

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

Навчально-науковий інститут атомної та теплової енергетики

Кафедра автоматизації енергетичних процесів

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Володимир ВОЛОЩУК

«__» _____ 20__ р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

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

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

на тему: «АСК електричним парогенератором ПГ-21»

Виконав:

студент IV курсу, групи ТА-01

Азін Олександр Євгенович _____

Керівник:

доцент, к.т.н.

Степанець Олександр Васильович _____

Консультант з охорони праці:

доцент, к.т.н.

Каштанов Сергій Федорович _____

Рецензент:

Головний спеціаліст ТОВ «ЄКОПЛАСТ»

Сосін Віктор Станіславович _____

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

Студент _____

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

Азіну Олександрю Євгеновичу

1. Тема проєкту «АСК електричним парогенератором ПГ-21», керівник проєкту Степанець Олександр Васильович, доцент, к.т.н., затверджені наказом по університету від «__» _____ 20__ р. № _____
2. Термін подання студентом проєкту «17» червня 2024р.
3. Вихідні дані до проєкту: Автоматизована система керування парогенератором ПГ-21. Контури регулювання: рівня води у барабані парогенератора, температури пари на виході. Підтримання оптимального значення температури шляхом зміни напруги на ТЕНи.
4. Зміст пояснювальної записки: 1. Проєктування АСУТП. 2. Інженерний розрахунок САР. 3. Опис графічної частини проєкту. 4. Програмування ПТКЗА. 5. Імітаційне моделювання АТК. 6. Охорона праці. 7. Техніко-економічний розрахунок. Висновки. Список використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): 1. Функціональна схема автоматизації (1 арк. ф. А3). 2. Принципова електрична схема (2 арк. ф. А3). 3. Креслення загального виду щита автоматизації (1 арк. ф. А3). 4. Схема монтажна щита (1 арк. ф. А3). 5. Специфікація обладнання (2 арк. ф. А3). 6. Відомість документів проєкту (1 арк. ф. А4).

6. Консультанти розділів проєкту

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

7. Дата видачі завдання «20» травня 2024 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Постановка задачі автоматизації ТОУ. Обґрунтування та аналіз.	20.05.2024	
2	Структурна ПТК	22.05.2024	
3	Схема автоматизації функціональна	24.05.2024	
4	Креслення загального виду щита	25.05.2024	
5	Синтез САР і аналіз її функціонування.	27.05.2024	
6	Розрахунок вимірювальних та виконавчих каналів АТК	28.05.2024	
7	Схема електрична підключень	30.05.2024	
8	Розрахунок надійності функціонування АСУ	1.06.2024	
9	Схеми підключень кабелів, клем, приладів	3.06.2024	
10	Полігонні випробування імітаційної моделі і аналіз функціонування АСУ	4.06.2024	
11	Охорона праці	6.06.2024	
12	Розрахунок техніко-економічної ефективності	7.06.2024	
13	Оформлення пояснювальної записки	9.06.2024	
14	Передзахист ДП	14.06.2024	
15	Захист ДП	19.06.2024	

Студент

Олександр АЗІН

Керівник

Олександр СТЕПАНЕЦЬ

АНОТАЦІЯ

Дипломний проект бакалавра, 114 сторінок, 95 рисунків.

Об'єктом дипломного проектування є електричний парогенератор ПГ-21.

Предметом дипломного проектування є автоматизована система керування електричним парогенератором ПГ-21.

Метою проекту є розробка техноробочого проекту автоматизованої системи керування парогенератором електричним ПГ-21. Основні завдання проекту включають покращення контролю, ефективності та надійності установки з метою покращення якості та безперервності процесу виробництва пари, порівняно з існуючою системою, на основі якої розробляється цей проект.

Основним призначенням автоматизованої системи управління є підтримка температури пари на заданому значенні.

Результатом дипломного проектування є техноробочий проект автоматизованої системи керування електричним парогенератором ПГ-21. Цей проект містить детальний опис системи керування, включаючи алгоритми, схеми, програмне забезпечення та необхідне апаратне забезпечення. Також до проекту включені техніко-економічні розрахунки та опис засобів охорони праці, що використовуються для цього проекту.

Цей проект має практичний сенс, оскільки він допомагає підвищити ефективність, безпеку та надійність електричного парогенератора, покращити якість виробленої пари та надати оператору більше контролю над процесом порівняно з існуючою системою автоматизації.

Ключові слова: парогенератор, АСК, перегрів пари, автоматизація.

ABSTRACT

Bachelor's diploma project, 114 pages, 95 figures.

The object of diploma design is the PG-21 electric steam generator.

The subject of diploma design is the automated control system of the PG-21 electric steam generator.

The goal of the project is the development of a technical and operational project of an automated control system for the PG-21 electric steam generator. The main tasks of the project include improving the control, efficiency and reliability of the unit in order to improve the quality and continuity of the steam production process, compared to the existing system, on the basis of which this project is being developed.

The main purpose of the automated control system is to maintain the steam temperature at a given value.

The result of the diploma design is a technical and operational project of the automated control system of the PG-21 electric steam generator. This project includes a detailed description of the control system, including algorithms, circuits, software, and required hardware. The project may also include technical and economic calculations and a description of the means of labor protection used for this project.

This project makes practical sense, as it helps increase the efficiency, safety and reliability of the electric steam generator, improve the quality of the generated steam, and give the operator more control over the process compared to the existing automation system.

Key words: steam generator, ACS, steam overheating, automation.

**Пояснювальна записка
до дипломного проекту
на тему: «АСК електричним парогенератором ПГ-21»**

Київ – 2024 року

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1 ПРОЄКТУВАННЯ АСУ ТП.....	5
1.1 Характеристика технологічного об'єкту управління.....	5
1.2 Вибір і обґрунтування структури АСУТП ТОВ.....	7
1.3 Технологічні параметри АСУТП ТОВ.....	10
1.4 Функції АСУТП.....	10
1.5 Схема автоматизації функціональна.....	11
1.6 Схема структурна програмно-технічного комплексу.....	12
1.7 Перелік і аналіз джерел техніко-економічної ефективності АТК ТОВ.....	13
РОЗДІЛ 2 ІНЖЕНЕРНИЙ РОЗРАХУНОК САР.....	14
2.1 Інженерний розрахунок вимірювальних каналів САР.....	14
2.1.1 Перелік вимірювальних каналів (ВК).....	14
2.1.2 Схеми структурні вимірювальних каналів.....	14
2.1.3 Особливості електричних підключень датчиків вимірювальних каналів.....	16
2.1.4 Монтаж технічних засобів вимірювальних каналів.....	17
2.1.5 Захист технічних засобів вимірювальних каналів від перешкод.....	19
2.1.6 Схеми структурні надійності вимірювальних каналів.....	20
2.1.7 Метрологічний розрахунок вимірювальних каналів.....	20
2.1.8 Розрахунок надійності вимірювальних каналів.....	22
2.1.9 Функції первинної обробки даних вимірювання в ПЛК.....	26
2.1.10 Висновок щодо роботоздатності вимірювальних каналів САР.....	26
2.2 Інженерний розрахунок регулювально-виконавчих каналів САР.....	26
2.2.1 Перелік систем автоматичного регулювання.....	26
2.2.2 Функціональна і структурна схеми САР.....	28
2.2.3 Схема структурна регулювально-виконавчого каналу САР.....	29
2.2.4 Схема структурна програмно-технічних засобів САР.....	30

						ТА-01388.0001.001.АТХ.П			
						Автоматична система керування електричним парогенератором ПГ-21			
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата	Пояснювальна записка	Стадія	Аркуш	Аркушів
Розробив	Азін О. С.						ДП	7	114
Перевірів	Степанець О. В.						КПІ ім.Ігоря Сікорського, НН ІАТЕ, гр.ТА-01		
Н. Контроль	Некрашевич О.В.								
Затвердив	Волощук В.А.								

2.2.5	Схема структурна надійності реалізації управляючої функції САР	31
2.2.6	Розрахунок надійності реалізації управляючої функції САР....	31
2.2.7	Ідентифікація об'єкта управління.....	32
2.2.8	Розрахунок регуляторів САР.....	34
2.2.9	Функціональне моделювання САР.....	37
2.2.10	Висновки щодо роботоздатності РВК САР.....	38
РОЗДІЛ 3 ОПИС ГРАФІЧНОЇ ЧАСТИНИ ПРОЄКТУ.....		39
3.1	Схема функціональна автоматизації ТОУ.....	39
3.2	Схема структурна ПТК.....	39
3.3	Схема принципова електрична АСР.....	39
3.4	Креслення загального виду щита.....	40
3.5	Схема монтажна щита (таблиця з'єднань).....	41
3.6	Специфікація обладнання.....	41
РОЗДІЛ 4 ПРОГРАМУВАННЯ ПТКЗА.....		44
4.1	Програмування функціональності ПЛК.....	44
4.2	Програмування функціональності SCADA-системи.....	54
РОЗДІЛ 5 ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АТК.....		58
5.1	Схема структурна полігону імітаційного моделювання АТК ТОУ...	58
5.2	Функціональне моделювання ОУ в СКМ Matlab Simulink.....	58
5.3	Реалізація контролерної функціональності САР в софтПЛК CoDeSys	59
5.4	Реалізація супервізорної HMI-Standard функціональності в HMI/SCADA-системі WebStudio.....	64
5.5	Реалізація супервізорної MES-Lite функціональності в HMI/SCADA-системі WebStudio.....	67
5.6	Структурне моделювання АТК в програмно-технічному симуляторі	69
РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ.....		72
6.1	Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки експлуатації засобів автоматизації і технологічного устаткування.....	73
6.1.1	Електробезпека.....	77
6.2	Технічні рішення та організаційні заходи з гігієни праці та виробничої санітарії.....	80
6.2.1	Мікроклімат робочої зони.....	80
6.2.2	Склад повітря робочої зони.....	81
6.2.3	Виробниче освітлення.....	82

