіх елементів системи.

На третій рейці розміщені частотні перетворювачі (FK1-FK3). Кожен перетворювач в процесі роботи може нагріватися, тому між ними зроблений простір.

Четверта рейка призначена для силових (XT1) та прохідних (XT2) клем. Оскільки всі зовнішні елементи, що підключаються до щита підведені знизу та повинні підключатися через клема, це оптимальне рішення для зручного та акуратного підключення елементів.

Всі елементи на рейках не є зафіксованими, тому можуть ковзати вздовж рейки. Для запобігання цього всі елементи з боків фіксуються фіксаторами.

					ТА-91391.0007.001.АТХ.П	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

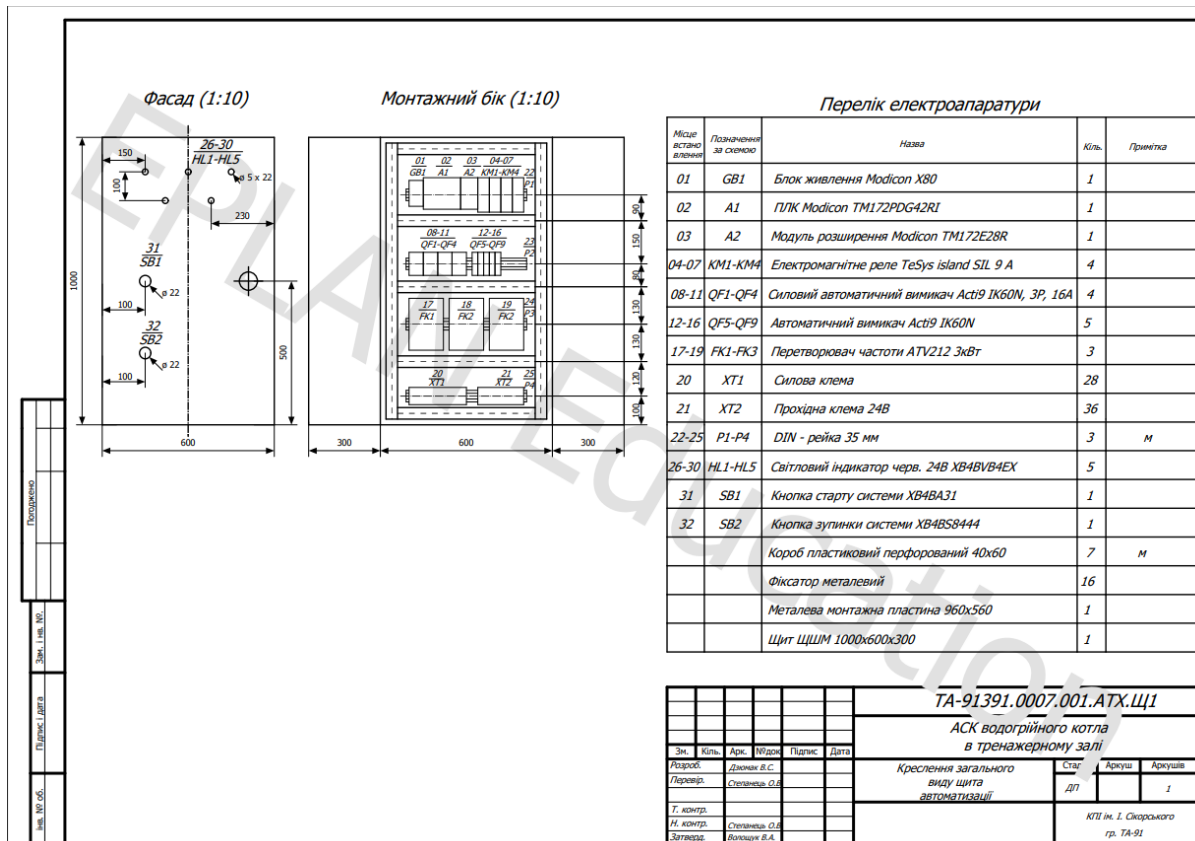


Рисунок 3.4 - Креслення загального виду щита автоматизації для АСУ твердопаливного водогрійного котла в тренажерному залі

3.5 Схема монтажна щита (таблиця з'єднань)

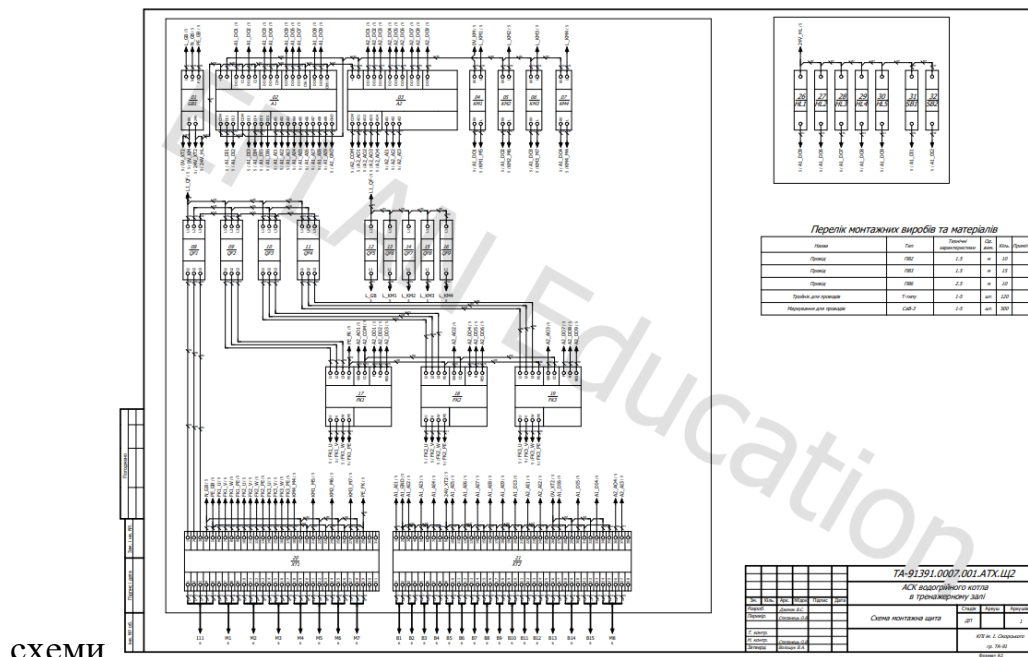
Схема монтажного щита є планом, який відображає розташування та з'єднання електричних компонентів у монтажному щиті. Ця схема містить інформацію про місцезнаходження ключових компонентів, автоматичних вимикачів, контакторів, реле, блоків живлення, кабелів, датчиків та інших елементів.

Основна мета схеми монтажного щита - забезпечити ефективний та безпечний контроль над електричними системами та забезпечити доступ до компонентів для їх обслуговування, налагодження та ремонту.

Схема монтажного щита дозволяє електрикам та технікам легко зрозуміти, як збірка електричних компонентів повинна бути підключена та які з'єднання використовуються для забезпечення належного функціонування системи. Вона також надає операторам інформацію про те, які компоненти контролювати та які процедури виконувати у випадку проблем.

Загалом, схема монтажного щита є важливим інструментом для електриків та техніків з метою ефективного управління та обслуговування електричних систем.

Зовнішні елементи, такі як вимірювальна апаратура та виконавчі механізми, підключаються через клема, розташовані у нижній частині



схеми.

Рисунок 3.5 - Схема монтажна щита АСУ твердопаливного водогрійного котла в тренажерному залі

3.6 Схема зовнішніх з'єднань

Схема зовнішніх з'єднань демонструє, як саме елементи системи з'єднуються з щитом керування та якими проводами виконується це з'єднання.

Кожен елемент на схемі вказує, у якому середовищі він функціонує, де він знаходиться та які параметри вимірює або керує.

На рисунку 3.6 схематично показано, які саме кабелі використовуються для підключення елемента і яка кількість жил або товщина кабелю була використана для з'єднання.

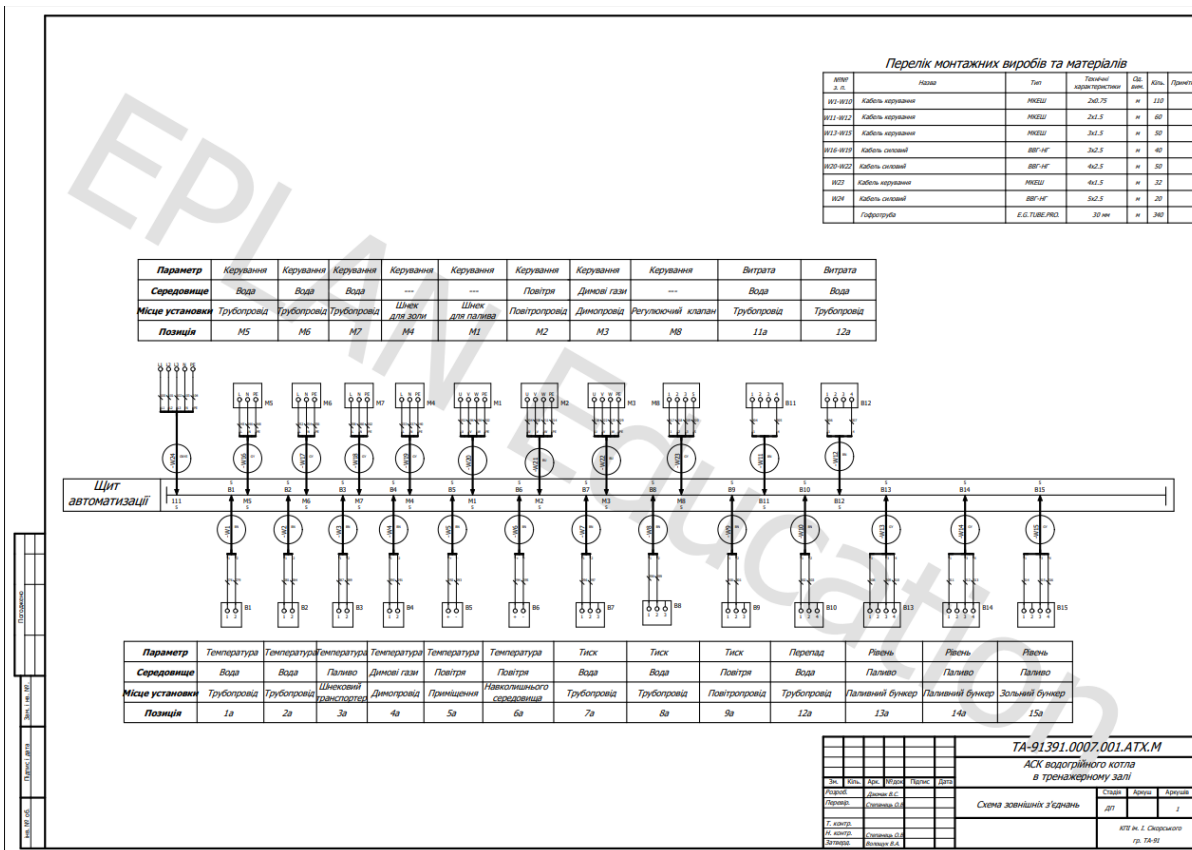


Рисунок 3.6 - Схема зовнішніх з'єднань датчиків та виконавчих механізмів АСУ твердопаливним котлом в тренажерному залі

3.7 Специфікація обладнання

Специфікація обладнання - це документ, який описує деталі технічних характеристик та вимог до конкретного обладнання, яке використовується для проектування системи. Специфікація обладнання зазвичай містить інформацію про розміри, масу, матеріали, потужність, витрати енергії, точність та інші технічні параметри.

Специфікація обладнання є важливим інструментом при розробці проектів, виготовленні та встановленні обладнання. Вона є основою для виробничого процесу та забезпечує відповідність продукції вимогам клієнта та стандартам якості.

Наприклад, специфікація обладнання може визначати вимоги до тисків, температури та інших параметрів для обладнання, яке використовується для контролю параметрів. Також вона може вказувати деталі щодо електричної безпеки, механічних властивостей та інших факторів, які впливають на якість та безпеку системи.

Специфікація поділяється на розділи:

1. Прилади

- В1-В4 - датчики температури води на виході з котла, температури зворотної води, температури в шнековій камері та температурі димових газів. Для вимірювання даних параметрів був обраний датчик температури MBT 5252 від компанії Danfoss. Він має діапазон вимірювання (-50...200) °С. Даний датчик є недорогим відносно аналогів та доступним на українському ринку. Також має хорошу документацію. Клас точності даного датчика складає 0.3, що цілком достатньо для наших вимірювань.
- В5 - датчик температури повітря в кімнаті. Для вимірювання даного параметра був обраний датчик температури ST-2 від компанії RAUT automatic. Дана модель має пластиковий корпус та призначений для вимірювання температури в приміщенні. Датчик має діапазон вимірювання (0...40) °С.
- В6 - датчик температури повітря навколишнього середовища. Для вимірювання даного параметру була обрана модель ST-1 від компанії RAUT automatic. Дана модель має металевий корпус, який захищає від прямого сонячного проміння та має захист від пилу. Датчик має діапазон вимірювання (-30...50) °С.
- В7-В9 - датчик тиску повітря, що нагнітається дуттєвим вентилятором, датчик тиску води в системі опалення та датчик розрідження в камері згорання. Для вимірювання даних параметрів був обраний датчик тиску MBS 1700 від компанії Danfoss. Він має діапазон вимірювання (0-10) бар. Даний тип датчика підходить для різних середовищ та є доступним на українському ринку, має зручну та зрозумілу для користувача документацію. Клас точності даного датчика складає 0.05, чого цілком достатньо для регулювання та вимірювання.
- В10 - реле перепаду тиску, для фіксації перепаду тиску до та після циркуляційних насосів. Для виконання даної задачі було обрано реле перепаду тиску KP 44 від компанії Danfoss. Дана модель підходить для виконання даної задачі, має зручну та доступну документацію.
- В11-В12 - витратомір води. Для вимірювання даного параметру була обрана модель QVE3000.010 від компанії Siemens. Даний датчик підходить для виміру витрати як гарячої, так і холодної води.
- В13-В15 - датчики рівня. Для виміру рівня палива та золи, була обрана модель DLS-27N-20 від компанії Dinel. Датчик підходить для сипучих сухих або злегка липких речовин.

					ТА-91391.0007.001.АТХ.П	Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- HL1-HL5 - червоні світлові індикатори сигналізації від компанії Schneider Electric з діаметром 22 мм та живленням від 24В [14].
- SB1 - кнопка для старту системи від компанії Schneider Electric із живленням від 24В [15].
- SB2 - кнопка для зупинки системи від компанії Schneider Electric із живленням від 24В.

2. Комплекси технічних засобів

- GB1 - для заживлення всієї апаратури був обраний блок живлення від компанії Schneider Electric на 24В, модель ABLM1A24025.
- A1 - програмований логічний контролер був обраний з великою кількістю входів та виходів 42, для підключення датчиків. Модель ПЛК була обрана Modicon TM172 PDG42RI, від компанії Schneider Electric.
- A2 - модуль розширення для компенсації нестачі входів та виходів на ПЛК була обрана модель Modicon TM172E28R, від компанії Schneider Electric, який додає 28 входів та виходів.
- KM1-KM4 - контактори, пускачі для циркуляційних насосів та електромотора, що очищає зольну камеру. Для даної задачі були обрані контактори від компанії Schneider Electric [16].
- FK1-FK3 - перетворювачі частоти від компанії Schneider Electric для контролю частоти обертання електромотором, що відповідає за подачу палива, дуттєвим вентилятором, що нагнітає повітря в камеру згорання та димососом.
- QF1-QF4 - силові автоматичні вимикачі призначені для ручного вимкнення всієї системи, дуттєвого вентилятора, димососа та електромотора подачі палива. Для вимкнення трьох фаз підключення було обрано силовий вимикач від компанії Schneider Electric, марки A9K23316 [17].
- QF5-QF9 - автоматичний вимикач однопровідний для ручного вимкнення живлення системи, циркуляційних насосів та електромотора, що відповідає за очистку зольної камери. Для даної задачі була обрана модель вимикача A9K23125 від компанії Schneider Electric [18].

3. Щит і пульти

- P1-P4 - DIN рейка висотою 35мм, призначення для кріплення всієї апаратури на щиті управління.
- XT1 - силова клема від компанії Schneider Electric для підключення силової апаратури та живлення.

					ТА-91391.0007.001.АТХ.П	Арк.
						86
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- XT2 - прохідні клеми від компанії Schneider Electric для підключення вимірювальної апаратури та керування виконавчими механізмами.
 - Короб пластиковий перфорований призначений для прокладки проводів всередині щита управління, розмірами 40х60.
 - Фіксатори металеві від компанії Schneider Electric, призначені для фіксації елементів на DIN рейці.
 - Металева монтажна пластина, яка монтується на стінку щита для подальшого монтажу всіх елементів на неї, розмірами 960х560, від компанії Hager.
 - ЩИТ ЩШМ металевий шкаф, у який монтуються всі елементи щита керування. Розміри щита 1000х600х300, від компанії Hager.
4. Трубопровідна арматура
- M8 - електропривід для регулювання триходовим термодіафрагмою для підмішування холодної води. Для регулювання клапаном був обраний виконавчий механізм - електропривід марки EV24A-SZ-TPC, від компанії Belimo.
5. Кабелі і дроти
- W1-W10 - кабель керування двожильний з перерізом 0.75 для підключення датчиків температури, типу МКЕШ.
 - W11-W12 - кабель керування типу МКЕШ, для підключення витратомірів води, двожильний з перерізом 1.5.
 - W13-W15 - кабель керування для підключення датчиків рівня, трьохжильний з діаметром розрізу 2.5, типу МКЕШ.
 - W16-W19 - кабель силовий для підключення живлення до циркуляційних насосів та електромотора з перерізом 2.5 трьохжильний, типу ВВГ-нг.
 - W20-W22 - кабель силовий типу ВВГ-нг для живлення дуттєвого вентилятора, електромотора подачі палива та димососа. Діаметр перерізу 2.5, трьохжильний.
 - W23 - кабель керування для підключення електроприводу по чотирьох провідній схемі, проводами з перерізом 1.5, типу МКЕШ.
 - W24 - кабель силовий до щита живлення типу ПРП п'ятижильний з перерізом 2.5.
 - Гофротруба - призначена для прокладки кабелів від щита до елементів, захищаючи їх від фізичного впливу та забрудненості.
 - Провід ПВ2 - провід з перерізом 1.5 призначений для з'єднання елементів всередині щита керування.

					ТА-91391.0007.001.АТХ.П	Арк.
						87
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Провід ПВЗ - провід з перерізом 1.5 призначений для з'єднання елементів всередині щита.
- Провід ПВ6 - провід з перерізом 2.5 призначений для заживлення елементів всередині щита.
- Маркування для проводів представлене маленькими кліпсами з номерками, які кріплять на провід для позначення номера даного приводу згідно документації.

					ТА-91391.0007.001.АТХ.П	Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4 ПРОГРАМУВАННЯ ПТКЗА

4.1 Програмування функціональності ПЛК

Програмування функціональності ПЛК має на меті розробку програмного забезпечення для програмування програмованого логічного контролера, що управляє функціональністю котла. Це включає створення алгоритмів, логіки та управління різними аспектами роботи котла, такими як регулювання температури, нагнітання палива, циркуляція контурів опалення та гарячого водопостачання та інші функції. Програмування функцій безпеки і автоматичного відключення для запобігання небезпечним ситуаціям, таким як перегрів, перевищення допустимих параметрів, аварійні ситуації та інші небезпеки, що можуть виникнути під час роботи котла. Налаштування параметрів ПЛК для оптимального енергоефективного режиму роботи котла. Це включає розробку алгоритмів регулювання, розрахунок оптимальних значень параметрів та виконання налаштувань, щоб забезпечити оптимальне споживання палива та ефективність роботи котла.

Програмування ПЛК Modicon M172 здійснюється в середовищі Schneider Electric EcoStruxure Machine Expert - HVAC, яке підтримує мови програмування згідно з IEC61131-3. Зважаючи на однакові принципи програмування промислових IDE, продемонструємо структуру прикладного програмного забезпечення на прикладі середовища програмування CODESYS.

Для одноконтурної системи контролю температури води на виході з котла було створено функціональний ПІ-регулятор та принцип роботи, який зображений на рисунку 4.1. Принцип такої системи полягає в тому, що сигнал (4-20) мА приходить на вхід ПЛК, де потрапляє на вбудований аналого-цифровий перетворювач і перетворюється в числове значення температури. Значення температури порівнюється з гранично допустимим верхнім та нижнім значенням температури та при його перевищенні спрацьовує світлова сигналізація із затримкою визначення аварійної ситуації. Потім цифрове значення температури потрапляє у ПІ регулятор із заданими параметри та регулюється у вказане користувачем значення. Після регулювання значення температури із цифрового конвертується у аналоговий сигнал та через вихід ПЛК подається на ВМ.

					ТА-91391.0007.001.АТХ.П	Арк.
						89
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

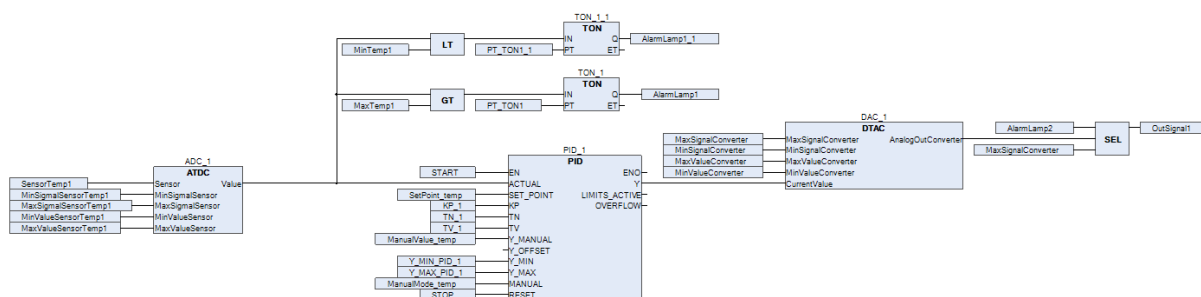


Рисунок 4.1 - Реалізація одноконтурної системи контролю температури води на виході з котла через блок ПІ-регулятор

Для одноконтурної системи контролю тиску повітря в повітропроводі було створено функціональний блок ПІД-регулятора та принцип роботи, який зображений на рисунку 4.2. Принцип роботи системи полягає в тому, що датчик тиску зчитує поточне значення тиску в повітропроводі та передає його на ПЛК, де сигнал проходить через АЦП та перетворюється в цифрове значення. Після чого значення тиску потрапляє у функціональний блок ПІД-регулятора, де вирівнюється у встановлене значення уставки. Вихідне значення регулятора проходить через ЦАП та через вихід ПЛК, сигнал направляється на ВМ. Система буде працювати в разі відсутності сигналізації про перевищення температури в шнековій камері.

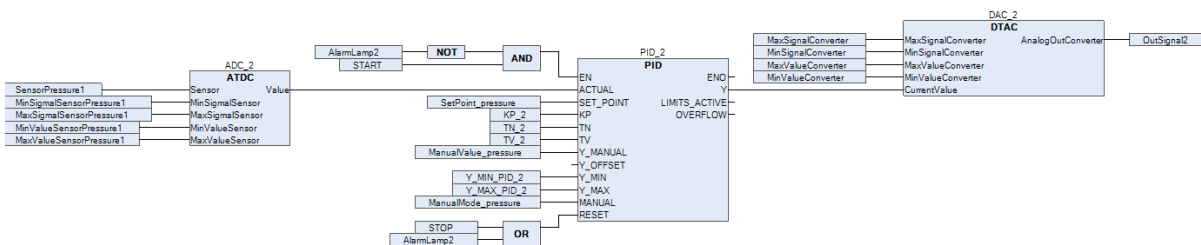


Рисунок 4.2 - Реалізація одноконтурної системи контролю тиску повітря в повітропроводі через блок ПІД-регулятор

Для одноконтурної системи контролю розрідження в камері згорання було створено функціональний блок ПІД-регулятора та принципом роботи зображеним на рисунку 4.3. Принцип роботи системи полягає в тому, що датчик розрідження в камері згорання зчитує поточне значення розрідження в камері згорання та передає його на ПЛК, де сигнал проходить через АЦП та перетворюється в цифрове значення. Після чого значення розрідження потрапляє у функціональний блок ПІД-регулятора, де вирівнюється у встановлене значення уставки. Вихідне значення регулятора проходить через ЦАП та через вихід ПЛК сигнал направляється на ВМ.

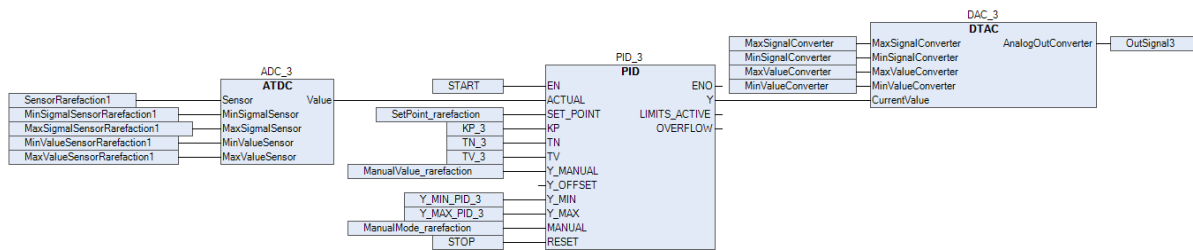


Рисунок 4.3 - Реалізація одноконтурної системи контролю розрідженням в камері згорання через блок ПІД-регулятор

Реалізація команд дозволу роботи для електромотора подачі палива, дуттєвого вентилятора та димососа, зображені на рисунку 4.4.

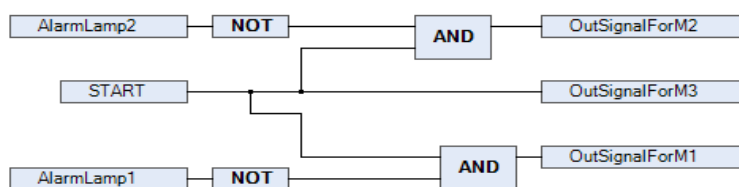


Рисунок 4.4 - реалізація дозволів роботи для електромотора подачі палива, дуттєвого вентилятора та димососа

Реалізація світлової сигналізації, що сигналізує про перевищення температури в шнековій камері показана на рисунку 4.5. Принцип дії полягає в тому, що значення з датчика температури в шнековій камері передається на ПЛК, де він проходить через вбудований АЦП та перетворюється в цифрове значення. Значення температури порівнюється з гранично допустимим значенням та якщо температура вища, вмикається сигналізація із затримкою та вимикається подача повітря в камеру згорання та мотор подачі палива вмикається на повну.

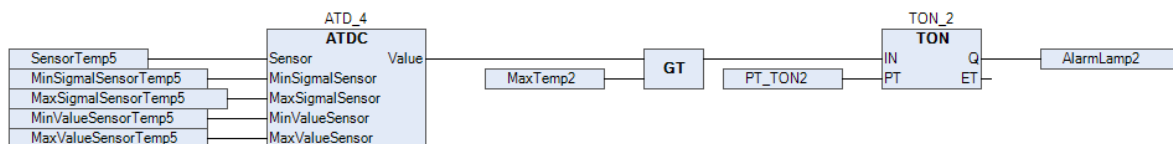


Рисунок 4.5 - Реалізація сигналізації про перевищення температури в камері згорання

Реалізація управління циркуляційними насосами, зображена на рисунку 4.6. Для запуску циркуляційного насоса гарячого водопостачання потрібен сигнал увімкненої системи. Сигналізація перепаду тиску на групі циркуляційних насосів працює від датчика перепаду тиску, який при виявленні перепаду вмикає сигналізацію із затримкою. Для запуску групи

циркуляційних насосів контуру опалення потрібен сигнал увімкненої системи та відсутність сигналізації про перепад тисків на насосах.

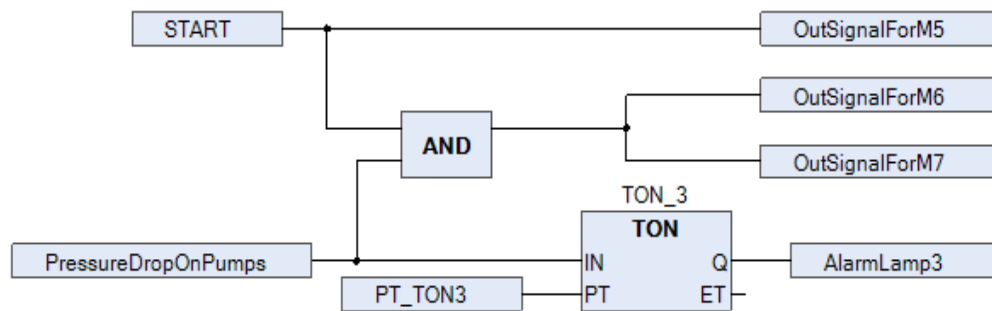


Рисунок 4.6 - Реалізація управління циркуляційними насосами

Сигналізація про відсутність палива в бункері з паливом та сигналізації про переповнений бункер золи зображений на рисунку 4.7. Реалізація даних сигналізацій працює за рахунок датчиків рівня встановлених у бункерах, які при дотику до речовини посилають сигнал на ПЛК.

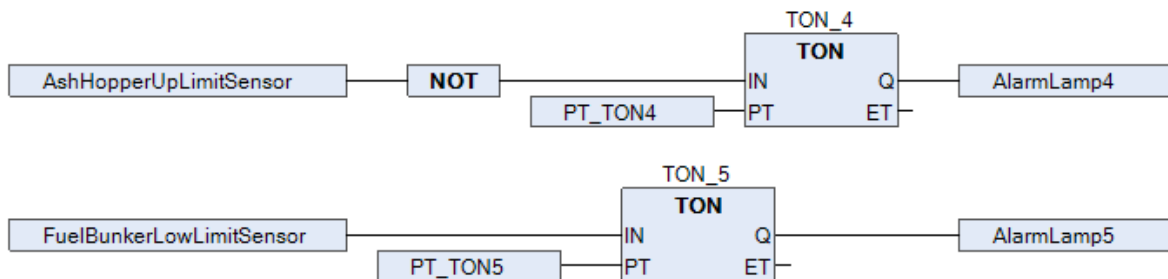


Рисунок 4.7 - Реалізація сигналізації про рівні в бункерах палива та золи

Реалізація роботи системи автоматичного очищення камери із золою зображений на рисунку 4.8. Дана система представлена електромотором, який повинен обертати шнек, який очищає зольну камеру. Робота даного мотора повинна відбуватися періодично та на якийсь невеликий відлік часу. Для запуску мотора потрібен сигнал увімкненої системи.