6.2.4 Виробничий шум.....	83
6.2.5 Виробничі вібрації.....	83
6.2.6. Виробничі випромінювання.....	83
6.3 Пожежна безпека та профілактика.....	84
6.3.1 Технічні рішення системи запобігання пожежі.....	84
6.3.2 Технічні рішення системи протипожежного захисту.....	86
6.3.3 Пожежна профілактика.....	88
РОЗДІЛ 7 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК.....	90
ВИСНОВКИ.....	90
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	90

ВСТУП

У даному дипломному проекті розглядається барабанний ТЕНовий електричний парогенератор. Цей вид парогенератора використовується в різних галузях промисловості завдяки своїй ефективності та надійності. Основною метою проекту є модернізація існуючої системи автоматизації парогенератора з метою підвищення його продуктивності, безпеки та енергоефективності.

Проект базується на даних і матеріалах, зібраних під час виробничої практики. Це дозволило глибоко вивчити поточний стан парогенератора, визначити його основні недоліки та потенційні напрямки для вдосконалення. Використовуючи отримані знання та практичний досвід, були розроблені конкретні технічні рішення, спрямовані на поліпшення роботи системи автоматизації.

В процесі дослідження були проведені аналізи існуючого обладнання, систем керування та моніторингу, а також оцінка їх відповідності сучасним вимогам і стандартам. На основі цього аналізу були визначені основні напрями модернізації, які включають:

- Оптимізацію роботи ТЕНових елементів для забезпечення стабільного виробництва пари;
- Впровадження сучасних систем контролю і моніторингу для підвищення рівня автоматизації;
- Використання енергоефективних технологій для зменшення витрат на електроенергію;
- Забезпечення високого рівня безпеки експлуатації парогенератора.

Реалізація даного проекту сприятиме підвищенню ефективності роботи підприємства, зниженню експлуатаційних витрат і покращенню екологічної безпеки виробництва. Таким чином, дипломний проект є важливим кроком до

впровадження інноваційних рішень у галузі виробництва пари, що відповідає сучасним вимогам ринку та сприяє сталому розвитку підприємства.

Метою дипломного проектування є розробка техноробочого проекту автоматизованої системи управління технологічними процесами барабанного електропарогенератора ПГ-21.

					ТА-01388.0001.001.АТХ.П	Лист
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1 ПРОЄКТУВАННЯ АСУ ТП

1.1 Характеристика технологічного об'єкту управління

Електричний парогенератор – це тип парового парогенератора, в якому вода випаровується за допомогою нагрівних елементів що живляться електрично. Розрізняють два види електричних парогенераторів – електродні і ТЕНові.

Трубчастий електронагрівник (ТЕН) — електричний нагрівник опору, що складається з нагрівального елементу з контактними стрижнями на кінцях, найчастіше запресованого разом з електроізоляційним наповнювачем в металеву оболонку [10][11].

Об'єктом дослідження і модернізації обрано барабанний електричний парогенератор на ТЕНах, що має наступні характеристики:

- Назва: Парогенератор ПГ-21;
- Ел. потужність: 21 кВт;
- Ток за фазою: 32 А;
- Напруга живлення: 380 В;
- Паропродуктивність: 27 кг/год;
- Робочий тиск: 3 кг/см²;
- Температура насиченої пари: 143°C;
- Запобіжна температура ТЕНів: 147°C;
- Схема підключення ТЕНів: зірка;
- Запобіжний тиск: 3,5 кг/см².

Регулювання потужністю ТЕНів дискретне, на основі ПД-регулятора. Переключення нагріву здійснюється безконтактно, з використанням напівпровідників.

					ТА-01388.0001.001.АТХ.П	Лист 12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сам об'єкт складається з барабану, вода у який подається за допомогою насосу і підтримується на певному рівні, та парового тракту через який пара покидає парогенератор. Нагрівання та випаровування води відбувається шляхом нагрівання ТЕНів, занурених у воду всередині барабану. ТЕН встановлюється в одну зі стінок барабану. Система потребує захисту від перевищення показників тиску та температури, так як це може призвести до виходу об'єкту з ладу та завдати поранень персоналу. Для коректної роботи системи, рівень води, показники тиску пари на виході, та температури ТЕНів мають підтримуватися на безпечному рівні.

Система, що розглядається у даному проекті, є модернізацією існуючої системи, дослідженої протягом виробничої практики. До уваги беруться основні переваги дослідженої системи: низька ціна, доступність використаних приладів, простота та компактність монтажу. Рішення, прийняті на всіх етапах проектування були мотивовані наміром розробити кращий варіант існуючої системи, зберігаючи економічність і компактність.

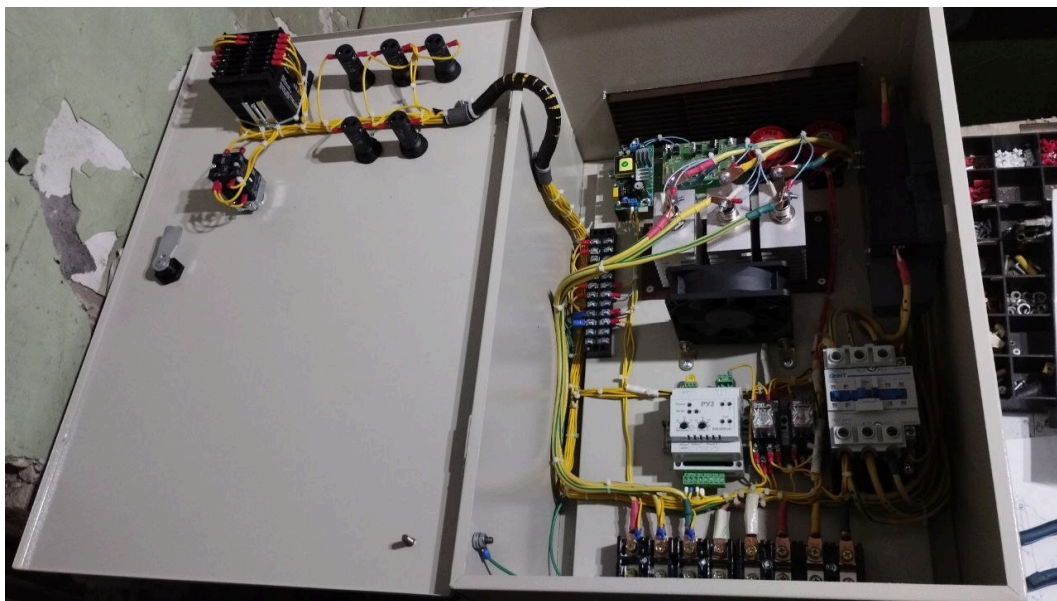


Рисунок 1.1 - Загальний вид щита системи, що модернізується

1.2 Вибір і обґрунтування структури АСУТП ТОУ

Найчастіше, параметрами, що регулюються у системах з барабанними парогенераторами є [8]:

- Температура пари на виході з парогенераторами;
- Тиск на виході з парогенераторами;
- Витрата пари на виході парогенераторами;
- Рівень води у барабані парогенераторами.

Зазвичай у системах з барабанним парогенератором регулювання основного параметру (тиску, температури, витрати пари) здійснюється за допомогою замкненої одноконтурної системи [5]. Замкнені системі обираються через те, що кількість зовнішніх збурень на об'єкт в більшості випадків є незначною.

Також може використовуватись система на два ПІД-регулятора. На вхід основного подається сигнал задатчика температури, а на вихід регулюючий сигнал на нагрівник парогенератора. Другий може приймати на вхід температуру води у барабані, або пари у проміжній точці паропроводу, і керувати подачею води у барабан, додатковими охолоджувальними системами, тощо. Таким чином другий ПІД-регулятор виступає в ролі стабілізатора основного параметру.

Обраний регульований параметр залежить від потреб замовника, часто ним виступає температура, коли як тиск виступає в ролі захисного параметру, а витрата пари – інформаційного.

У разі електричного парогенератора на ТЕНах система не потребує додаткового регулювання економічності згоряння палива, розрідження димових газів, тощо. Нагрівний елемент може керуватися як за допомогою дискретного, так і за допомогою аналогового сигналу. У разі дискретного нагрівного елементу, можна використати широтно-імпульсну модуляцію, для перетворення аналогового

значення на виході з ПД-регулятора у форму, що може успішно керувати нагрівником.

Вода, що подається у барабан, часто проходить попередню підготовку, підігрівається до певної температури для підвищення ККД парогенератора, та фільтрується. Підтримання чистоти води від домішок дозволяє підвищити час експлуатації між процедурами очистки та обслуговування барабану.