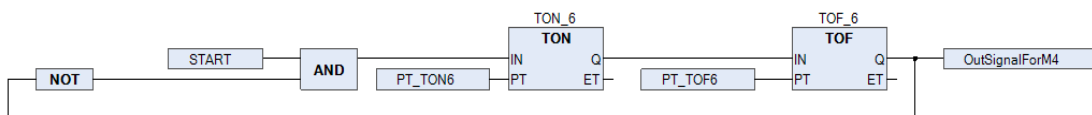


Рисунок 4.8 - Реалізація управління системою автоматичного очищення зольної камери

Для реалізації всіх вище перерахованих систем потрібні такі змінні:

1	VAR	PID_1	PID		Регулятор для регулювання температури на виході з котла
2	VAR	PID_2	PID		Регулятор для регулювання тиску повітря в повітропроводі
3	VAR	PID_3	PID		Регулятор для регулювання розрідження в камері згорання
4	VAR	ADC_1	ATDC		Аналого-цифровий перетворювач для регулятора №1
5	VAR	DAC_1	DTAC		Цифро-аналоговий перетворювач для регулятора №1
6	VAR	ADC_2	ATDC		Аналого-цифровий перетворювач для регулятора №2
7	VAR	DAC_2	DTAC		Цифро-аналоговий перетворювач для регулятора №2
8	VAR	ADC_3	ATDC		Аналого-цифровий перетворювач для регулятора №3
9	VAR	DAC_3	DTAC		Цифро-аналоговий перетворювач для регулятора №3
10	VAR	ATD_4	ATDC		Аналого-цифровий перетворювач для перетворення сигналу від датчика 5
11	VAR	TON_1	TON		
12	VAR	TON_2	TON		
13	VAR	TON_3	TON		
14	VAR	TON_4	TON		
15	VAR	TON_5	TON		
16	VAR	TON_6	TON		
17	VAR	TOF_6	TOF		
18	VAR_INPUT	KP_1	REAL	0.776	Коефіцієнт Кр для першого регулятора
19	VAR_INPUT	TN_1	REAL	146	Коефіцієнт Ті для першого регулятора
20	VAR_INPUT	TV_1	REAL	0.0	Коефіцієнт Тд для першого регулятора
21	VAR_INPUT	SetPoint_temp	REAL		Уставка температури для першого регулятора
22	VAR_INPUT	ManualValue_temp	REAL		Значення уставки температури у ручному режимі роботи
23	VAR_INPUT	ManualMode_temp	BOOL		Ручний режим роботи для першого регулятора
24	VAR_INPUT	START	BOOL		Кнопка запуску системи
25	VAR_INPUT	STOP	BOOL		Кнопка зупинки системи
26	VAR_INPUT	SensorTemp1	REAL		Значення сигналу від датчика температури 1а
27	VAR_INPUT	MaxTemp1	REAL	95.0	Верхня межа спрацювання сигналізації перевищення температури води на виході з котла
28	VAR_INPUT	MinSignalSensorTemp1	REAL	4	Нижня межа значення сигналу від датчика температури 1а
29	VAR_INPUT	MaxSignalSensorTemp1	REAL	20	Верхня межа значення сигналу від датчика температури 1а
30	VAR_INPUT	MinValueSensorTemp1	REAL	0	Мінімальне значення показника датчика температури 1а
31	VAR_INPUT	MaxValueSensorTemp1	REAL	200	Максимальне значення показника датчика температури 1а
32	VAR_INPUT	MaxSignalConverter	REAL	20	Верхня межа сигналу у який перетворює перетворювач
33	VAR_INPUT	MinSignalConverter	REAL	4	Нижня межа сигналу у який перетворює перетворювач
34	VAR_INPUT	MaxValueConverter	REAL	200	Верхня межа значення з якого перетворює перетворювач
35	VAR_INPUT	MinValueConverter	REAL	0	Нижня межа значення з якого перетворює перетворювач
36	VAR_INPUT	MaxValueSensorPressure1	REAL	10	Максимальне значення показника датчика тиску 2а
37	VAR_INPUT	MinValueSensorPressure1	REAL	0	Мінімальне значення показника датчика тиску 2а
38	VAR_INPUT	SensorPressure1	REAL		Поточне значення датчика тиску 2а
39	VAR_INPUT	MinSignalSensorPressure1	REAL	4	Нижня межа значення сигналу від датчика тиску 2а
40	VAR_INPUT	MaxSignalSensorPressure1	REAL	20	Верхня межа значення сигналу від датчика тиску 2а
41	VAR_INPUT	SetPoint_pressure	REAL		Уставка тиску для другого регулятора
42	VAR_INPUT	ManualMode_pressure	BOOL		Ручний режим для другого регулятора
43	VAR_INPUT	ManualValue_pressure	REAL		Значення тиску в ручному режимі для другого регулятора
44	VAR_INPUT	KP_2	REAL		Коефіцієнт Кр для другого регулятора
45	VAR_INPUT	TN_2	REAL		Коефіцієнт Ті для другого регулятора
46	VAR_INPUT	TV_2	REAL		Коефіцієнт Тд для другого регулятора
47	VAR_INPUT	MaxValueSensorRarefaction1	REAL	10	Максимальне значення показника датчика розрідження 3а
48	VAR_INPUT	MinValueSensorRarefaction1	REAL	0	Мінімальне значення показника датчика розрідження 3а
49	VAR_INPUT	SensorRarefaction1	REAL		Поточне значення датчика розрідження 3а
50	VAR_INPUT	MinSignalSensorRarefaction1	REAL	4	Нижня межа значення сигналу від датчика розрідження 3а
51	VAR_INPUT	MaxSignalSensorRarefaction1	REAL	20	Верхня межа значення сигналу від датчика розрідження 3а
52	VAR_INPUT	SetPoint_rarefaction	REAL		Уставка розрідження для другого регулятора
53	VAR_INPUT	KP_3	REAL		Коефіцієнт Кр для третього регулятора
54	VAR_INPUT	TN_3	REAL		Коефіцієнт Ті для третього регулятора
55	VAR_INPUT	TV_3	REAL		Коефіцієнт Тд для третього регулятора
56	VAR_INPUT	ManualValue_rarefaction	REAL		Значення розрідження у ручному режимі на третьому регуляторі
57	VAR_INPUT	ManualMode_rarefaction	BOOL		Ручний режим третього регулятора
58	VAR_INPUT	FuelBunkerLowLimitSensor	BOOL		Спрацювання датчика нижнього рівня в бункері з паливом
59	VAR_INPUT	AshHopperUpLimitSensor	BOOL		Спрацювання датчика верхнього рівня в бункері з золою
60	VAR_INPUT	MaxValueSensorTemp5	REAL	200	Верхня межа значення температури від датчика температури 5а

61	VAR_INPUT	MinValueSensorTemp5	REAL	0	Нижня межа значення температури від датчика температури 5а
62	VAR_INPUT	SensorTemp5	REAL		Поточний сигнал датчика температури 5а
63	VAR_INPUT	MinSignalSensorTemp5	REAL	4	Нижня межа значення сигналу від датчика температури 5а
64	VAR_INPUT	MaxSignalSensorTemp5	REAL	20	Верхня межа значення сигналу від датчика температури 5а
65	VAR_INPUT	MaxTemp2	REAL	100	Значення температури, що означає спалахування палива в шнековій камері
66	VAR_INPUT	PressureDropOnPumps	BOOL		Сигнал перепаду тиску на циркуляційних насосах
67	VAR_INPUT	Y_MIN_PID_1	REAL		Нижня межа роботи регулятора №1
68	VAR_INPUT	Y_MAX_PID_1	REAL		Верхня межа роботи регулятора №1
69	VAR_INPUT	Y_MIN_PID_2	REAL		Нижня межа роботи регулятора №2
70	VAR_INPUT	Y_MAX_PID_2	REAL		Верхня межа роботи регулятора №2
71	VAR_INPUT	Y_MIN_PID_3	REAL		Нижня межа роботи регулятора №3
72	VAR_INPUT	Y_MAX_PID_3	REAL		Верхня межа роботи регулятора №3
73	VAR_INPUT	PT_TON6	TIME	T#2h	Час затримки між спрацюваннями електромотора, що очищає зольну камеру
74	VAR_INPUT	PT_TOF6	TIME	T#5m	Час вмикання мотора, що очищає зольну камеру
75	VAR_INPUT	PT_TON1	TIME	T#10s	Час затримки наспрацювання сигналізації 1
76	VAR_INPUT	PT_TON2	TIME	T#10s	Час затримки наспрацювання сигналізації 2
77	VAR_INPUT	PT_TON3	TIME	T#10s	Час затримки наспрацювання сигналізації 3
78	VAR_INPUT	PT_TON4	TIME	T#10s	Час затримки наспрацювання сигналізації 4
79	VAR_INPUT	PT_TON5	TIME	T#10s	Час затримки наспрацювання сигналізації 5
80	VAR_OUTPUT	AlarmLamp1	BOOL		Сигнал для світлової сигналізації перевищення температури води на виході з котла
81	VAR_OUTPUT	AlarmLamp2	BOOL		Сигнал для світлової сигналізації перевищення температури в шнековій камері
82	VAR_OUTPUT	AlarmLamp3	BOOL		Сигнал для світлової сигналізації про перепад тисків на циркуляційних насосах
83	VAR_OUTPUT	AlarmLamp4	BOOL		Сигнал для світлової сигналізації відсутності палива в бункері з паливом
84	VAR_OUTPUT	AlarmLamp5	BOOL		Сигнал для світлової сигналізації переповненого бункера із золою
85	VAR_OUTPUT	OutSignal1	REAL		Вихідний сигнал управління з першого регулятора
86	VAR_OUTPUT	OutSignal2	REAL		Вихідний сигнал управління з другого регулятора
87	VAR_OUTPUT	OutSignal3	REAL		Вихідний сигнал управління з третього регулятора
88	VAR_OUTPUT	OutSignalForM1	BOOL		Вихідний сигнал на дозвіл роботи мотора M1
89	VAR_OUTPUT	OutSignalForM2	BOOL		Вихідний сигнал на дозвіл роботи дуттєвого вентилятора M2
90	VAR_OUTPUT	OutSignalForM3	BOOL		Вихідний сигнал на дозвіл роботи димососа M3
91	VAR_OUTPUT	OutSignalForM4	BOOL		Вихідний сигнал на дозвіл роботи мотора M4
92	VAR_OUTPUT	OutSignalForM5	BOOL		Вихідний сигнал на дозвіл роботи циркуляційного насоса M5
93	VAR_OUTPUT	OutSignalForM6	BOOL		Вихідний сигнал на дозвіл роботи циркуляційного насоса M6
94	VAR_OUTPUT	OutSignalForM7	BOOL		Вихідний сигнал на дозвіл роботи циркуляційного насоса M7

Рисунок 4.9 - Змінні для керування АСК твердопаливним водогрійним котлом в тренажерному залі

4.2 Програмування функціональності SCADA-системи

На верхньому рівні АСУТП знаходиться SCADA-система. Для створення інтерфейсу було використано середовище розробки Indusoft Web Studio. Дана система та її інтерфейс потрібні для швидкої та зручної передачі інформації для оператора, що керує системою.

SCADA-система має у собі вікна для візуалізації процесів, архівування даних, відображення графіків та аварійних ситуацій.



Рисунок 4.10 - Вікно з кнопками, маршрутизаторами по проекту (Menus)

Дане вікно меню має кнопки для зручного переходу до інших вікон системи, та зупинки системи.

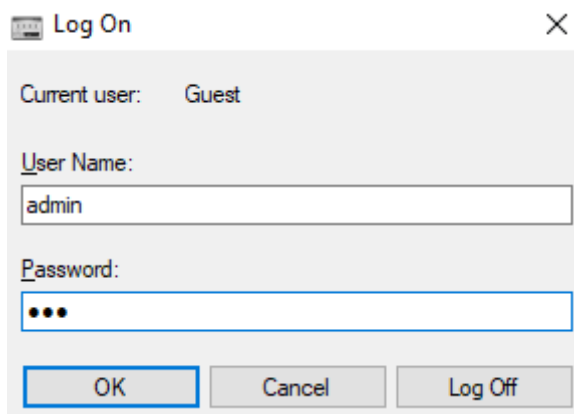


Рисунок 4.11 - Вікно обмеження доступу до SCADA системи

					ТА-91391.0007.001.АТХ.П	Арк.
						95
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дане вікно показує, що доступ до системи можливий лише після вводу паролів, чим обмежує доступ до системи для сторонніх осіб.

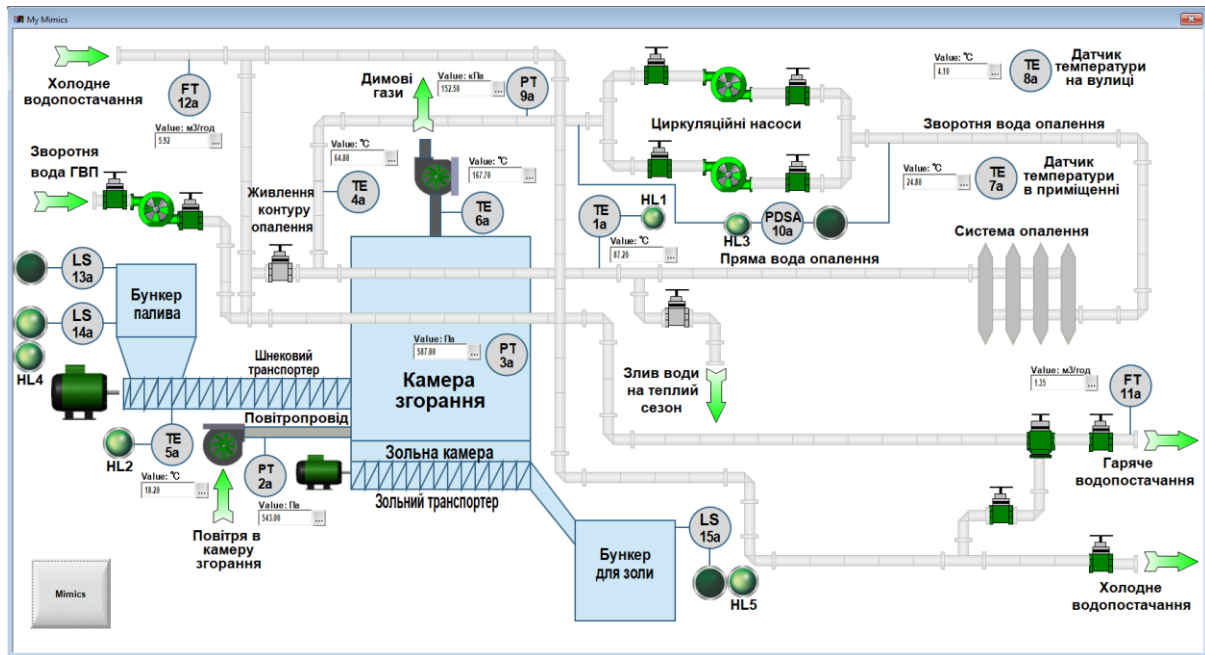


Рисунок 4.12 - Вікно (MyMimics) АСК твердопаливного водогрійного котла в тренажерному залі

Дане вікно показує мнемосхему твердопаливного водогрійного котла, що знаходиться в тренажерному залі та відображає поточні показники датчиків та аварійні сигнали.

Tag Name	Display	Activation TL...	Message	Ack Time	Event Time	Us...	Tag Name	Display	Activation TL...	Message	Ack Time	Event Time	Us...
LS_14a	1	06/03/2023 13:15:27	Нижній датчик рівня бунк...		06/03/2023 13:15:27	Adi	LS_14a	1	06/03/2023 13:15:27	Нижній датчик рівня бунк...		06/03/2023 13:15:27	Adi
FT_12a	5.923000	06/03/2023 13:15:27	Витратомір холодного водо...		06/03/2023 13:15:27	Adi	LS_14a	1	06/03/2023 13:15:27	Нижній датчик рівня бунк...		06/03/2023 13:15:27	Adi
FT_11a	1.345000	06/03/2023 13:15:27	Витратомір гарячого водо...		06/03/2023 13:15:27	Adi	LS_14a	1	06/03/2023 13:15:27	Нижній датчик рівня бунк...		06/03/2023 13:15:27	Adi
PT_9a	152.500000	06/03/2023 13:15:27	тиск води в системі опале...		06/03/2023 13:15:27	Adi	LS_14a	1	06/03/2023 13:15:27	Нижній датчик рівня бунк...		06/03/2023 13:15:27	Adi
TE_8a	4.100000	06/03/2023 13:15:27	Температура зворотньої ...		06/03/2023 13:15:27	Adi	LS_14a	1	06/03/2023 13:15:27	Нижній датчик рівня бунк...		06/03/2023 13:15:27	Adi
TE_6a	167.700000	06/03/2023 13:15:27	Температура димових газів		06/03/2023 13:15:27	Adi	PT_9a	152.500000	06/03/2023 13:15:27	тиск води в системі опале...		06/03/2023 13:15:27	Adi
TE_4a	64.800000	06/03/2023 13:15:27	Температура зворотньої во...		06/03/2023 13:15:27	Adi	TE_8a	4.100000	06/03/2023 13:15:27	Температура зворотньої ...		06/03/2023 13:15:27	Adi
PT_2a	543.000000	06/03/2023 13:15:27	тиск повітря в повітропро...		06/03/2023 13:15:27	Adi	FT_12a	5.923000	06/03/2023 13:15:27	Витратомір холодного водо...		06/03/2023 13:15:27	Adi
PT_3a	587.000000	06/03/2023 13:15:27	Розрідження в камері зго...		06/03/2023 13:15:27	Adi	FT_8a	4.100000	06/03/2023 13:15:27	Температура зворотньої ...		06/03/2023 13:15:27	Adi
CVCounter	0	06/03/2023 13:15:27			06/03/2023 13:15:27	Adi	FT_11a	1.345000	06/03/2023 13:15:27	Витратомір гарячого водо...		06/03/2023 13:15:27	Adi
PVear	0.000000	06/03/2023 13:15:27			06/03/2023 13:15:27	Adi	TE_8a	4.100000	06/03/2023 13:15:27	Температура зворотньої ...		06/03/2023 13:15:27	Adi
PVear	0.000000	06/03/2023 13:15:27			06/03/2023 13:15:27	Adi	FT_11a	1.345000	06/03/2023 13:15:27	Витратомір гарячого водо...		06/03/2023 13:15:27	Adi
							PT_9a	152.500000	06/03/2023 13:15:27	тиск води в системі опале...		06/03/2023 13:15:27	Adi

Tag Name	Message	Event Time	User	Value
Open Screen:3.alarms.scc		06/03/2023 13:21:04	Admin	0
Close Screen:5.models.scc		06/03/2023 13:20:29	Admin	0
Close Screen:4.trends.scc		06/03/2023 13:20:29	Admin	0
Close Screen:2.mimics.scc		06/03/2023 13:20:29	Admin	0
Close Screen:1.Menu.scc		06/03/2023 13:20:29	Admin	0
Close Screen:3.alarms.scc		06/03/2023 13:20:29	Admin	0
Open Screen:5.models.scc		06/03/2023 13:20:21	Admin	0
Open Screen:4.trends.scc		06/03/2023 13:20:18	Admin	0
Open Screen:2.mimics.scc		06/03/2023 13:20:16	Admin	0
Open Screen:3.alarms.scc		06/03/2023 13:19:48	Admin	0
LogOn		06/03/2023 13:19:46	Admin	0
Close Screen:12.mytrends.scc		06/03/2023 13:19:00	Guest	0
Close Screen:3.alarms.scc		06/03/2023 13:19:00	Guest	0
Open Screen:3.alarms.scc		06/03/2023 13:18:53	Guest	0
Close Screen:12.mytrends.scc		06/03/2023 13:17:55	Guest	0
Close Screen:3.alarms.scc		06/03/2023 13:17:55	Guest	0
Open Screen:3.alarms.scc		06/03/2023 13:17:47	Guest	0
Close Screen:1.Menu.scc		06/03/2023 13:16:00	Guest	0

Рисунок 4.13 - Вікно (Alarms) з відображенням помилок та аварійних ситуацій

Вікно Alarms показує події, які відбулися за короткий час, які вікна системи були відкриті та відображає аварійні ситуації системи..

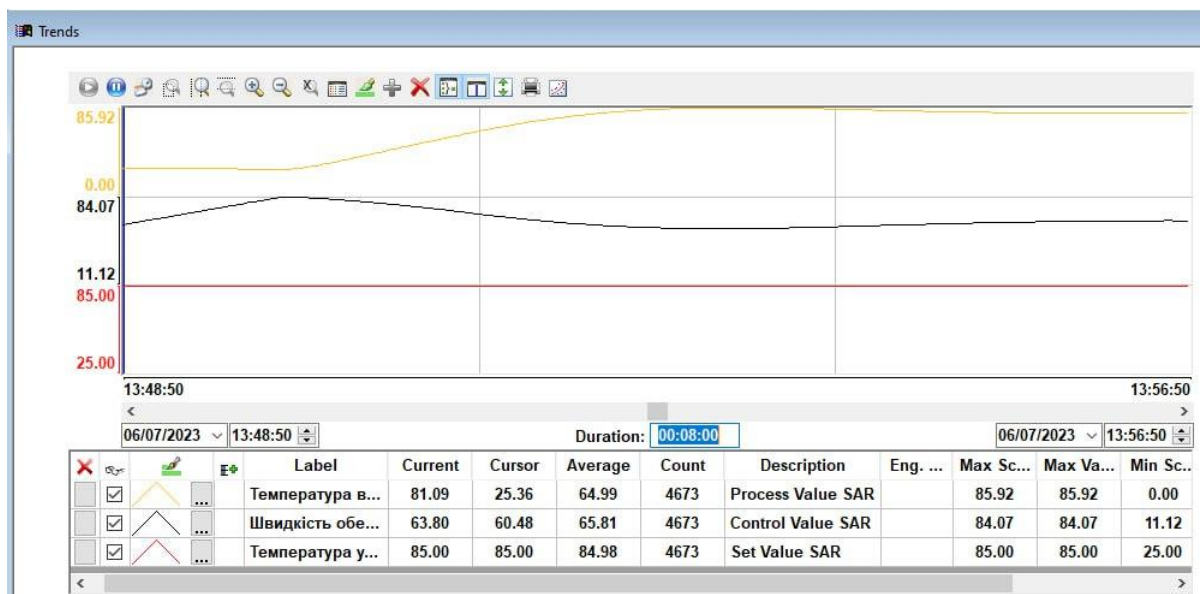


Рисунок 4.14 - Вікно (MyTrends) з відображенням історії даних у графіку

Вікно графіків показує залежність значень системи відносного часу для зручного аналізу даних.

РОЗДІЛ 5 ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АТК

5.1 Схема структурна полігону імітаційного моделювання АТК ТОУ

Схема структурна полігону імітаційного моделювання АТК ТОУ демонструє загальну структуру полігону імітаційного моделювання АТК ТОУ, де різні компоненти працюють разом для створення імітаційної моделі, що відтворює роботу системи управління процесами. За необхідності, конкретні деталі і налаштування цієї схеми можуть варіюватися залежно від вимог і особливостей конкретної системи управління процесами.

У цій структурній схемі полігону імітаційного моделювання АТК ТОУ, Indusoft WebStudio використовується для візуалізації та налаштування моделі, OPC-клієнти взаємодіють з OPC-серверами (такими як CoDeSys OPC-сервер) для обміну даними, і Matlab Simulink використовується для розробки контролерів та алгоритмів управління. Control Object Simulation виконує імітацію системи управління на основі отриманих даних та налаштованих модулів.

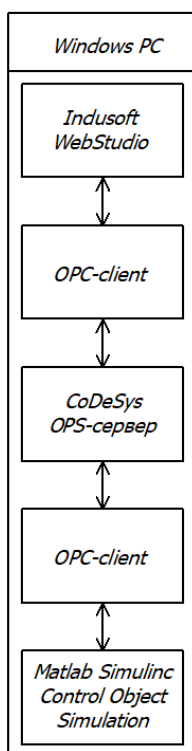


Рисунок 5.1 - Структура SIL-полігону імітаційного моделювання АТК

5.2 Функціональне моделювання ОУ в СКМ Matlab Simulink

Ця схема демонструє використання функціонального моделювання ОУ в Matlab Simulink з використанням OPC-клієнта та протоколу OPC для взаємодії та обміну даними з реальними системами управління. Вона надає можливість розробникам проводити симуляції та аналіз роботи об'єктів управління з використанням реальних даних, що сприяє вдосконаленню та оптимізації систем управління.

Схема функціонального моделювання ОУ включає Matlab Simulink, де створюється модель ТОУ з різними блоками та алгоритмами управління. OPC-клієнт взаємодіє з OPC-серверами, які можуть представляти фізичні пристрої або системи управління та забезпечує обмін даними між моделлю ТОУ та реальними об'єктами управління за допомогою протоколу OPC.

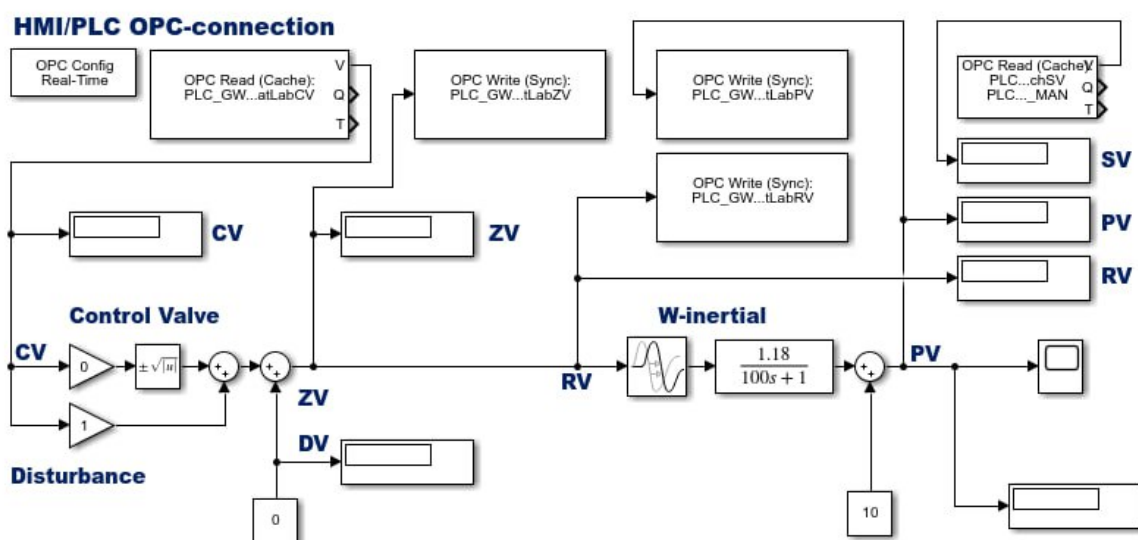


Рисунок 5.2 - Універсальна, функціональна модель ТОУ в СКМ Matlab Simulink

5.3 Реалізація контролерної функціональності САР в софт ПЛК CoDeSys

Дана схема зображує одноконтурне регулювання температурою води на виході з котла. У схемі присутні два регулятори: коригуючий регулятор PID_1 і стабілізуючий регулятор PID_2.

У режимі роботи одноконтурної САР стабілізуючий регулятор відключається, а вихідний сигнал коригуючого регулятора (який в цьому

режимі виступає як звичайний регулятор) передається до об'єкта в середовищі Matlab.

У каскадному режимі роботи системи автоматичного регулювання (САР) коригуючий регулятор змінює завдання для стабілізуючого регулятора. Стабілізуючий регулятор у свою чергу видає управляючий сигнал, який передається до об'єкта в середовищі Matlab.

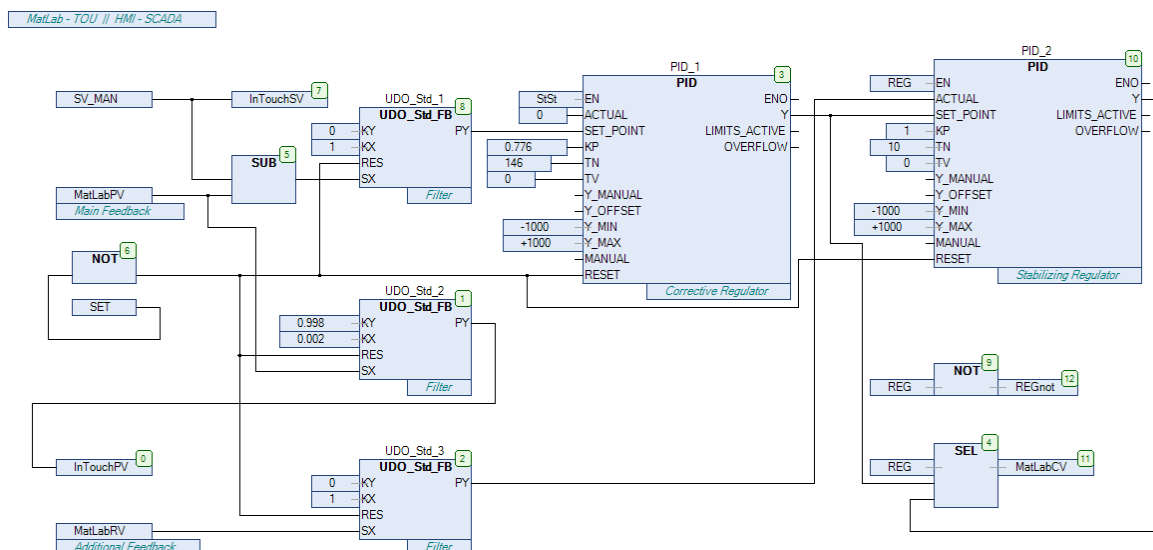


Рисунок 5.3 - Реалізація контролерної функціональності універсальної САР в софт ПЛК CoDeSys

5.4 Реалізація супервізорної HMI-Standard функціональності в HMI/SCADA системі Web Studio

Вікно "Menus": Створення меню з розділами, підменю та пунктами меню для швидкого доступу до різних функцій і сторінок системи.



Рисунок 5.4 - Вікно маршрутизації по проекту (Menus)

Вікно "Mimics": Створення мімікрів (екранів) для відображення різних об'єктів, процесів або систем. Міміки повинні бути інтуїтивно зрозумілими і зручними для користувача.