Деякі системи можуть мати електричний клапан, що зливає воду з барабану, для забезпечення більш оперативного захисту, або більш точного регулювання рівня води у барабані. Також, датчики рівня можуть бути як системою дискретних датчиків, так і аналоговим датчиком, що отримує числове значення рівня води у барабані.

АСУТП ТОУ, що розглядається у даному ДПБ охоплює рівні L0, L1 та L2 підприємства за стандартом ISA-95. Регулювання здійснюється за допомогою ПЛК на рівні L1, який здійснює обмін даними з давачами і виконавчими механізмами ТОУ (рівень L0) та з системою SCADA (рівень L2).

В заданій системі основним параметром, що регулюється, є температура генерованої пари. Задачею системи автоматизації є підтримання цього параметра на заданому користувачем рівні та збільшення швидкості перехідного процесу. Барабанний електропарогенератор є об'єктом з високою інерційністю, тобто вихідний параметр в нього змінюється з достатньо помітною затримкою після зміни вхідних параметрів. Основними збуреннями даного об'єкту є зміни навколишньої температури та зміна завдання користувачем. В заданій системі також повинна бути передбачена система підтримки рівня води у барабані.

Враховуючи інерційність системи, і незначний вплив на неї зовнішніх збурень можемо зробити висновок, що для контуру регулювання вихідної температури перегрітої пари добре підійде замкнена одноконтурна система регулювання [5]. Регулювання здійснюється за допомогою ПД регулятора. На вхід

					ТА-01388.0001.001.АТХ.П	Лист 15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

регулятора подається сигнал від датчика температури вихідної пари, а на вихід регулюючий сигнал на ТЕН. Так як ТЕН керується дискретно, доцільно використати широтно-імпульсну модуляцію. Для цієї системи доцільно використовувати ПІ-регулятор, так як він забезпечує нульову статичну похибку і мінімальну чутливість до шумів у вимірювальному каналі.

Для підтримання рівня води у барабані ПІД-регулятор не потрібен. Регулювання рівнем буде здійснюватись шляхом активації/деактивації насоса на вході у барабан, відповідно до показників двох дискретних датчиків рівня всередині барабану.

Також в системі буде забезпечений захист від перегріву ТЕНа та захист від перевищення тиску всередині парогенератора. Це буде реалізовано шляхом слідкування за показниками датчика температури, встановленому на ТЕНі, і відключення подачі напруги на ТЕН у разі перевищення допустимої температури. Захист від перевищення тиску буде реалізований автоматичним відкриттям запобіжного клапану пари, який буде випускати надлишок пари у разі досягнення тиском показнику вище допустимого.

1.3 Технологічні параметри АСУТП ТОУ

Таблиця 1.1 - Режимні параметри

Назва параметру	Діапазон вимірювань	Допустиме відхилення	Од. вим.	Тип сигналу
Температура пари на виході з парогенератора	0...160	$\pm 2 \%$	°C	Аналоговий
Вищий допустимий рівень води у барабані				Дискретний
Нижчий допустимий рівень води у барабані				Дискретний

Таблиця 1.2 - Захисні параметри

Назва параметру	Діапазон вимірювань	Допустиме відхилення	Од. вим.	Тип сигналу
Температура ТЕНів	0...160	± 2 %	°C	Аналоговий
Тиск пари у паропроводі	0...0.4	± 2 %	МПа	Аналоговий

Таблиця 1.3 - Контрольні параметри

Назва параметру	Діапазон вимірювань	Допустиме відхилення	Од. вим.	Тип сигналу
Температура води у барабані	0...160	± 2 %	°C	Аналоговий
Витрата живильної води	0...30	± 2.5 %	кг/год	Аналоговий

1.4 Функції АСУТП

Управляючі функції:

- Стабілізація температури пари на виході з парогенератора шляхом зміни стану ТЕНів всередині барабану;
- Підтримання рівня води в барабані в необхідних межах шляхом зміни стану водяного насоса на вході у парогенератор.

Захисні функції:

- Аварійний захист ТЕНів від перегрівання шляхом вимірювання температури ТЕНів, блокування напруги на ТЕНи у разі перевищення температурою безпечного значення, та сигналізації у разі продовження перегріву;
- Аварійний захист від перевищення тиску всередині паропровода шляхом сигналізації при перевищенні тиском безпечних меж.

Інформаційні функції:

- Вимірювання температури пари на виході з парогенератора;
- Вимірювання тиску пари в паропроводі;
- Вимірювання температури ТЕНів;
- Вимірювання температури води у барабані;
- Вимірювання витрати живильної води.

1.5 Схема автоматизації функціональна

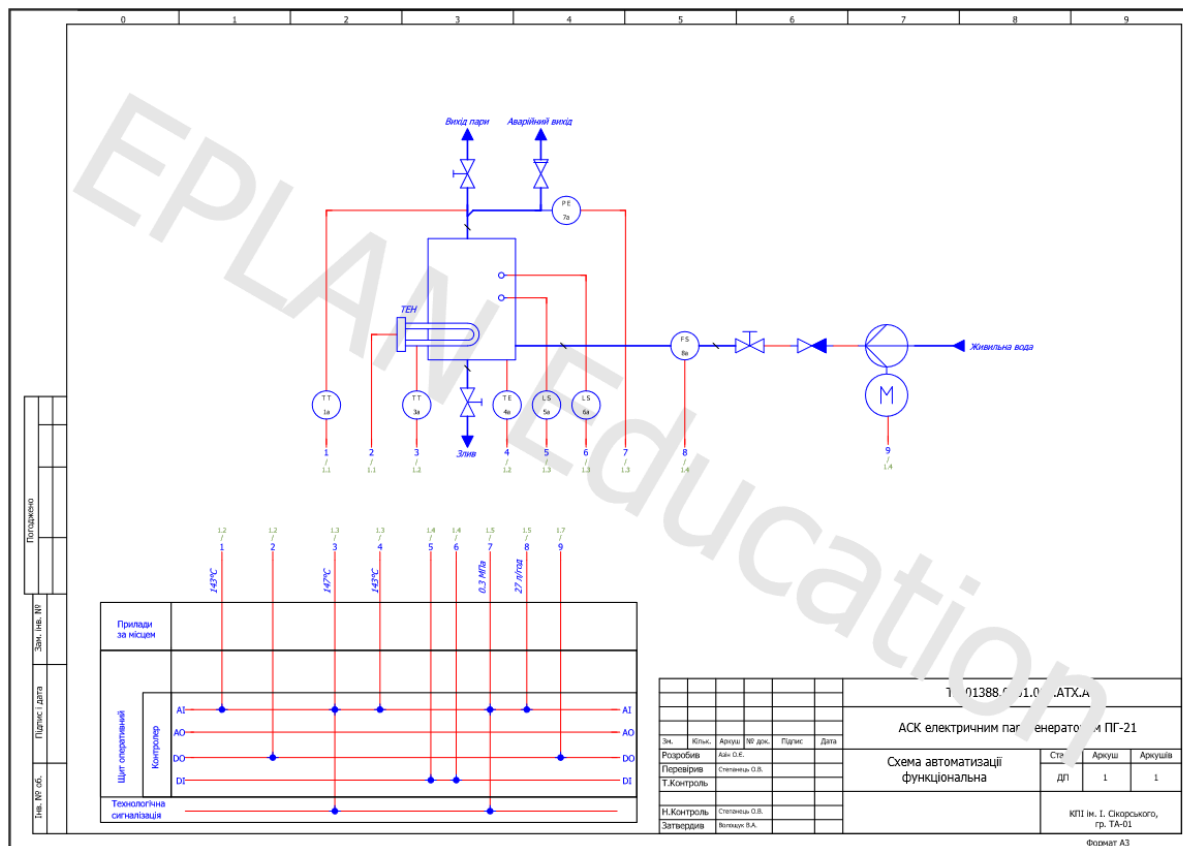


Рисунок 1.2 - Схема функціональна автоматизації ТОУ

Живильна вода за допомогою насосу (9) подається у барабан, проходячи через зворотній та ручний клапани. Температура води в барабані вимірюється датчиком температури 4а. Нагрівання води виконується за допомогою ТЕНів (2). Температура ТЕНів вимірюється датчиком температури 3а, а температура вихідної пари датчиком 1а. Датчі 1а, 3а і 4а підключені до АЦП 4б. Тиск пари у паропроводі вимірюється датчиком з вбудованим перетворювачем 7а-7б. Рівень води у барабані відслідковують датчі рівня 5а і 6а. Витрата живильної води вимірюється витратоміром 8а-8б