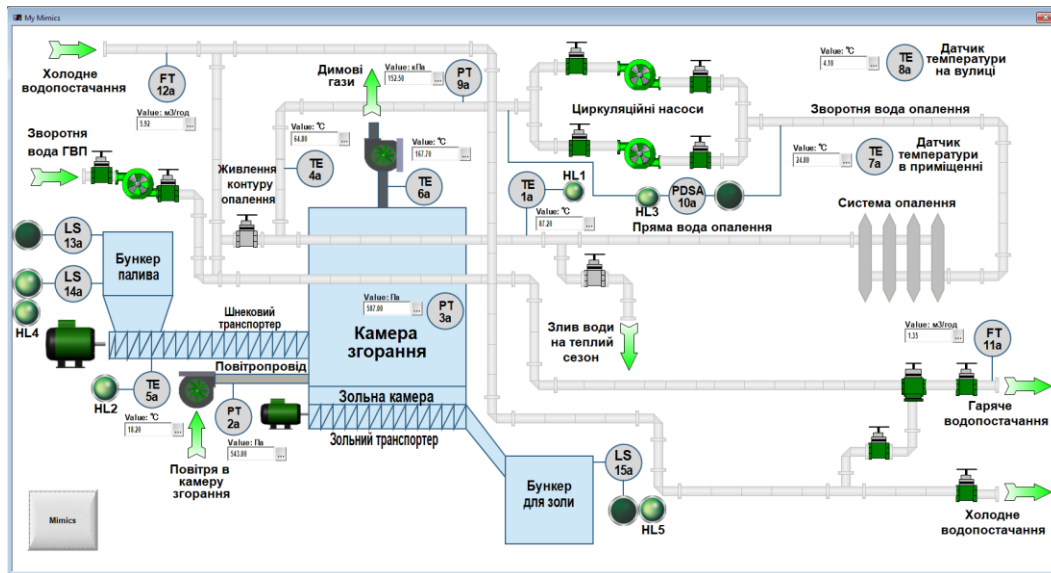


Рисунок 5.5 - Вікно «Mimics» з відображенням поточних показників датчиків

Вікно "Alarms": Налаштування системи сповіщення про аварійні ситуації та відображення їх на цьому екрані. Користувач повинен мати можливість переглядати, сортувати і керувати аварійними подіями.

Tag Name	Display	Activation T...	Message	Ack Time	Event Time	Us...	Tag Name	Display	Activation T...	Message	Ack Time	Event Time
LS_14a	1	06/03/2023 13:15:27	Немає датчик рівня бунк...		06/03/2023 13:15:27	Adi...	LS_14a	1	06/03/2023 13:15:27	Немає датчик рівня бунк...		06/03/2023 13:15:27
FT_12a	5.92000	06/03/2023 13:15:27	Випадок холодного водо...		06/03/2023 13:15:27	Adi...	LS_14a	1	06/03/2023 13:15:27	Немає датчик рівня бунк...		06/03/2023 13:15:27
FT_11a	1.34500	06/03/2023 13:15:27	Випадок гарячого водо...		06/03/2023 13:15:27	Adi...	LS_14a	1	06/03/2023 13:15:27	Немає датчик рівня бунк...		06/03/2023 13:15:27
PT_3a	152.50000	06/03/2023 13:15:27	тиск води в системі опале...		06/03/2023 13:15:27	Adi...	LS_14a	1	06/03/2023 13:15:27	Немає датчик рівня бунк...		06/03/2023 13:15:27
TE_8a	4.10000	06/03/2023 13:15:27	Температура циркуляційн...		06/03/2023 13:15:27	Adi...	LS_14a	1	06/03/2023 13:15:27	Немає датчик рівня бунк...		06/03/2023 13:15:27
TE_6a	167.70000	06/03/2023 13:15:27	Температура димових газів		06/03/2023 13:15:27	Adi...	PT_3a	152.50000	06/03/2023 13:15:27	тиск води в системі опале...		06/03/2023 13:15:27
TE_4a	64.80000	06/03/2023 13:15:27	Температура зворотньої во...		06/03/2023 13:15:27	Adi...	TE_8a	4.10000	06/03/2023 13:15:27	Температура циркуляційн...		06/03/2023 13:15:27
PT_2a	542.00000	06/03/2023 13:15:27	Тиск повітря в повітропр...		06/03/2023 13:15:27	Adi...	PT_12a	5.92000	06/03/2023 13:15:27	Випадок холодного водо...		06/03/2023 13:15:27
PT_3a	587.00000	06/03/2023 13:15:27	Розподілення в камері зго...		06/03/2023 13:15:27	Adi...	TE_8a	4.10000	06/03/2023 13:15:27	Температура циркуляційн...		06/03/2023 13:15:27
CVcounter	0	06/03/2023 13:15:27			06/03/2023 13:15:27	Adi...	PT_3a	152.50000	06/03/2023 13:15:27	тиск води в системі опале...		06/03/2023 13:15:27
CVcounter	0	06/03/2023 13:15:27			06/03/2023 13:15:27	Adi...	FT_12a	5.92000	06/03/2023 13:15:27	Випадок холодного водо...		06/03/2023 13:15:27
PValue	0.80000	06/03/2023 13:15:27			06/03/2023 13:15:27	Adi...	FT_11a	1.34500	06/03/2023 13:15:27	Випадок гарячого водо...		06/03/2023 13:15:27
PValue	0.80000	06/03/2023 13:15:27			06/03/2023 13:15:27	Adi...	TE_8a	4.10000	06/03/2023 13:15:27	Температура циркуляційн...		06/03/2023 13:15:27
							PT_3a	152.50000	06/03/2023 13:15:27	тиск води в системі опале...		06/03/2023 13:15:27

Tag Name	Message	Event Time	User	Value
Open Screen:3.alarms.scc		06/03/2023 13:21:04	Admin	0
Close Screen:5.models.scc		06/03/2023 13:20:29	Admin	0
Close Screen:4.trends.scc		06/03/2023 13:20:29	Admin	0
Close Screen:2.minims.scc		06/03/2023 13:20:29	Admin	0
Close Screen:1.Menu.scc		06/03/2023 13:20:29	Admin	0
Open Screen:3.alarms.scc		06/03/2023 13:20:29	Admin	0
Open Screen:5.models.scc		06/03/2023 13:20:21	Admin	0
Open Screen:4.trends.scc		06/03/2023 13:20:18	Admin	0
Open Screen:2.minims.scc		06/03/2023 13:20:16	Admin	0
Open Screen:3.alarms.scc		06/03/2023 13:19:46	Admin	0
LogOn		06/03/2023 13:19:46	Admin	0
Close Screen:12.mytrends.scc		06/03/2023 13:19:00	Guest	0
Close Screen:3.alarms.scc		06/03/2023 13:19:00	Guest	0
Open Screen:3.alarms.scc		06/03/2023 13:18:53	Guest	0
Close Screen:12.mytrends.scc		06/03/2023 13:17:55	Guest	0
Close Screen:3.alarms.scc		06/03/2023 13:17:55	Guest	0
Open Screen:3.alarms.scc		06/03/2023 13:17:47	Guest	0
Close Screen:1.Menu.scc		06/03/2023 13:16:00	Guest	0

Рисунок 5.6 - Вікно «Alarms» з відображенням аварійних ситуацій

Вікно "Trends": Відображення історичних даних у вигляді графіків або діаграм для аналізу трендів та моніторингу процесів.

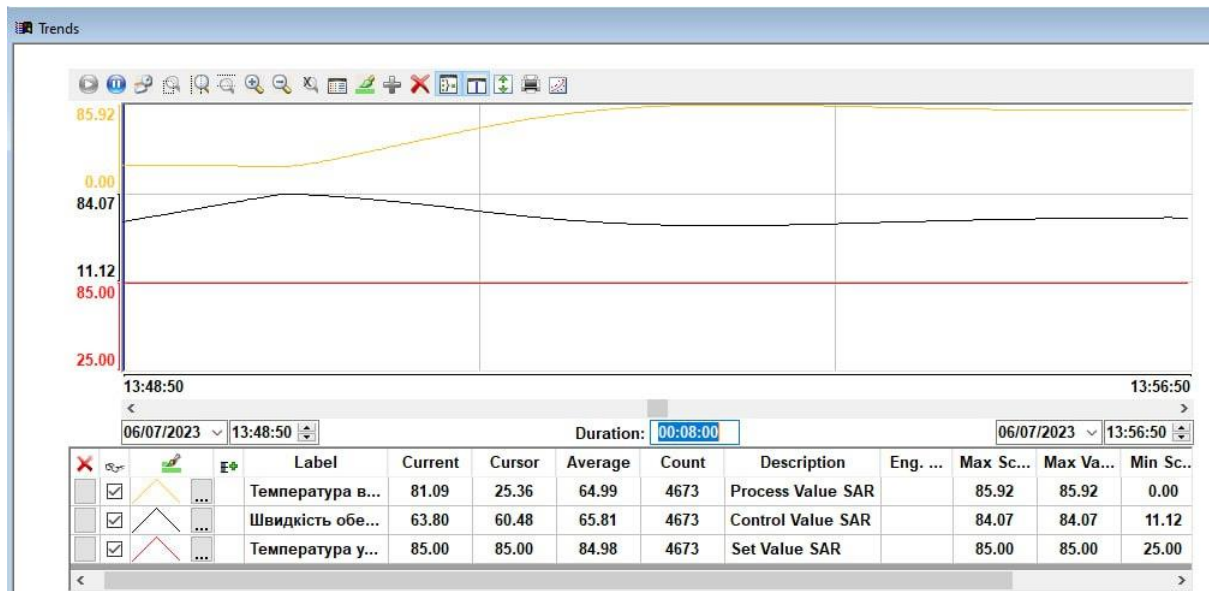


Рисунок 5.7 - Вікно яке показує графік залежності зміни показників від часу «Trends»

Вікно "Models": Використання моделей або схем для відображення процесів або систем. Моделі можуть включати анімацію, інтерактивні елементи та інше.

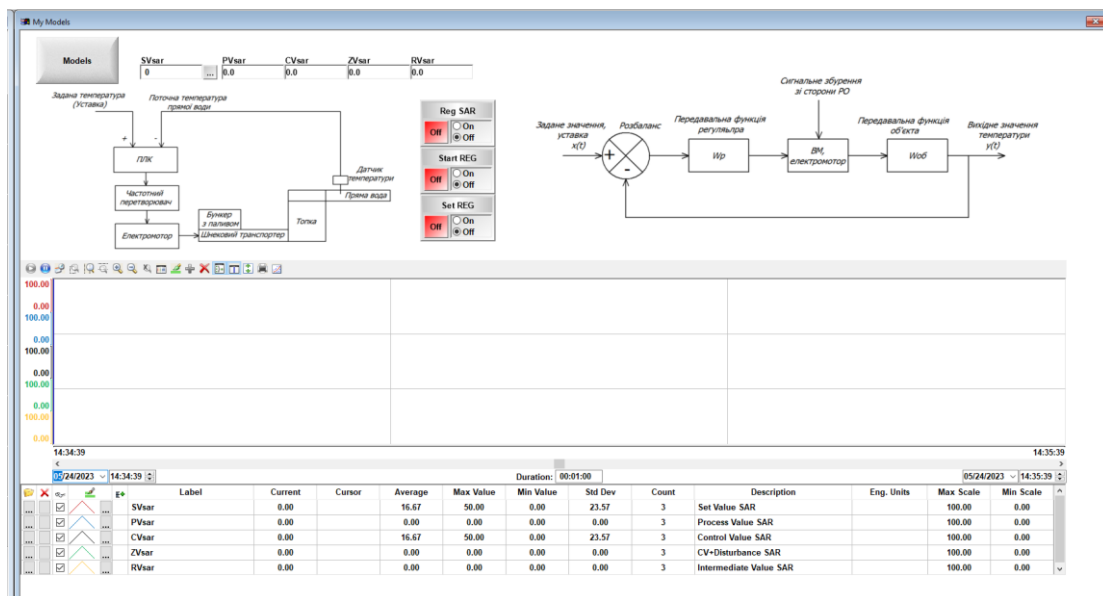


Рисунок 5.8 - Вікно «Models»

5.5 Реалізація супервізорної MES-Lite функціональності в HMI/SCADA-системі Web Studio

Вікно "Recipes" (Рецепти): Створення системи управління рецептами, де можна зберігати і керувати рецептами для налаштування процесів. На цьому екрані створюють, редагують та виконують рецепти зі збереженими параметрами.

Рисунок 5.9 - Вікно «Recipes»

Клавіша (Update Formula 1) – виконання введеного рецепту.

Клавіша (Save Recipe 1) – збереження введеного рецепту.

Клавіша (Load Recipe 1) – завантаження раніше збереженого рецепту.

Поле (Load Enabled/Disabled) – індикатор дозволу завантаження рецепту.

Поле (Update Enabled/Disabled) – індикатор дозволу виконання рецепту.

Вікно "Reports" (Звіти): Створення системи для генерації та відображення звітів з даних, зібраних у системі. Користувач має можливість налаштовувати параметри звітів, вибирати часові періоди та отримувати готові звіти в зручному форматі.

Create Current RTF Report 1

Append to Current RTF Report 1

Create Historical CSV Report Trend 1

Requery

HISTreport.StartDate: 06/07/2023

HISTreport.StartTime: 13:56:00

HISTreport.Duration: 0.2

ID	Data	Time	SVsar	PVsar	CVsar	ZVsar	RVsar	PVcounter	CVcounter
1453	07/06/2023	13:59:55	85.000000	84.345116	63.127838	63.126663	63.126663	0.000000	0.000000
1454	07/06/2023	13:59:55	85.000000	84.345116	63.127838	63.126663	63.126663	0.000000	0.000000
1455	07/06/2023	13:59:55	85.000000	84.345116	63.127838	63.126663	63.126663	0.000000	0.000000
1456	07/06/2023	13:59:55	85.000000	84.345116	63.127838	63.126663	63.126663	0.000000	0.000000
1457	07/06/2023	13:59:56	85.000000	84.348625	63.129238	63.127838	63.127838	0.000000	0.000000
1458	07/06/2023	13:59:56	85.000000	84.348625	63.129238	63.127838	63.127838	0.000000	0.000000
1459	07/06/2023	13:59:56	85.000000	84.348625	63.129238	63.127838	63.127838	0.000000	0.000000
1460	07/06/2023	13:59:56	85.000000	84.348625	63.129238	63.127838	63.127838	0.000000	0.000000
1461	07/06/2023	13:59:56	85.000000	84.348625	63.129238	63.127838	63.127838	0.000000	0.000000
1462	07/06/2023	13:59:56	85.000000	84.348625	63.129238	63.127838	63.127838	0.000000	0.000000
1463	07/06/2023	13:59:56	85.000000	84.348625	63.129238	63.127838	63.127838	0.000000	0.000000

Рисунок 5.10 - Вікно «Reports»

Клавіша (Create Current RTF Report 1) – створення файлу з заголовком поточного звіту.

Клавіша (Append to Current RTF Report 1) – додавання нового запису до поточного звіту.

Клавіша (Create Historical CSV Report Trend 1) – створення excel-файлу – історичного звіту.

Період, за який надаються дані, встановлюються такими елементами:

HISTrepost.StartDate – початкова дата;

HISTrepost.StartTime – початковий час;

HISTrepost.Duration – тривалість.

Вікно "Schedules" (Розклади): Дає можливість налаштувати це вікно для створення та керування розкладами виконання задач або подій. Користувач може планувати роботу, налаштовувати час, частоту або умови для автоматичного виконання різних завдань.

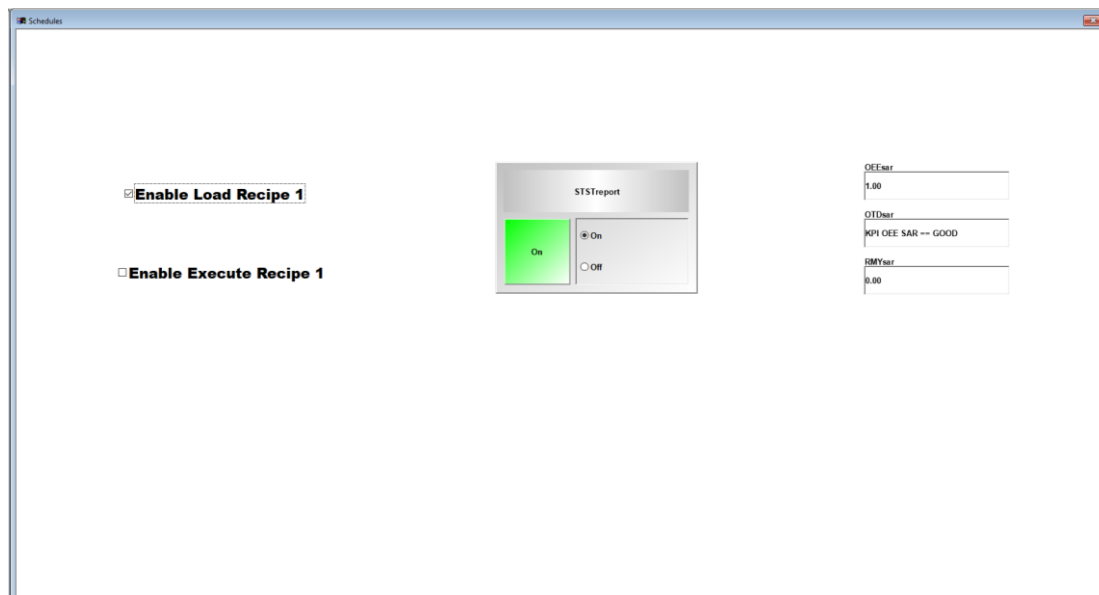


Рисунок 5.11 - Вікно «Schedules»

Клавiша (Enable Load Recipe 1) – увiмкнення/вимкнення дозволу завантаження рецепту.

Клавiша (Enable Execute Recipe 1) – увiмкнення/вимкнення дозволу виконання рецепту.

Клавiша (STSTreport) – увiмкнення/вимкнення автоматичного формування поточного звiту.

Поля: (OEEsar, OTDsar, RMYsar) – показники ефективностi роботи системи.

5.6 Структурне моделювання АТК в програмно-технічному симуляторі

Структурне моделювання АТК в програмно-технічному симуляторі дозволяє проводити аналіз та тестування АТК без необхідності мати фізичне обладнання. Ми можемо створювати віртуальні моделі системи, що відображають її функціональність, поведінку та взаємодію компонентів. Це дає можливість перевіряти правильність роботи програмного забезпечення, логіки управління та інтерфейсу користувача шляхом симуляції різних сценаріїв та умов.

Також структурне моделювання АТК дозволяє вдосконалювати та оптимізовувати систему. Ми можемо аналізувати різні аспекти АТК та вносити зміни для покращення продуктивності, ефективності та якості роботи системи. За допомогою симулятора ми можемо експериментувати з різними параметрами, налаштуваннями або алгоритмами управління, щоб знайти оптимальні рішення.

А ще це метод може дати змогу тренувати персонал. Можемо створювати реалістичні сценарії та умови, де персонал може навчатися взаємодії з системою, виконувати завдання та реагувати на віртуальні події. Це допомагає підвищити їхню підготовку та ефективність.

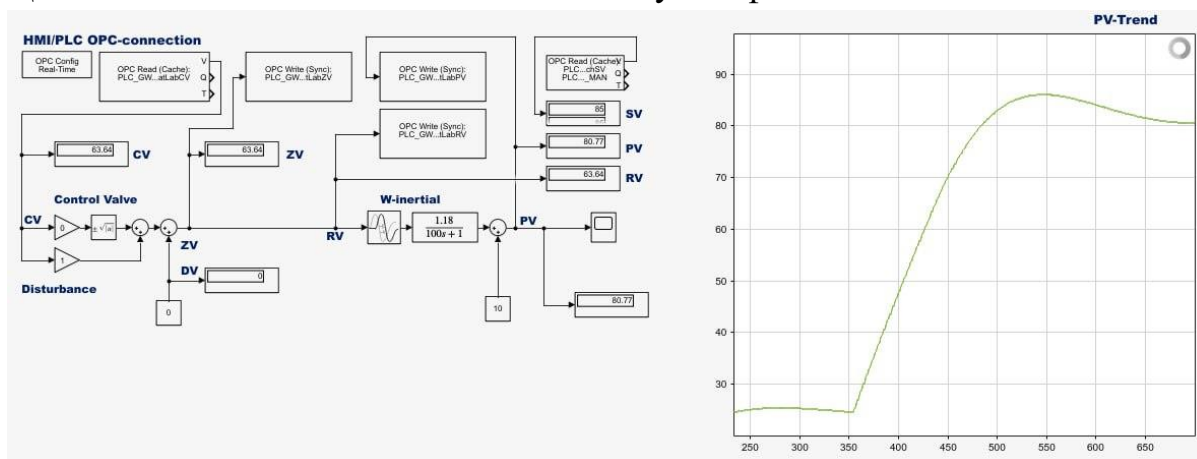


Рисунок 5.12 - Симуляція вікна Simulink для одноконтурної САР контролю температури на виході з котла, шляхом зміни швидкості обертання електромотора, що подає паливо

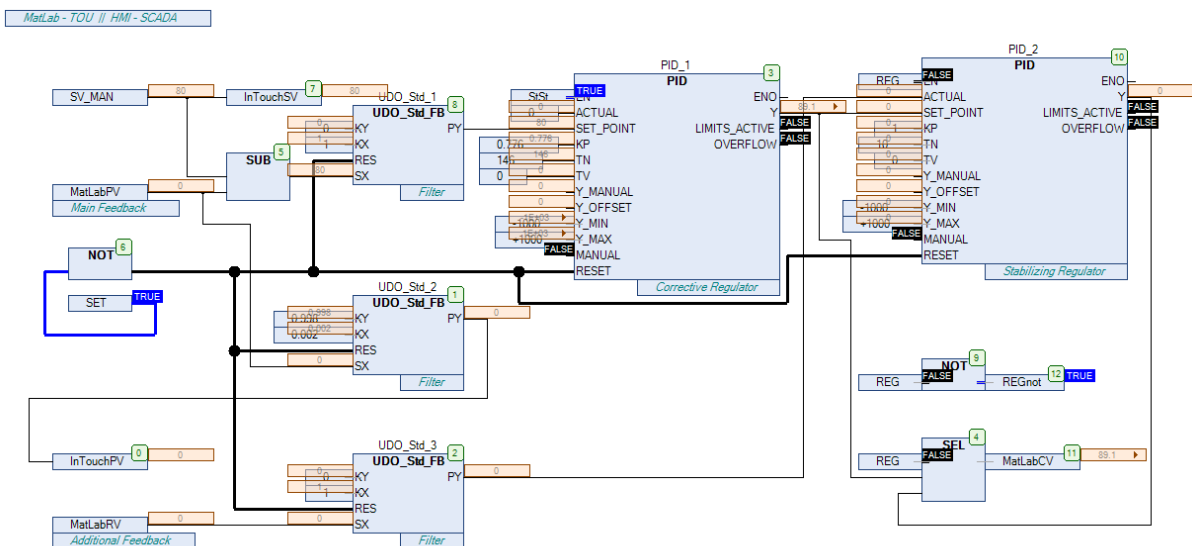


Рисунок 5.13 - Симуляція вікна Codesys для одноконтурної САР контролю температури на виході з котла, шляхом зміни швидкості обертання електромотора, що подає паливо

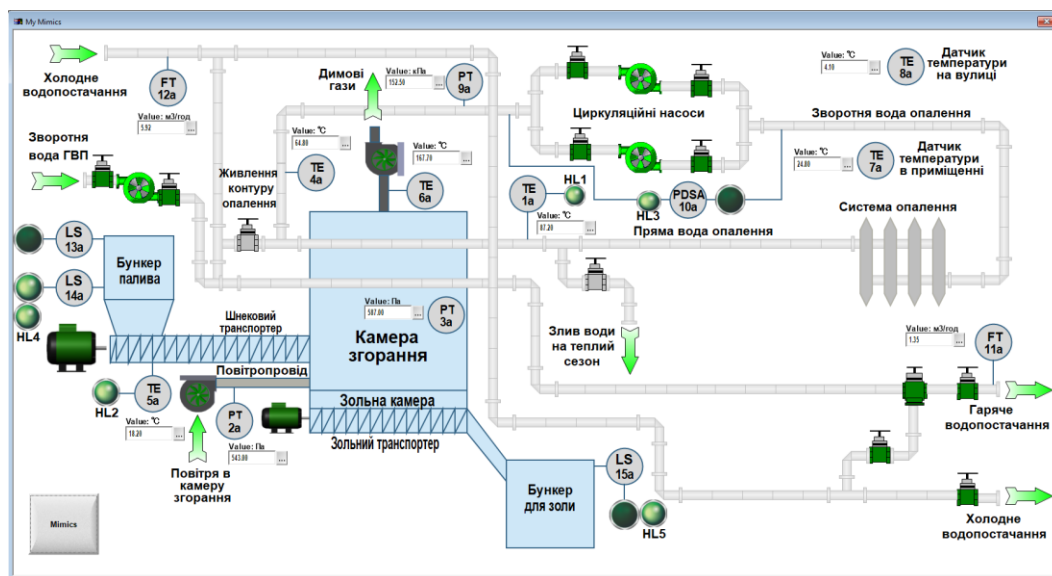


Рисунок 5.14 - Симуляція вікна WebStudio для одноконтурної САР контролю температури на виході з котла, шляхом зміни швидкості обертання електромотора, що подає паливо

РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці в Україні є важливою складовою системи забезпечення безпеки та здоров'я працівників. Основними джерелами нормативно-правового регулювання охорони праці в Україні є закон України «Про охорону праці», Кодекс законів про працю України, закони, постанови та накази відповідних міністерств та інших органів влади. Основні принципи охорони праці в Україні включають в себе контроль та нагляд за дотриманням діючих нормативних актів в сфері безпеки праці і охорони здоров'я, встановлення відповідальності за порушення існуючих нормативів як у працівниками, так і роботодавцями, а також запровадження необхідних профілактичних заходів, які повинні бути спрямовані на запобігання виникненню небезпечних ситуацій на робочих місцях та зниження існуючих рівнів ризиків.

Тема дипломного проекту «Автоматизованої системи управління твердопаливним водогрійним котлом у тренажерному залі». Дана система передбачає контроль за температурою води на виході з котла, шляхом автоматичної подачі палива у камеру згоряння.

Все технологічне обладнання, включаючи котел, знаходиться в спеціальному приміщенні, доступ до якої має лише кваліфікований персонал. Робочі місця обслуговуючого персоналу знаходяться за межами цього приміщення, що забезпечує комфортну температуру та відсутність значного рівня виробничого шуму та вібрацій. Всі електричні кабелі знаходять в закритих коробах або вмонтовані в стіну, для уникнення випадкового ураження електричним струмом.

Для регулювання параметрів технологічних процесів використовуються датчики температури, датчики тиску, виконавчі механізми у вигляді електромоторів, циркуляційних насосів та вентиляторів. Управління технологічними процесами здійснюється за допомогою контролеру, який знаходиться у закритому щиті керування з обмеженим доступом.

В даному розділі дипломного проекту запропоновані необхідні технічні рішення та організаційні заходи з безпеки експлуатації засобів автоматизації та технологічного устаткування, електробезпеки, а також визначені основні заходи з гігієни праці, виробничої санітарії та пожежної безпеки і профілактики.

					ТА-91391.0007.001.АТХ.П	Арк.
						109
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6.1 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки експлуатації засобів автоматизації та технологічного устаткування на спроектованому об'єкті управління

Застосовані технічні рішення та організаційні заходи спрямовані на забезпечення безпеки праці та охорони здоров'я людини при експлуатації засобів автоматизації та технологічного обладнання на спроектованому об'єкті управління. Вони включають у себе різноманітні технічні рішення, які охоплюють використання специфічних технологій, матеріалів та обладнання з метою забезпечення необхідного рівня безпеки. Крім того, організаційні заходи також є важливою частиною цього комплексного підходу, оскільки вони включають розробку правил, процедур та практик, спрямованих на запобігання потенційним небезпекам та прийняття необхідних заходів у разі виникнення аварійних ситуацій. Головною метою цих заходів є забезпечення захисту людей, майна та довкілля від можливих негативних наслідків, що можуть виникнути в результаті експлуатації технічного обладнання.

Для забезпечення безпечної та комфортної для персоналу роботи об'єкта управління, потрібно передбачати наступні рішення:

- 1) Твердопаливний водогрійний котел знаходиться в окремому приміщенні, яке є невеликою прибудованою частиною будівлі. Такі заходи необхідні для того, щоб запобігти небажаних травмувань та випадкового втручання сторонніх осіб в технологічний процес чи непередбаченого пошкодження обладнання.
- 2) Встановлення датчиків чадного газу для виключення можливості задимлення приміщення чадним газом або потрапляння шкідливих речовин у повітря робочої зони. Також у разі задимлення передбачена система аварійної вентиляції яка забезпечує видалення чадних газів.
- 3) Встановлення ефективної системи повітропостачання до камери згорання. Дуттєвий вентилятор, що нагнітає повітря в камеру згорання, бере повітря з вулиці, що дає достатньо велику кількість кисню за короткі проміжки часу.
- 4) Система димососу є повністю герметичною і має потужний димосос, що справляється із значною кількістю димових газів. Димопровід виводиться на вулицю. Він має на кінці труби додаткове накриття для запобігання потрапляння води. Також він обладнаний іскрогасником,

					ТА-91391.0007.001.АТХ.П	Арк.
						110
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

для перешкоджання викиду із камери згоряння іскри, попелу або гарячих частинок.

- 5) Контроль якості палива включає декілька етапів перевірки: чи підходить даний тип палива, чи є паливо високої якості, яка вологість палива та його форма. Всі ці характеристики є важливі для забезпечення експлуатаційних режимів роботи котла та системи управління.
- 6) Оскільки температура в приміщенні з котлом завжди буде високою, то утеплення котлового приміщення не передбачено.
- 7) Система вентиляції котлового приміщення забезпечує свіже та більш холодне повітря для регулювання високої температури в приміщенні.
- 8) Зберігання палива в котловому приміщенні може бути пожежо небезпечним, тому паливо зберігається у бункері під накриттям, що розташований на дворі для зручного завантаження палива із машини.
- 9) Звіти та ведення журналів дає можливість відстежувати роботу котла, виявляти тенденції та приймати рішення, щодо безпеки, покращення роботи та експлуатації котла.
- 10) Простір для персоналу є достатнім для зручного ходіння біля всіх об'єктів та складає не менше 0.8 м вільного проходу, навіть при відкриванні дверей щита чи котла.
- 11) Обмежений доступ до котлового приміщення необхідний для того, щоб забезпечити доступ до приміщення лише кваліфікованого персоналу і запобігти доступу сторонніх осіб до обладнання та самого котла.
- 12) Забезпечення регуляторної очистки котла від золи та відкладень, що забезпечує вищу ефективність роботи котла.