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ТА-01388.0001.001.АТХ.П

1.6 Схема структурна програмно-технічного комплексу

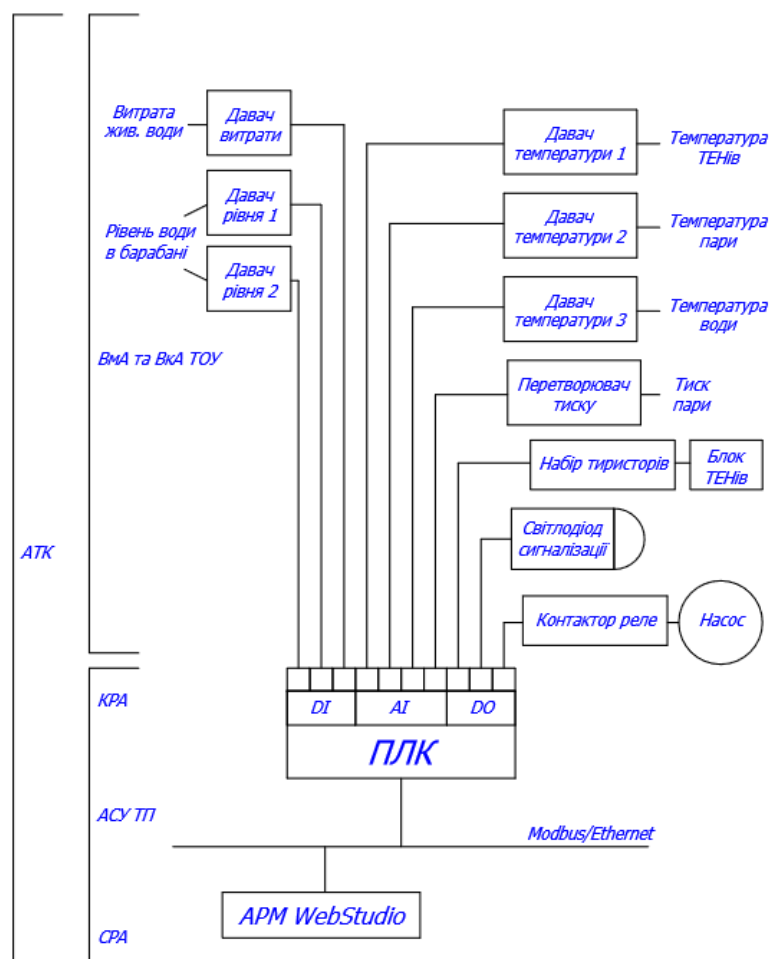


Рисунок 1.3 - Схема структурна ПТК

ТОУ – технологічний об'єкт управління

ВмА – вимірювальна апаратура

ВкА – виконавча апаратура

ПЛК – програмований логічний контролер

АРМ – автоматизоване робоче місце (операторська станція)

СРА – супервізорний рівень автоматизації

АСУ ТП – автоматизована система управління технологічним процесом

КРА – контролерний рівень автоматизації

АТК – автоматизований технологічний комплекс

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ТА-01388.0001.001.АТХ.П

Лист

19

1.7 Перелік і аналіз джерел техніко-економічної ефективності АТК ТОВ

- Зменшення витрат електроенергії та живильної води шляхом високоточного регулювання і вимірювання температури вихідної пари;
- Збільшення якості генерованої пари у порівнянні з парогенератором на ручному управлінні;
- Зменшення кількості персоналу, що веде контроль параметрів парогенератора шляхом зручної передачі всіх вимірюваних параметрів з датчиків оператору;
- Швидке запобігання та сигналізація при виникненні аварійних ситуацій, отже економія на ремонті та обслуговуванні об'єкту управління.

					ТА-01388.0001.001.АТХ.П	Лист
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2 ІНЖЕНЕРНИЙ РОЗРАХУНОК САР

2.1 Інженерний розрахунок вимірювальних каналів САР

2.1.1 Перелік вимірювальних каналів (ВК)

1. ВК температури пари на виході з парогенератора.
2. ВК температури ТЕНів
3. ВК температури води у барабані
4. ВК тиску пари у паропроводі
5. ВК витрати живильної води

2.1.2 Схеми структурні вимірювальних каналів

ІВС температури складається з давачів температури pt100 з вбудованим у головку перетворювачем термоелектричного сигналу в уніфікований 4-20 мА. Кожен давач підключений до модулю аналогових входів ПЛК.



Рисунок 2.1 - Схема структурна ВК температури

ІВС тиску складається з перетворювача тиску з уніфікованим вихідним сигналом 0...10 В підключеного до аналогового входу ПЛК.

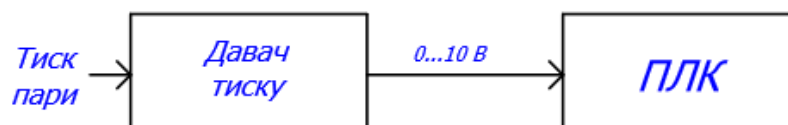


Рисунок 2.2 - Схема структурна ВК тиску

ІВС витрати складається з ультразвукового давача витрати з уніфікованим вихідним сигналом 0...10 В підключеного до аналогового входу ПЛК.

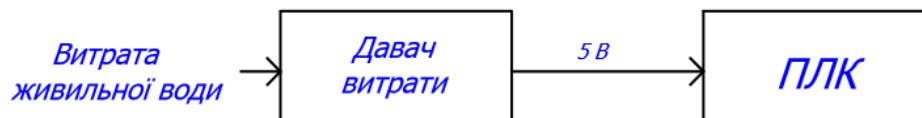


Рисунок 2.3 - Схема структурна ВК витрати

Для вимірювання температури використовується термоперетворювач опору pt100 ТСП-У фірми ТЕРА:

Вихідний сигнал: 4-20 мА

Діапазон перетворення температур: -50 ... 200°C

Похибка: $\pm 0.5\%$

Для вимірювання тиску використовується перетворювач тиску РС-28 фірми Aplisens:

Вихідний сигнал: 4-20 мА, 0...10 В

Діапазон вимірювання тиску: 0... 0.4 МПа

Похибка: $\pm 0.025\%$

Для вимірювання витрати використовується імпульсний давач витрати USN-HS06PA-1:

Вихідний сигнал: дискретний, 76 × (витрата води л/хв) ГЦ

Діапазон вимірювання тиску: 0... 1.5 л/хв

Похибка: $\pm 2\%$

					ТА-01388.0001.001.АТХ.П	Лист 22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.1.3 Особливості електричних підключень датчиків вимірювальних каналів

Згідно з інструкцією підключення датчиків температури до модулю аналогових входів температури ТМЗ [26]:

Wiring Diagram (Current/Voltage type)

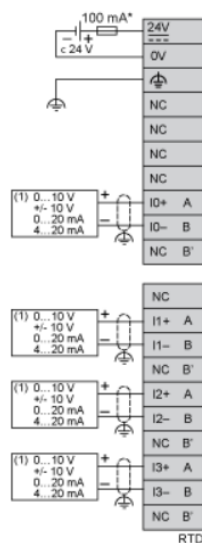
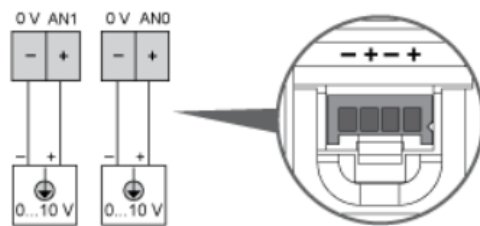


Рисунок 2.4 - Діаграма підключень датчиків з уніфікованим вихідним сигналом до аналогових входів модулю ПЛК.

Згідно з інструкцією підключення датчиків до аналогових входів 0...10 В ПЛК [25]:



The (-) poles are connected internally.

Рисунок 2.5 - діаграма підключень датчиків з уніфікованим вихідним сигналом 0...10 В до аналогових входів ПЛК

Згідно з інструкцією підключення давача тиску [27]:

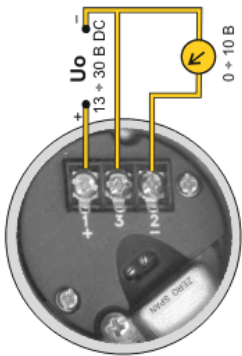


Рисунок 2.6 - Схема підключення давача тиску РС-28 в інструкції виробника

Маємо наступну схему підключення:

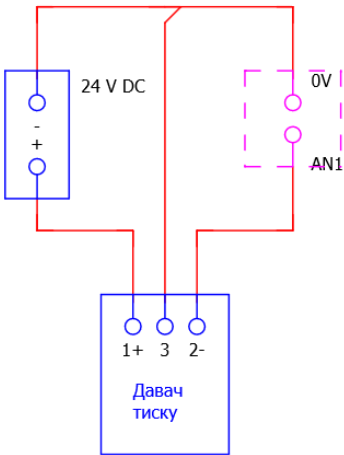


Рисунок 2.7 - Використана схема підключення давача тиску РС-28

2.1.4 Монтаж технічних засобів вимірювальних каналів

Монтаж термоперетворювачів опору здійснюється з дотриманням наступних вимог: виконання монтованих термометрів має відповідати параметрам та властивостям вимірюваного та навколишнього середовища. Перед встановленням термоперетворювачів опору необхідно перевірити цілісність електричного ланцюга термометра і опір ізоляції між чутливим елементом і корпусом

термометра з допомогою мегомметра. Кінець занурюваної частини термоперетворювача опору потрібно розміщувати для платинових термометрів на 50-70 мм нижче осі вимірюваного потоку, для мідного на 25-30 мм; на трубопроводах діаметром 50 мм і менше термоперетворювач опору необхідно встановлювати в спеціальних розширювачах таким чином, щоб потік проходив знизу вгору. При вимірюванні температур середовищ, що мають високий тиск і великі швидкості руху, термометри, що занурюються, монтують у спеціальних захисних оправах. [2][7]