Рішення з електробезпеки

- 1) При аварійних ситуаціях на щитовому блоці управління знаходяться підписані світлові індикатори які повідомляють про тип проблеми та кнопка пуску/зупинки системи, що дає додаткову безпеку для персоналу у аварійних ситуаціях.
- 2) Безпечне розташування електропроводів. Електрокабелі вмонтовані в стіну, коробки живлення закриті, а зовнішні проводи знаходяться в закритих кабельних каналах типу гофротруби чи перфорованих коробах.

					ТА-91391.0007.001.АТХ.П	Арк.
						111
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 3) Запобіжні заходи. На всіх електроприладах встановлені ручні вимикачі живлення, що допомагає запобігти виникненню електричних аварій та збереже обладнання від пошкоджень.
- 4) Передбачений обмежений доступ персоналу до щита керування, доступ до обладнання має лише кваліфікований персонал.
- 5) Тип електричної мережі, що використовується для живлення обладнання є трифазна електрична мережа з глухозаземленою нейтраллю, робочою напругою 220/380В та частотою змінного струму 50 Гц.

Живлення таких приладів як контролер, модуль розширення, електричні пускачі та датчики здійснюється через блок живлення напругою 24В, який сам живиться від напруги 220В, частотою 50Гц. Живлення циркуляційних насосів та електромотора здійснюється з шини живлення від напруги 220В, частотою 50 Гц. Трифазне живлення у 380В підводиться через частотні перетворювачі до електродвигуна подачі палива, дуттєвого вентилятора та димососа.

Згідно з ДСТУ 7237:2011 [19] для запобігання випадкового дотику до металевих не струмових частин, застосовують такі види захисту:

- 1) Захист від прямого дотику
 - ізолювання струмових частин;
 - використання надструмового пристрою RCD.
- 2) Захист від непрямого дотику
 - застосування захисного заземлення (тип TN);
 - подвійне ізолювання провідників;
 - застосування ізоляційних покриттів по типу гофротруби чи перфорованого короба;
 - застосування ізоляційних бар'єрів.
- 3) Захист від надлишкового струму
 - застосування автоматичного відключення по перезавантаженню, наприклад автоматичний вимикач;
 - застосування автоматичного відключення по замиканню, наприклад автоматичний вимикач.

У нашому випадку, згідно з вимогами ПУЕ-2017 [20], для забезпечення безпеки використовується захисне заземлення типу TN, з підсистемами TN-C і TN-S. Головною метою цього заземлення є запобігання можливості ураження людини при пробії на корпус обладнання однієї з фаз електричної мережі. Шляхом підключення за

					ТА-91391.0007.001.АТХ.П	Арк.
						112
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

допомогою PEN- або PE-провідника до нейтралі електричної мережі всіх не струмовідних провідних частин електроустановки, замикання однієї з фаз на корпус перетворюється на однофазне коротке замикання, що викликає спрацювання пристроїв максимального струмового захисту, таких як плавкі вставки або електромагнітні розчіплювачі. Контроль стану захисного заземлення з підсистемами TN-C і TN-S проводиться один раз на кожні 5 років.

Отже, можемо зробити висновок, що у приміщенні з твердопаливним котлом та тренажерному залі дотримані всі вимоги щодо електричної безпеки, всі елементи є заземлені та ізольовані від випадкового доступу.

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

Технічне рішення та організаційні заходи з гігієни праці та виробничої санітарії складають комплекс заходів, спрямованих на забезпечення безпеки та здоров'я працівників у робочому середовищі.

Технічні рішення охоплюють використання спеціальних технологій, обладнання та матеріалів з метою зменшення ризику небезпечних ситуацій та впливу шкідливих чинників на працівників. Наприклад, це можуть бути заходи щодо покращення вентиляції та очищення повітря, використання звукоізоляційних матеріалів, автоматизація фізичних робіт та встановлення пристроїв для захисту від потенційно небезпечного устаткування.

Організаційні заходи передбачають розробку та впровадження виробничих процесів, правил і процедур з метою запобігання ризикам та поліпшення умов праці. Наприклад, це може включати навчання працівників з питань безпеки, встановлення чітких інструкцій щодо виконання робіт, проведення регулярних медичних оглядів працівників, раціональне розташування робочих місць та заходи проти перевантаження та шкідливих факторів, а також забезпечення доступу до необхідних засобів індивідуального захисту.

Основною метою технічних рішень та організаційних заходів з гігієни праці та виробничої санітарії є забезпечення безпеки, фізичного та психологічного здоров'я працівників, запобігання професійним захворюванням, зменшення впливу шкідливих факторів на організм працівників, а також створення комфортних і безпечних умов праці. Це сприяє зниженню випадків травм, покращенню загального самопочуття

					ТА-91391.0007.001.АТХ.П	Арк.
						113
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

працівників, збільшенню продуктивності та підвищенню якості виробництва. Важливим елементом є систематичне оновлення технічних рішень і організаційних заходів згідно з нормативними вимогами та прогресом в галузі охорони праці.

6.2.1 Мікроклімат

Відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 [21] параметри мікроклімату, що нормуються: температура ($t^{\circ}\text{C}$) і відносна вологість ($W, \%$) повітря, швидкість руху повітря ($V, \text{м/с}$). Допустимі та оптимальні параметри мікроклімату такі як температура, вологість та швидкість повітря повинні встановлюватись у відповідності до сезону, кількості виділеного тепла установками, теплоізоляційними характеристиками приміщення, кількістю вікон.

Таблиця 6.1 - Параметри мікроклімату відповідно до ДСН 3.3.6.042-99

Період року	Оптимальні			Допустимі		
	$t^{\circ}\text{C}$	$W, \%$	$V, \text{м/с}$	$t^{\circ}\text{C}$	$W, \%$	$V, \text{м/с}$
Теплий	23-25	40-60	<0.2	23-26	30-60	0.1-0.25
Холодний	20-22	40-60	<0.1	20-24	30-60	0.1-0.2

Для досягнення всіх вище зазначених параметрів потрібне обладнання, Для досягнення необхідної температури потрібен водогрійний котел з контуром опалення, для досягнення вологості потрібен штучний зволожувач повітря або вентиляція повітря, для досягнення необхідної швидкості повітря потрібно уникати будівельних особливостей які створюють протяги та встановлювати вентиляцію. Кожна система може впливати і на інші параметри, тому важлива комплексна робота всіх систем.

У персонала, що працює безпосередньо з котлом при високих температурах обов'язково повинне бути екіпірування для безпечної роботи з об'єктом та унеможливлення потрапляння на шкіру іскри або отримання опіків від високих температур.

6.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується гранично-допустимими концентраціями (ГДК) в мг/м³ згідно з ГОСТ 12.1.005-88 [22].

У випадку твердопаливного котла, в кімнаті якій він знаходиться може бути не значне забруднення повітря димовими газами або дрібними частинками попелу в повітрі. Для запобігання таких забруднень у повітрі, дана кімната має власну систему підсиленої вентиляції, що дозволяє майже повністю очистити повітря від шкідливих речовин.

У приміщенні тренажерного залу, також присутня підсилена система вентиляції, щоб уникати неприємних запахів та нагнітати більшу кількість свіжого повітря, адже людина під час тренування вдихає вдвічі більше кисню ніж у спокої.

6.2.3 Виробниче освітлення

Освітлення будівлі може бути штучним або природним. Оскільки будівля складається з декількох кімнат і не у всіх є доступ до вікон то оцінимо кожен кімнату окремо.

Основна кімната тренажерного залу має панорамне вікно на одній із стін, площею на всю стіну. Освітленість на вулиці складає близько 50 люксів. Освітленість приміщення складає 20 люксів. Згідно до вимог ДБН В.2.5-28-2018 [23] про коефіцієнт природного освітлення, який знаходиться за формулою: $K_{ПО} = e = E_{вн}/E_{зовн} \cdot 100(\%)$, визначимо ефективність освітлення. КПО для даної кімнати складає 40%.

Дві кімнати роздягалень мають однакові розміри та не мають вікон, отже і не мають природного освітлення. Кожна з роздягалень оснащена освітленням із датчиками присутності силою у 250 люксів.

Кімната з котлом має два невеликих вікна, через яких сила освітлення яка проходить складає 5 люксів. Знайдемо КПО = 10%.

Додатково кожна кімната оснащена декількома групами штучної системи освітлення які включаються у відповідності до потреби. У головній залу тренажерного залу при вмиканні всіх груп освітлень сила світла буде складати до 800 люксів.

					ТА-91391.0007.001.АТХ.П	Арк.
						115
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6.2.4 Виробничий шум

Допустимі рівні звукового тиску наведені в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 - Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного(непостійного) широкосмугового (тонального) шуму

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах частот із середньгеометричними значеннями (Гц)									Допустимий рівень звуку (ДБА)
	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Приміщення з котлом	102	98	93	85	82	77	75	72	70	80
Приміщення керування	81	79	73	63	61	55	56	51	50	60

Основним джерелом шуму є циркуляційні насоси та шум води яка циркулює у системі. Також шум створюють дуттєвий вентилятор та димосос. Загальний рівень шуму в кімнаті з котлом та системами складає близько 90 дБА, що відповідає ДСН 3.3.6.037-99 [24], так як ця кімната є ізольованою від основної частин приміщенні куди звуки не потрапляють.

Шум від самого котла не виникає так як горіння відбувається в закритій камері яка ізолює всі внутрішні звуки. Звук подачі палива також відсутній, так як не крутиться дуже повільно та не створює різного роду звуків.

6.2.5 Виробничі вібрації

Відповідно до вимог ДСН 3.3.6.039-99 [25] нормуються допустимі величини віброшвидкості (м/с) чи віброприскорення (м/с²), або логарифмічні рівні віброшвидкості $L = 20\lg(V_i/V_0)$, дБ (V_i – середньоквадратичне значення віброшвидкості за певний період часу, м/с; $V_0 = 5 \cdot 10^{-8}$, м/с – вихідне значення віброшвидкості) залежно від частоти коливань, їх виду (транспортні, транспортно-технологічні та технологічні

вібрації робочого інструменту, устаткування чи робочих місць), напрямку (X, Y, Z) і часу дії протягом робочої зміни.

Виробничі вібрації на робочому місці можуть створюватися циркуляційними насосами, електромоторами, вентиляторами. Загальний рівень вібрацій не перевищує норм вказаних за ДСН 3.3.6.039-99. на робочому місці амплітуда вібрацій може складати до 0.005 мм при частоті 100 Гц.

Для зменшення рівня вібрацій можна дотримуватися таких норм:

- впровадження нових технологій або засобів автоматизації;
- модернізація застарілого обладнання;
- використання крипильних механізмів або прокладок які гасять вібрації;
- повністю ізолювати джерела вібрацій.

6.3 Пожежна безпека та профілактика

Згідно з ДСТУ Б.В.1.1-36:2016 [26] категорія приміщення і будівлі за вибухопожежною та пожежною небезпекою можна присвоїти категорію В. Клас робочої зони приміщення за вибухопожежобезпекою та пожежонебезпекою можна віднести до класу П-Па – пожежонебезпечна. Оскільки опалення приміщення здійснюється водяним контуром, що обігрівається твердопаливним котлом, пожежна небезпека є на високому рівні.

Ймовірні причини виникнення пожежі:

- загоряння палива в шнековій камері, та його розгортання до бункера з паливом;
- неконтрольований виліт іскри або гарячого попелу під час відкривання дверей котла для обслуговування;
- перегрів обладнання яке знаходиться близько до котла;
- загоряння в зв'язку із коротким замиканням електричних з'єднань та проводок;
- можливий перегрів палива у бункері з паливом;
- відкритий бункер з паливом, перед відкритим сонцем.

					ТА-91391.0007.001.АТХ.П	Арк.
						117
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6.3.1 Технічні рішення системи запобігання пожежі

Для запобігання пожежі дотримано таких заходів:

- у шнековій камері автоматичної подачі палива, встановлений датчик температури, який фіксує підвищення температури, що означає спалахування матеріалу в шнековій камері. Щоб запобігти розповсюдженню вогню до бункера з паливом, електромотор подачі палива вмикається на повну, щоб перемістити тліюче паливо у камеру згорання;
- персонал повинен бути ознайомлений з правилами пожежної безпеки, евакуації та користуванням вогнегасниками;
- у приміщенні із котлом повинні бути встановлені вогнегасники для гасіння вогню як звичайного, так і вогню від короткого замикання;
- обладнання, що знаходиться близько до котла не повинно мати покриття із легкозаймистих або легкоплавких матеріалів;
- для запобігання спалахування палива у бункері з паливом, який розташований на дворі, він накривається захисною кришкою, щоб на паливо не потрапляло сонячне проміння;
- використання автоматичних вимикачів при коротких замиканнях або стрибках напруги;
- так як об'єктом управління є твердопаливний котел, всі електромережі повинні бути сховані або надійно ізольовані та жаростійкі.

6.3.2 Технічні рішення системи протипожежного захисту

Технічні рішення протипожежного захисту АСК водогрійного твердопаливного котла у тренажерному залі повинні включати кілька технічних рішень для забезпечення безпеки згідно вимог ДБН В.2,5-56-2014 [27]:

- 1) Встановлення автоматичних систем пожежної сигналізації та пожежогасіння;
- 2) Встановлення детекторів диму та вогню;
- 3) Встановлення пожежних сповіщувачів;
- 4) Використання згідно вимог ДСТУ 3875-98 [28] та ISO 3941-2007 [29] первинних засобів пожежогасіння (вогнегасників)

					ТА-91391.0007.001.АТХ.П	Арк.
						118
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 5) Автоматичне вимкнення електроенергії під час пожежної сигналізації;
- 6) Розробка плану евакуацій у потрібних місцях;
- 7) Проведення навчальних курсів для персоналу, щодо поведінки при пожежних небезпеках;
- 8) Розділення простору котельні з іншими приміщеннями (основний зал, роздягальні тощо).

					ТА-91391.0007.001.АТХ.П	Арк.
						119
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 7 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК

Техніко-економічний розрахунок є методологією, що використовується для оцінки ефективності технічних проектів, прийняття інвестиційних та економічних рішень.

Техніко-економічний розрахунок (ТЕР) включає в себе багато аспектів, таких як технічні показники, вартість виробництва, очікувані доходи, чистий прибуток, показники повернення інвестицій, амортизацію обладнання, ризики та інші економічні показники.

Для оцінки затрат на створення системи потрібно поррахувати загальну вартість системи з усіма елементами, що включає в себе система.