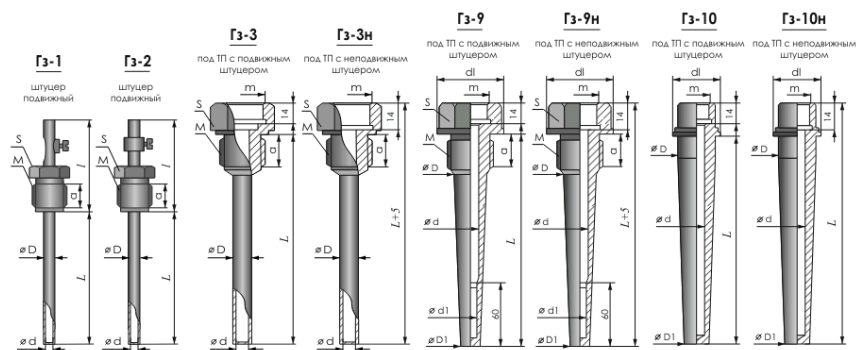


Рисунок 2.8 - Захисні гільзи термоперетворювачів опору

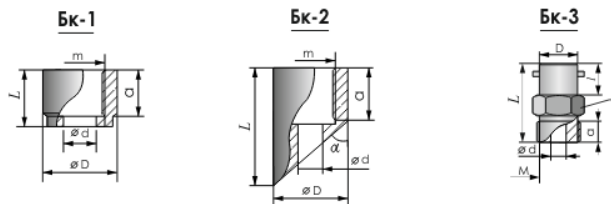


Рисунок 2.9 - Бобишки для монтажу термоперетворювачів опору

Манометр або вкручується в трубу (штуцерний монтаж), або монтується на трубі чи кронштейні (фланцевий монтаж). В останньому випадку прилад підключається до точки вимірювання тиску в трубі (процесі) імпульсною трубкою. Манометр може бути розташований як над трубою процесом, так і нижче труби процесу [2].

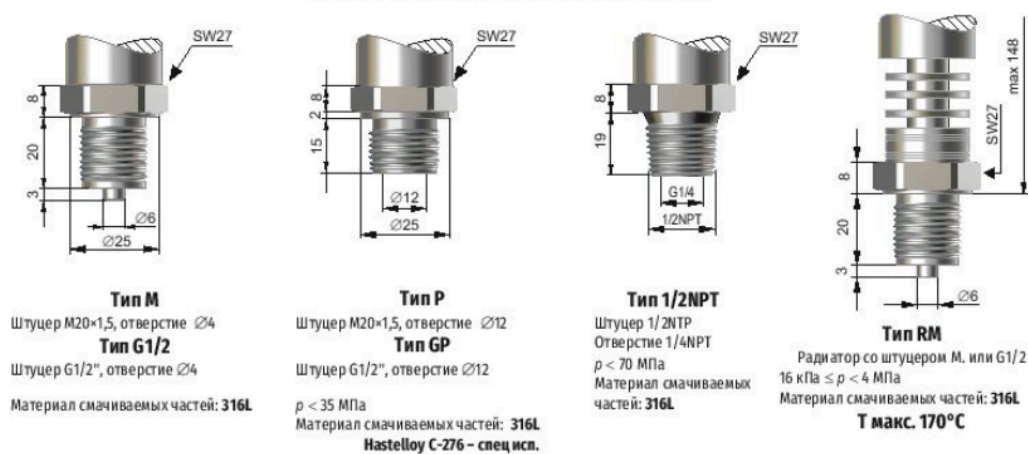


Рисунок 2.10 - Приклади штуцерів манометрів

Витратомір вмонтовується у трубу рідини, витрата якої вимірюється. У випадках якщо розмір труби не відповідає розміру, на який розрахований витратомір, використовуються переходи для труб різних розмірів [2]. Витратомір встановлюється вертикально, згідно з інструкцією.

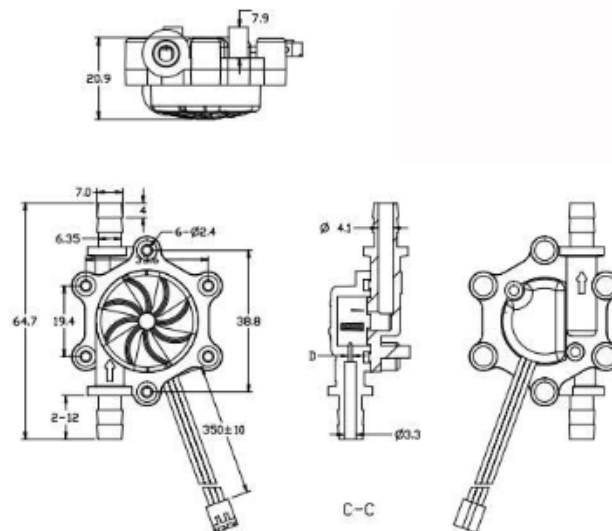


Рисунок 2.11 - Схема витратоміру що використовується

2.1.5 Захист технічних засобів вимірювальних каналів від перешкод

Проводка ВК САР виконується з використанням термоізоляції для частин, безпосередньо розташованих на ТОУ. Заземлення підключень виконується на щиті.

Силові та контрольні кабелі, а також проводи контролю, сигналізації і живлення відповідають ГОСТ 6323-79.

2.1.6 Схеми структурні надійності вимірювальних каналів

Структура ВК САР температури:

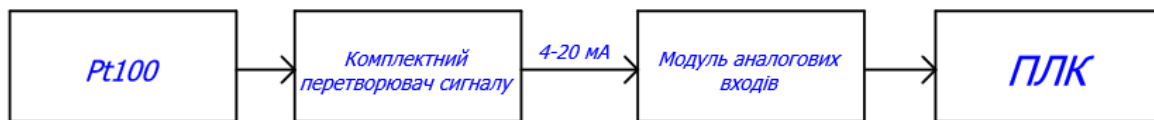


Рисунок 2.12 - Схема структурна надійності ВК САР температури

Структура ВК САР тиску:

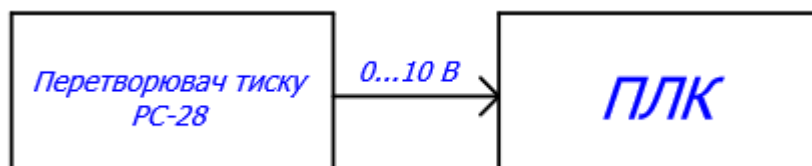


Рисунок 2.13 - Схема структурна надійності ВК САР тиску

Структура ВК САР витрати:

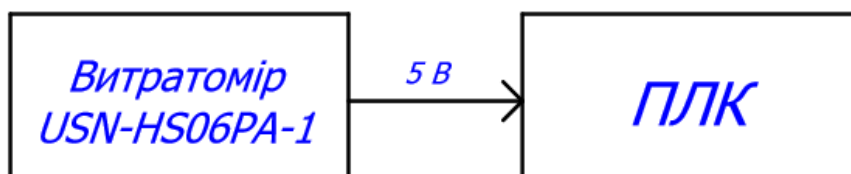


Рисунок 2.14 - Схема структурна надійності ВК САР витрати

2.1.7 Метрологічний розрахунок вимірювальних каналів

Для ВК ІВС температури:

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

Межа основної приведенної похибки контролера: $\varepsilon_{\text{ПЛК}} = 1\%$

Межа основної приведенної похибки каналу давач-контролер:

$$\varepsilon_{\text{Д-ПЛК}} = \sqrt{\varepsilon_{\text{Д}}^2 + \varepsilon_{\text{ПЛК}}^2} = \sqrt{0.5^2 + 1^2} = 1.118\%$$

Межа абсолютної похибки каналу давач-контролер:

$$\Delta_{\text{Д-ПЛК}} = \varepsilon_{\text{Д-ПЛК}} (X_{\text{max}} - X_{\text{min}}) \frac{1}{100} = 1.118(200 + 50) \frac{1}{100} = 2.795^{\circ}\text{C}$$

Результат:

$$X_{\text{Д-ПЛК}} = x \pm 2.795^{\circ}\text{C}$$

Для ВК ІВС тиску:

Межа основної приведенної похибки давача: $\varepsilon_{\text{Д}} = 0.025\%$

Межа основної приведенної похибки контролера: $\varepsilon_{\text{ПЛК}} = 1\%$

Межа основної приведенної похибки каналу давач-контролер:

$$\varepsilon_{\text{Д-ПЛК}} = \sqrt{\varepsilon_{\text{Д}}^2 + \varepsilon_{\text{ПЛК}}^2} = \sqrt{0.025^2 + 1^2} = 1.0003\%$$

Межа абсолютної похибки каналу давач-контролер:

$$\Delta_{\text{Д-ПЛК}} = \varepsilon_{\text{Д-ПЛК}} (X_{\text{max}} - X_{\text{min}}) \frac{1}{100} = 1.0003(0.4 - 0) \frac{1}{100} = 0,004 \text{ МПа}$$

Результат:

$$X_{\text{Д-ПЛК}} = x \pm 0,004 \text{ МПа}$$

Для ВК ІВС витрати:

Межа основної приведенної похибки давача: $\varepsilon_{\text{Д}} = 2\%$

Межа основної приведенної похибки контролера: $\varepsilon_{\text{ПЛК}} = 1\%$

Межа основної приведенної похибки каналу давач-контролер:

					ТА-01388.0001.001.АТХ.П	Лист 28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\varepsilon_{\text{Д-ПЛК}} = \sqrt{\varepsilon_{\text{Д}}^2 + \varepsilon_{\text{ПЛК}}^2} = \sqrt{0.025^2 + 1^2} = 2.236\%$$

Межа абсолютної похибки каналу давач-контролер:

$$\Delta_{\text{Д-ПЛК}} = \varepsilon_{\text{Д-ПЛК}} (X_{\text{max}} - X_{\text{min}}) \frac{1}{100} = 2.236(0.78 - 0) \frac{1}{100} = 0.0174 \text{ л/с}$$

Результат:

$$X_{\text{Д-ПЛК}} = x \pm 0.0174 \text{ л/с}$$

2.1.8 Розрахунок надійності вимірювальних каналів

Розрахуємо параметри надійності вимірювальних каналів [2]. Час напрацювання на відмову елементів ВК ІВС відповідно до документації виробника:

$$\text{ПЛК: } T_{\text{ср}} = 115.92 \text{ роки} \approx 1000000 \text{ год [24]}$$

$$\text{Модуль аналогових входів: } T_{\text{ср}} = 60.375 \text{ роки} \approx 530000 \text{ год [24]}$$

$$\text{Давач температури Pt100: } T_{\text{ср}} \approx 8760 \text{ год [2]}$$

$$\text{Вбуд. перетворювач температури: } T_{\text{ср}} \approx 15500 \text{ год [2]}$$

$$\text{Давач тиску: } T_{\text{ср}} \approx 250000 \text{ год [2]}$$

$$\text{Давач витрати: } T_{\text{ср}} = 43800 \text{ год [16]}$$

Для ІВС температури на кожну вимірювану температуру маємо по 3 канали: давач і перетворювач, перетворювач і модуль аналогових входів, модуль аналогових входів і ПЛК.

Інтенсивність відмов, 1/год:

$$\text{Давача: } \lambda_{\text{Д}} = \frac{1}{T_{\text{ср}}} = 11.4 \cdot 10^{-5}$$

$$\text{Перетворювача: } \lambda_{\text{П}} = \frac{1}{T_{\text{ср}}} = 6.45 \cdot 10^{-5}$$

					ТА-01388.0001.001.АТХ.П	Лист 29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Модуля: $\lambda_M = \frac{1}{T_{cp}} = 0.19 \cdot 10^{-5}$

ПЛК: $\lambda_{ПЛК} = \frac{1}{T_{cp}} = 0.1 \cdot 10^{-5}$

Середній час напрацювання на відмову за каналом Д-П, год:

$$T_{Д-П} = \frac{T_1 T_2}{T_1 + T_2} = \frac{8760 \cdot 15500}{(8760 + 15500)} = 5596$$

Середній час напрацювання на відмову за каналом П-М, год:

$$T_{П-М} = \frac{T_1 T_2}{T_1 + T_2} = \frac{15500 \cdot 530000}{(15500 + 530000)} = 15059$$

Середній час напрацювання на відмову за каналом М-ПЛК, год:

$$T_{М-ПЛК} = \frac{T_1 T_2}{T_1 + T_2} = \frac{530000 \cdot 1000000}{(530000 + 1000000)} = 346405$$

Інтенсивність відмов за каналом Д-П, 1/год:

$$\lambda_{Д-П} = \frac{1}{T_{cp}} = 17.8 \cdot 10^{-5}$$

Інтенсивність відмов за каналом П-М, 1/год:

$$\lambda_{П-М} = \frac{1}{T_{cp}} = 6.65 \cdot 10^{-5}$$

Інтенсивність відмов за каналом М-ПЛК, 1/год:

$$\lambda_{М-ПЛК} = \frac{1}{T_{cp}} = 0.29 \cdot 10^{-5}$$

Ймовірність безвідмовної роботи за період часу місяць, $\tau = 720$ год:

$$P_6^{Д-П} = e^{\frac{-\tau}{T_{cp}}} = 0.88$$

$$P_6^{П-М} = e^{\frac{-\tau}{T_{cp}}} = 0.95$$

$$P_6^{М-ПЛК} = e^{\frac{-\tau}{T_{cp}}} = 0.998$$

Середній час відновлення роботоспроможності ССН, год:

					ТА-01388.0001.001.АТХ.П	Лист 30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Нехай коефіцієнт готовності структурної схеми надійності (ССН)
 $K_{\text{гот}} = 0.995$, тоді:

$$T_{\text{в, Д-П}} = \frac{T_{\text{ср}}}{K_{\text{гот}}} - T_{\text{ср}} = 28$$

$$T_{\text{в, П-М}} = \frac{T_{\text{ср}}}{K_{\text{гот}}} - T_{\text{ср}} = 76$$

$$T_{\text{в, М-ПЛК}} = \frac{T_{\text{ср}}}{K_{\text{гот}}} - T_{\text{ср}} = 1740.7$$

Ймовірність роботоспроможності (готовності до виконання функцій) ССН за період часу місяць, $\tau = 720$ год:

$$P_{\text{оч}}^{\text{Д-П}} = P_{\text{б}}^{\text{Д-П}} \cdot K_{\text{гот}} = 0.8756$$

$$P_{\text{оч}}^{\text{П-М}} = P_{\text{б}}^{\text{П-М}} \cdot K_{\text{гот}} = 0.94525$$

$$P_{\text{оч}}^{\text{М-ПЛК}} = P_{\text{б}}^{\text{М-ПЛК}} \cdot K_{\text{гот}} = 0.99301$$

Для ІВС тиску маємо 1 канал: давач і контролер.

Інтенсивність відмов, 1/год:

$$\text{Давача: } \lambda_{\text{д}} = \frac{1}{T_{\text{ср}}} = 0.4 \cdot 10^{-5}$$

$$\text{ПЛК: } \lambda_{\text{ПЛК}} = \frac{1}{T_{\text{ср}}} = 0.1 \cdot 10^{-5}$$

Середній час напрацювання на відмову за каналом Д-ПЛК, год:

$$T_{\text{Д-ПЛК}} = \frac{T_1 T_2}{T_1 + T_2} = \frac{250000 \cdot 1000000}{(250000 + 1000000)} = 200000$$

Інтенсивність відмов за каналом Д-ПЛК, 1/год:

$$\lambda_{\text{Д-ПЛК}} = \frac{1}{T_{\text{ср}}} = 0.5 \cdot 10^{-5}$$

Ймовірність безвідмовної роботи за період часу місяць, $\tau = 720$ год:

					ТА-01388.0001.001.АТХ.П	Лист 31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_6^{Д-ПЛК} = e^{\frac{-\tau}{T_{cp}}} = 0.996$$

Середній час відновлення роботоспроможності ССН, год:

Нехай коефіцієнт готовності структурної схеми надійності (ССН)

$$K_{гот} = 0.995, \text{ тоді:}$$

$$T_{в, Д-ПЛК} = \frac{T_{cp}}{K_{гот}} - T_{cp} = 1005$$

Ймовірність роботоспроможності (готовності до виконання функцій) ССН за період часу місяць, $\tau = 720$ год:

$$P_{оч}^{Д-ПЛК} = P_6^{Д-ПЛК} \cdot K_{гот} = 0.991$$

Для ІВС витрати маємо 1 канал: давач і контролер.

Інтенсивність відмов, 1/год:

$$\text{Давача: } \lambda_D = \frac{1}{T_{cp}} = 2.283 \cdot 10^{-5}$$

$$\text{ПЛК: } \lambda_{ПЛК} = \frac{1}{T_{cp}} = 0.1 \cdot 10^{-5}$$

Середній час напрацювання на відмову за каналом Д-ПЛК, год:

$$T_{Д-ПЛК} = \frac{T_1 T_2}{T_1 + T_2} = \frac{43800 \cdot 1000000}{(43800 + 1000000)} = 41962$$

Інтенсивність відмов за каналом Д-ПЛК, 1/год:

$$\lambda_{Д-ПЛК} = \frac{1}{T_{cp}} = 2.383 \cdot 10^{-5}$$

Ймовірність безвідмовної роботи за період часу місяць, $\tau = 720$ год:

$$P_6^{Д-ПЛК} = e^{\frac{-\tau}{T_{cp}}} = 0.983$$

Середній час відновлення роботоспроможності ССН, год:

Нехай коефіцієнт готовності структурної схеми надійності (ССН)
 $K_{\text{гот}} = 0.995$, тоді:

$$T_{\text{в,Д-ПЛК}} = \frac{T_{\text{ср}}}{K_{\text{гот}}} - T_{\text{ср}} = 210.9$$

Ймовірність роботоспроможності (готовності до виконання функцій) ССН за період часу місяць, $\tau = 720$ год:

$$P_{\text{оч}}^{\text{Д-ПЛК}} = P_{\text{б}}^{\text{Д-ПЛК}} \cdot K_{\text{гот}} = 0.978$$

2.1.9 Функції первинної обробки даних вимірювання в ПЛК

Програма ПЛК передбачає перетворення значень уніфікованих аналогових сигналів з давачів у числове значення вимірюваної величини в межах вимірювання. Програма також передбачає перевірку сигналів на наявність несправності сенсора.

Програма дозволяє вести запис опрацьованих даних у реєстри протоколу Modbus. Програма не передбачає фільтрації отриманих даних.