Таблиця 7.1 - Вартість обладнання на створення системи (кошторис)

№	Назва приладу	Одиниці виміру	К-сть, шт.	Вартість одиниці, грн	Загальна вартість, грн
1	Датчик температури MBT 5252	шт.	4	6400	25600
2	Датчик температури в кімнаті ST-02	шт.	1	300	300
3	Датчик температури на вулиці ST-01	шт.	1	600	600
4	Датчик тиску MBS 1700	шт.	3	5000	15000
5	Реле перепаду тиску КР44	шт.	1	5500	5500
6	Витратомір SIEMENS QVE3000.010	шт.	2	10000	20000
7	Ємнісний датчик рівня DLS-27N-20	шт.	3	8200	24600
8	Світловий індикатор XB4VB4EX	шт.	5	1500	7500

Продовження таблиці 7.1

№	Назва приладу	Одиниці виміру	К-сть, шт.	Вартість одиниці, грн	Загальна вартість, грн
9	Кнопка старту системи ХВ4ВА31	шт.	1	300	300
10	Кнопка зупинки системи ХВ4BS8444	шт.	1	800	800
11	Блок живлення ABLMA 24025	шт.	1	2200	2200
12	ПЛК Modicon TM172PDG42RI	шт.	1	20000	20000
13	Модуль розширення Modicon TM172E28R	шт.	1	8000	8000
14	Контактори TPRST009	шт.	4	6600	26400
15	Частотний перетворювач ATV212	шт.	3	16000	48000
16	Автоматичний вимикач A9K23125	шт.	5	200	1000
17	Силовий автоматичний вимикач A9K23316	шт.	4	500	2000
18	DIN-рейка	м	3	200	600
19	Силова клемма	шт.	30	60	1800
20	Прохідна клемма	шт.	36	50	1800
21	Короб пластиковий перфорований	м	7	200	1400
22	Фіксатори на рейці	шт.	16	50	800
23	Металева монтажна пластина	шт.	1	1000	1000
24	Щит ЩШМ	шт.	1	6000	6000

Кінець таблиці 7.1

№	Назва приладу	Одиниці виміру	К-сть, шт.	Вартість одиниці, грн	Загальна вартість, грн
25	Електропривід Belimo EV24A-SZ-TPC	шт.	1	22000	22000
26	Кабель керування МКЕШ 2х0.75	м	110	20	2200
27	Кабель керування МКЕШ 3х1.5	м	50	60	3000
28	Кабель силовий ВВГ-нг 3х2.5	м	40	40	1600
29	Кабель силовий ВВГ-нг 4х2.5	м	50	50	2500
30	Кабель керування МКЕШ 4х1.5	м	32	75	2400
31	Кабель силовий ВВГ-нг 5х2.5	м	20	80	1600
32	Гофротруба	м	340	30	10200
33	Провід ПВ2 1.5	м	10	15	150
34	Провід ПВ3 1.5	м	15	20	300
35	Провід ПВ6 2.5	м	10	40	400
36	Маркування для проводів	шт.	500	1.5	750
Вартість обладнання, грн:					271 000

Отже з таблиці 7.1 бачимо, що загальна вартість обладнання на створення автоматизованої системи управління твердопаливним водогрійним котлом у тренажерному залі, складає 271 тис. грн.

Знайдемо капітальну вартість впровадження АСК твердопаливного водогрійного котла в тренажерному залі за формулою:

$$\Delta K_{авт} = B_{об} + B_{пр} + B_m + B_m + B_{nn}$$

$B_{об}$ - загальна вартість обладнання АСК;

B_{np} - вартість на проектування, розробку алгоритмів управління та програмування системи верхнього рівня;

B_m - витрати на пакування та транспортування;

B_{μ} - витрати на монтаж складових системи;

B_{nn} - витрати на виконання пусконаладжувальних робіт.

Загальна вартість обладнання АСК твердопаливного котла в тренажерному залі складає $B_{об} = 271\,000$ грн.

Припустимо, що вартість проектування, розробку алгоритмів управління та програмування системи верхнього рівня буде складати 5% від вартості обладнання. $B_{np} = 271\,000 * 5\% = 13\,550$ грн.

Витрати на пакування та транспортування будуть складати витрати на перевезення палива, вивезення золи та буде складати 3% від вартості обладнання. $B_m = 271\,000 * 3\% = 8\,150$ грн.

Витрати на монтаж складових системи складає 20% від вартості обладнання. $B_{\mu} = 271\,000 * 20\% = 54\,200$ грн.

Витрати на виконання пусконаладжувальних робіт складає 10% від вартості обладнання. $B_{nn} = 271\,000 * 10\% = 27\,100$ грн.

Отже визначимо капітальну вартість впровадження АСК:

$$\Delta K_{авт} = 271\,000 + 13\,550 + 8\,150 + 54\,200 + 27\,100 = 374\,000 \text{ грн}$$

Визначимо також додаткові витрати на обслуговування за формулою:

$$\Delta B_{авт} = B_e + B_a + B_p + B_z$$

B_e - додаткові витрати на електроенергію визначаються виходячи з потужності обладнання та засобів автоматизації і їхнього часу роботи, та знаходиться за формулою: $B_e = C_e * T * N$.

C_e - тариф на електроенергію, грн/кВт*год;

T - час роботи обладнання на рік;

N - потужність засобів автоматизації, кВт.

$$C_e = 4.86 \text{ грн/кВт} * \text{год};$$

$$T = 3000 \text{ год};$$

$$N = 10 \text{ кВт}.$$

$$B_e = 4.86 * 3000 * 10 = 145\,800 \text{ грн}$$

B_a - витрати на реновацію (амортизаційні відрахування), знаходимо за формулою: $B_a = 0.2 * \Delta K_{авт} = 0.2 * 374\,000 = 74\,800$ грн

B_p - витрати на поточний ремонт і обслуговування системи визначається за формулою: $B_p = 0.5 * \Delta K_{авт} = 0.5 * 374\,000 = 187\,000$ грн

					ТА-91391.0007.001.АТХ.П	Арк.
						123
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

B_3 - додаткові витрати на зарплату експлуатаційного персоналу знаходимо за формулою: $B_3 = B_{3n} * T * n$

B_{3n} - заробітна плата працівників за місяць, $B_{3n} = 20\,000$ грн;

T - час роботи персоналу за рік, $T = 3$ міс;

n - кількість працівників, $n = 2$ чел.

$$B_3 = 20\,000 * 3 * 2 = 120\,000 \text{ грн}$$

Отже підрахуємо додаткові витрати на обслуговування:

$$\Delta B_{авт} = 145\,800 + 74\,800 + 187\,000 + 120\,000 = 527\,600 \text{ грн}$$

Система буде вважатися економічно ефективною якщо, термін окупності буде менший за нормоване значення терміна окупності ($T_{ок} \leq T_{ок}^*$), якщо нормоване значення терміна окупності складає $T_{ок}^* = 3$ роки.

Також розрахуємо економічну ефективність системи за формулою: $E_{\phi} = \Delta U - E_n * \Delta K_{авт}$

E_n - нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, 0.15.

$$E_{\phi} = 185\,000 - 0.15 * 374\,000 = 128\,900 \text{ грн}$$

ΔU - економія експлуатаційних витрат від введення АСУ в дію, та визначається за формулою: $\Delta U = E_k - \Delta B_{авт}$

E_k - економія від введення в дію АСУ, $E_k = 712\,600$ грн.

$$\Delta U = 712\,600 - 527\,600 = 185\,000 \text{ грн}$$

Знайдемо термін окупності за формулою:

$$T_{ок} = \Delta K_{авт} / \Delta U = 374\,000 / 185\,000 = 2.02 \text{ роки}$$

$$(T_{ок} \leq T_{ок}^*)$$

$$2.02 \text{ роки} \leq 3 \text{ роки}$$

Отже, можна зробити висновок, що система є економічно ефективною, як виконується рівність ($T_{ок} \leq T_{ок}^*$), а термін окупності складає два роки, це означає, що система протягом терміну окупності дає достатньо прибутку для окупності.

					ТА-91391.0007.001.АТХ.П	Арк.
						124
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Дипломний проект присвячений розробці автоматизованої системи управління твердопаливним водогрійним котлом в тренажерному залі площею 1000 м². Було проаналізовано та проведено аналіз подібних систем та обраний саме варіант із твердопаливним водогрійним двоконтурним котлом з автоматичною подачею палива через свою надійність, безпечність та мінімальну залежність від людини.

Дана система має три контури регулювання. Для регулювання температури води на виході з котла обрана одноконтурна система, яка керує швидкістю обертання мотора, що подає паливо в камеру згорання. Для регулювання тиску повітря в повітропроводі та розрідженням в топці обрані одноконтурні системи, які керуються дуттєвим вентилятором та димососом.

Розрахунок надійності вимірювальних каналів показав, що система є досить надійною, може послугувати тривалий термін із обслуговуванням та може витримати високі навантаження.

Для ідентифікації об'єкта був проведений експеримент по отриманню кривої розгону. Для цього регулятор був переведений у ручний режим, а значення параметра стабілізоване, після чого нанесене збурення. Методом логарифмування визначені параметри об'єкта та складена передавальна функція. Після чого розрахований регулятор за двома методами, кращим з яких виявився регулятор розрахований за експрес методом. Також був проведений аналіз чутливості.

Розроблені графічні схеми: функціональна схема автоматизації, схема структурна ПТК, принципова електрична схема, загальний вид щита, монтажна схема щита та схема зовнішніх з'єднань. Також складена специфікація обладнання, яке необхідне для автоматизації процесів.

Створена система була реалізована на ПЛК від компанії «Schneider Electric» та запрограмована у програмі Codesys.

Була розроблена універсальна програма САР в середовищі CODESYS, створено універсальний об'єкт у Matlab Simulink та реалізовано інтерфейс в Indusoft Web Studio для емуляції роботи системи.

Розділ охорони праці детально досліджує аспекти безпеки під час експлуатації системи. В результаті аналізу було підтверджено, що система відповідає всім вимогам безпеки праці. У розділі розглянуті можливі ризики та шляхи запобігання небезпек під час роботи системи. Були встановлені

					ТА-91391.0007.001.АТХ.П	Арк.
						125
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

заходи безпеки, які забезпечують безпечну експлуатацію системи для персоналу тренажерного залу. Такі аспекти, як правильне встановлення та підключення системи, захист від перегріву та перевантажень, а також безпека під час регулярного обслуговування, постійно контролюються, ретельно розглядаються та аналізуються.

Провівши техніко економічний розрахунок, було розраховано приблизний час окупності системи, що складає 2 роки. Даний час окупності є меншим від нормованого значення терміна окупності, це означає, що система є економічно вигідною та ефективною.

Отже, на основі результатів даного проекту, можна рекомендувати впровадження розробленої автоматизованої системи керування для твердопаливного водогрійного котла в тренажерних залах. Ця система не тільки підвищить ефективність роботи, але й сприятиме безпеці та комфорту користувачів, а також забезпечує швидку окупність інвестицій.

					ТА-91391.0007.001.АТХ.П	Арк.
						126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Що таке твердопаливний котел, його призначення та принцип роботи.
URL: <https://teplovik.net/ua/articles/32> (дата звернення: 20.04.2023).
2. Різновиди твердопаливних котлів, їх класифікація за типом палива, методом завантаження та принципом горіння:
URL: <https://boilershop.ua/vidy-bytovyh-tt-kotlov/> (дата звернення: 22.04.2023).
3. Датчик температури MBT 5252. Технічні дані датчика температури.
URL: <https://ugov.ua/catalog/detail/mbt-5252-datchyky-temperatury/> (дата звернення: 28.04.2023).
4. ПЛК Modicon TN172PDG42RI. Паспорт продукту програмовано логічного контролера.
URL: <https://www.se.com/ua/uk/product/TM172PDG42RI/> (дата звернення: 28.04.2023).
5. Датчик температури в кімнаті RAUT automatic ST-02. Технічні характеристики.
URL: <http://www.raut-automatic.kiev.ua/sensors-ru/temperature-ru/air-ru/st-02-ru.html> (дата звернення: 28.04.2023).
6. Датчик температури навколишнього середовища RAUT automatic ST-01. Технічні характеристики.
URL: <http://www.raut-automatic.kiev.ua/sensors-ru/temperature-ru/air-ru/st-01-ru.html> (дата звернення: 28.04.2023).
7. Датчик тиску MBS 1700. Документація. Технічні дані приладу.
URL: <https://ugov.ua/catalog/detail/mbs-1700-biudzhjetnyi-datchyk-tysku/> (дата звернення: 28.04.2023).
8. Реле перепаду тиску КР44. Документація вимірювального приладу.
URL: <https://store.danfoss.com/ua/uk/> (дата звернення: 28.04.2023).

					ТА-91391.0007.001.АТХ.П	Арк.
						127
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

9. Витратомір води Siemens QVE3000.010. Паспорт продукту.
URL: <https://hit.sbt.siemens.com/RWD/app.aspx?RC=AP&lang=en&MODULE=Catalog&ACTION=ShowProduct&KEY=S55720-S211> (дата звернення: 28.04.2023).

10. Модуль розширення Modicon TM172E28R. Паспорт продукту.
URL: <https://www.se.com/ua/uk/product/TM172E28R/> (дата звернення: 28.04.2023).

11. Ємнісний датчик рівня DLS-27N-20. Специфікація.
URL: https://asu-tp.shop/ua/p1751600166-yemkostnye-datchiki-urovnya.html?source=merchant_center&gclid=Cj0KCQIArsefBhCbARIsAP98hXSL8zOBwc_YW9R3xUGADQxg9mImgXT8RD8bIX1prfSnTm_SJsHElscaAlvhEALw_wcB (дата звернення: 28.04.2023).

12. Блок живлення ABLM1A24025. паспорт продукту.
URL: <https://www.se.com/ua/uk/product/ABLM1A24025/> (дата звернення: 28.04.2023).

13. Частотний перетворювач ATV212. Паспорт продукту.
URL: <https://www.se.com/ua/uk/product/ATV212HU30N4/> (дата звернення: 28.04.2023).

14. Червоний світловий індикатор XB4VBV4EX. Паспорт продукту.
URL: <https://www.se.com/ua/uk/product/> (дата звернення: 28.04.2023).

15. Кнопка старту та зупинки системи XB4BA31. Паспорт продукту.
URL: <https://www.se.com/ua/uk/product/XB4BA31/> (дата звернення: 28.04.2023).

16. Електромагнітне реле TeSys island SIL. Паспорт продукту.
URL: <https://www.se.com/ua/uk/product/TPRST009/> (дата звернення: 28.04.2023).

17. Автоматичний вимикач A9K23125. Паспорт продукту.
URL: <https://www.se.com/ua/uk/product/A9K23125/> (дата звернення: 28.04.2023).

					ТА-91391.0007.001.АТХ.П	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		128

18. Силовий автоматичний вимикач А9К23316. Паспорт продукту.
URL: <https://www.se.com/ua/uk/product/A9K23316/> (дата звернення: 28.04.2023).
19. ДСТУ 7237:2011 (Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту).
20. ПУЕ-2017 (Правила улаштування електроустановок).
21. ДСН 3.3.6.042-99 (Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень).
22. ГОСТ 12.1.005-88 (Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітряної робочої зони).
23. ДБН В.2.5-28-2018 (Природне і штучне освітлення).
24. ДСН 3.3.6.037-99 (Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку).
25. ДСН 3.3.6.039-99 (Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації).
26. ДСТУ Б.В.1.1-36:2016 (Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх споруд за вибухопожежною та пожежною небезпекою).
27. ДБН В.2,5-56-2014 (Системи протипожежного захисту. Зі зміною №1).
28. ДСТУ 3875-98 (Необхідна кількість вогнегасників та їх тип).
29. ISO 3941-2007 (Класифікація пожеж. Засоби пожежної безпеки і боротьби з вогнем).

					ТА-91391.0007.001.АТХ.П	Арк.
						129
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		