Програма передбачає аналіз та порівняння отриманих даних з заданими оператором значеннями для цілей захисту та інформування персоналу. Програма має генератор імпульсів для реалізації плавного керування напругою ТЕНів та перетворення аналогової уставки управління у дискретне значення на проміжку часу.

2.1.10 Висновок щодо роботоздатності вимірювальних каналів САР

Розраховані похибки ВК менші за допустимі, тому ВК є високоточними.

Найменше значення розрахованого середнього час напрацювання на відмову ВК є 41962 годин, що приблизно дорівнює 4.8 років. Ймовірність безвідмовної

роботи за місяць ≥ 0.98 за всіма каналами. Дане значення є задовільним для цілей проекрованої системи.

Програма ПЛК передбачає захист системи від виходу з ладу давачів.

2.2 Інженерний розрахунок регулювально-виконавчих каналів САР

2.2.1 Перелік систем автоматичного регулювання

Перелік САР в АТК:

- Одноконтурна замкнена САР температури пари на виході з парогенератора;
- Релейна САР рівня води в барабані парогенератора.

Перелік завдань:

- Уставка температури пари на виході з парогенератора;
- Стан давачів рівня води в барабані парогенератора.

Перелік регульованих параметрів:

- Виміряна температура пари на виході з парогенератора;
- Рівень води в барабані парогенератора.

Перелік об'єктів управління:

- Канал передачі дії «зміна напруги ТЕНів — температура пари на виході з парогенератора»;
- Канал передачі дії «зміна стану насоса на вході у парогенератор — рівень води у барабані».

Управляючі функції АСУТП:

- Стабілізація температури пари на виході з парогенератора шляхом зміни напруги на ТЕНах;

					ТА-01388.0001.001.АТХ.П	Лист 34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Підтримання рівня води у барабані шляхом зміни стану насосу на вході у парогенератор.

В даному проекті буде детально описана і розрахована САР температури пари на виході з парогенератора.

2.2.2 Функціональна і структурна схеми САР

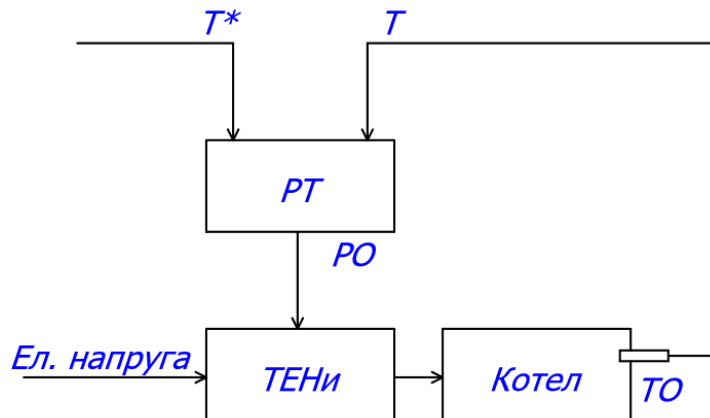


Рисунок 2.15 - Функціональна схема САР температури пари на виході з парогенератора [5].

T – поточна температура

T^* – задана температура (уставка)

TO – термометр опору

PO – регулюючий орган

PT – регулятор температури

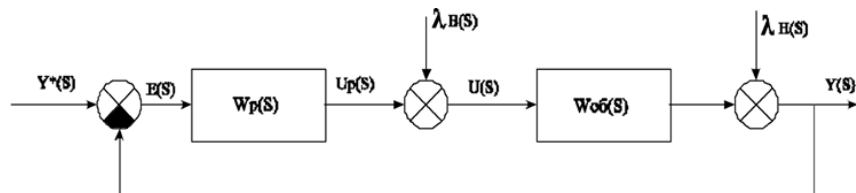


Рисунок 2.16 - Структурна схема САР температури пари на виході з парогенератора [5].

s – оператор Лапласа (оператор диференціювання $d/d\tau$).

$W_o(s)$ – передавальна функція температури пари на виході з парогенератора (ОУ). $Y(s) = W_o(s) \times U(s)$.

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

$Y^*(s)$ – задане значення (уставка) температури пари на виході з парогенератора (Set Value – SV).

$Y(s)$ – поточне вимірюване значення температури пари на виході з парогенератора (Process Value – PV).

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

$U_p(s)$ – управляюча дія регулятора температури пари на виході з парогенератора (Control Value – CV) – задане положення регулюючого органу РО (в даному випадку стан тиристорів перед ТЕНами).

$U(s)$ – управляюча дія на ОУ – напруга ТЕНів з урахуванням збурення (ZV).

$\lambda_v(s)$ – сигнальне збурення зі сторони РО (зміна витрати енергії при незмінному положенні РО внаслідок підключення або відключення споживачів; скачки напруги мережі; тощо). Позначається як DV – Disturbance Value.

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

2.2.3 Схема структурна регулювально-виконавчого каналу САР

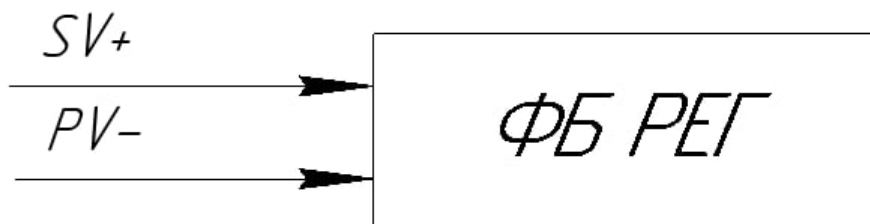


Рисунок 2.17 - Схема структурна регулювального каналу одноконтурної САР температури пари

SV – Set Value, уставка температури пари на виході

PV – Process Value, поточна температура пари на виході

ФБ РЕГ – функціональний блок ПІД-регулятора

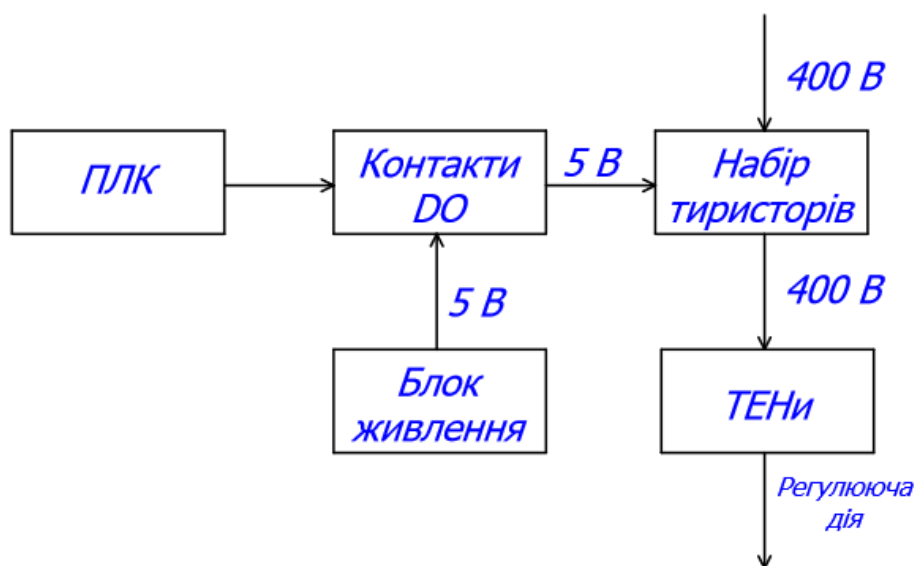


Рисунок 2.18 - Схема структурна виконавчого каналу САР температури пари

У автоматичному режимі напруга на ТЕНи регулюється за допомогою ПІ-регулятора через ПЛК, використовуючи широтно імпульсну модуляцію для перетворення аналогового значення уставки у дискретне значення стану тиристорів. У ручному режимі стан тиристорів перемикається командою

оператора. Переключення режимів реалізовано програмно і виконується диспетчером.

2.2.4 Схема структурна програмно-технічних засобів САР

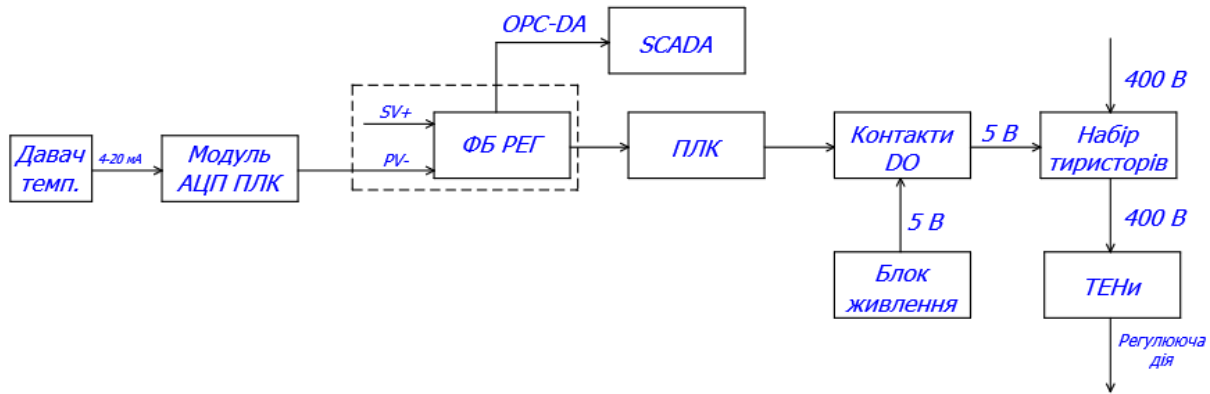


Рисунок 2.19 - Схема структурна ПТЗ САР

Дані з давача та змінні процесу регулювання передаються у SCADA систему за допомогою протоколу OPC-DA.

2.2.5 Схема структурна надійності реалізації управляючої функції САР

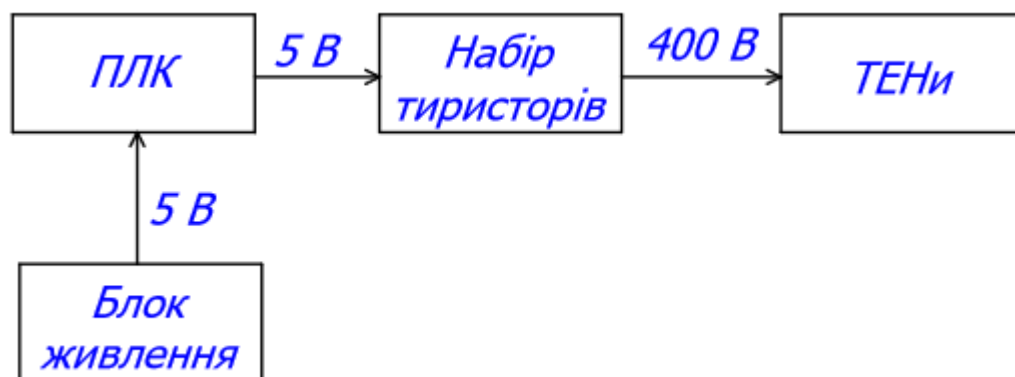


Рисунок 2.20 - Схема структурної надійності реалізації управляючої функції САР температури пари на виході з парогенератора.

2.2.6 Розрахунок надійності реалізації управляючої функції САР

Задамо необхідний середній час напрацювання на відмову ≥ 1000 годин.
Проведемо розрахунки параметрів надійності [2].

Час напрацювання на відмову елементів САР:

ПЛК: $T_{\text{ср}} = 115.92 \text{ роки} \approx 1000000 \text{ год}$ [24]

Блок живлення: $T_{\text{ср}} = 0.5 \text{ років} \approx 4560 \text{ год}$ [2]

Набір тиристорів: $T_{\text{ср}} = 10 \text{ років} \approx 87600 \text{ год}$ [19]

Блок ТЕНів: $T_{\text{ср}} = 2 \text{ роки} \approx 17520 \text{ год}$.

Інтенсивність відмов:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = \frac{1}{1000000} + \frac{1}{43800} + \frac{1}{87600} + \frac{1}{17520} = 28.87 \cdot 10^5 \frac{1}{\text{год}}$$

Середній час напрацювання на відмову: $T_{\text{ср}} = \frac{1}{\lambda} = 3464 \text{ год}$.

Структура має середній час напрацювання на відмову вище заданого, тому є надійною.

Середній час відновлення працездатності виконавчих каналів:

$$T_{\text{в}} = \frac{T_{\text{ср}} - K_{\text{гот}} T_{\text{ср}}}{K_{\text{гот}}} = \frac{10869.6 - 0.995 \cdot 10869.6}{0.995} = 17.4 \text{ год}.$$

2.2.7 Ідентифікація об'єкта управління

Під час виробничої практики були проведені випробування об'єкта, аналогічного описаному у даному проекті без АСР. У результаті випробувань було отримано перехідну характеристику досліджуваного об'єкту. В результаті наступного аналізу отриманих даних було отримано графік перехідного процесу об'єкту:

					ТА-01388.0001.001.АТХ.П	Лист 39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$T, ^\circ\text{C}$ відносно t, c

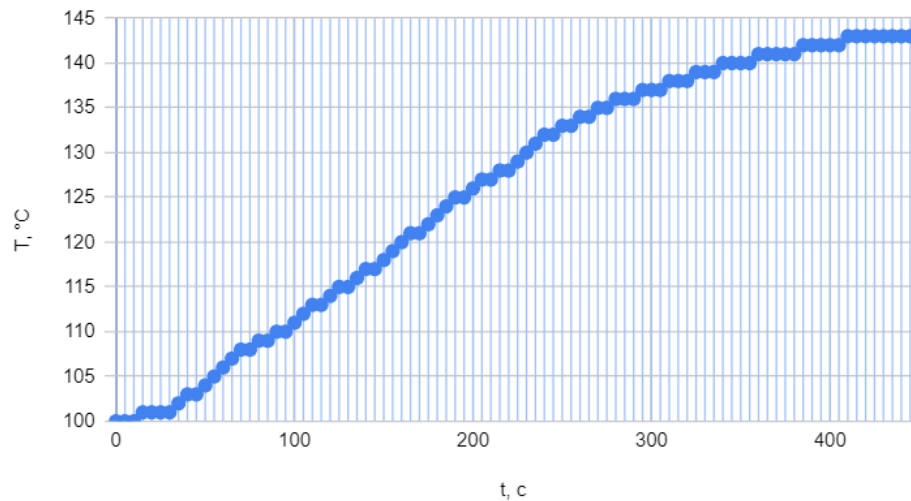


Рисунок 2.21 - Перехідна характеристика об'єкта при нагріванні вихідної пари від 100°C до 143°C

Зазначимо, що у процесі нагрівання пари, певна частина генерованого ТЕНами тепла використовується процесом для нагрівання води та підтримання її у стані кипіння. Розрахуємо, яка частина потужності ТЕНів при безперервній роботі йде на перегрів пари.

Прихована теплота пароутворення $(L) = 2264 \frac{\text{Дж}}{\text{г}}$, тоді кількість енергії для випаровування 27 кг води:

$$Q = 2264 \cdot 27000 = 61128000 \text{ Дж} = 61128 \text{ кДж} \approx 17 \text{ кВт/год}$$

Маємо що приблизно 80% потужності ТЕНів використовується для генерації пари при максимальній паропродуктивності. Так як парогенератор не працює увесь час на максимальній потужності, припустимо, що за перегрів пари відповідають приблизно 30% потужності ТЕНів при нормальній роботі установки.

Отже, маємо перехідний процес на проміжку від початку нагрівання пари 100°C до температури 143°C . Маємо, що $x_{\text{вих}}(\infty) = (143 - 100) = 43$.

Визначимо передавальну функцію об'єкту. За графіком бачимо, що об'єкт представляє собою аперіодичну ланку другого порядку. Функцію даної ланки можна представити як комбінацію двох ланок першого порядку:

$$W(p) = \frac{K}{(T_3 p + 1)(T_4 p + 1)}$$

Для визначення постійних часу T_3 та T_4 використаємо одну з модифікацій методу додаткових членів [5]. Заявлена точність методу – $\pm 4\%$. На графіку

перехідної функції при значенні $0,632x_{\text{вих}}(\infty)$ визначаємо величину t_1 .
 $0,632 \cdot 43 \approx 27$

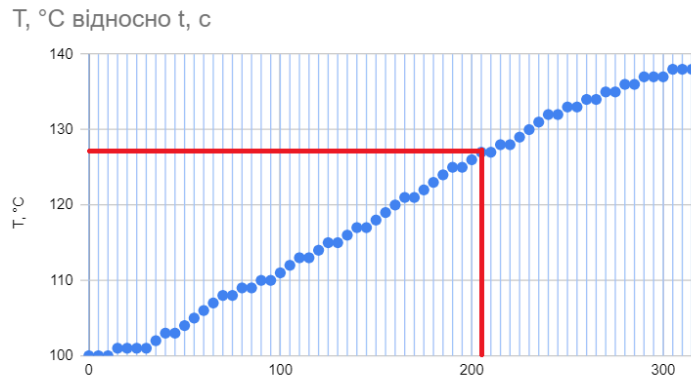


Рисунок 2.22 - Розрахунок t_1 за методом додаткових членів.

Маємо $t_1 = 205$ с

Тоді постійні часу можна визначити по виразах:

$$T_3 = 0,642 \cdot t_1 \approx 132 \text{ с}$$

$$T_4 = \frac{T_3}{2} = 66 \text{ с}$$

Також розрахуємо транспортне запізнення $\tau = \frac{T_3 T_4}{T_3 + T_4} = 44$ с.

Визначимо коефіцієнт передачі:

$$K = \frac{143-100}{30-0} = 1.43 \frac{^{\circ}\text{C}}{\% \text{ потужності ТЕНів}}$$

Маємо функцію передачі об'єкта:

$$W(p) = \frac{1.43}{(132p+1)(66p+1)} = \frac{1.43}{8712p^2 + 198p + 1}$$

Перевіримо коректність ідентифікації передавальної функції за допомогою пакету Matlab Simulink. Будуємо модель об'єкта:

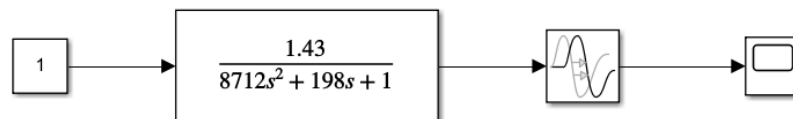


Рисунок 2.23 - Модель об'єкту у Matlab Simulink

Симулюємо та отримуємо графік перехідного процесу:

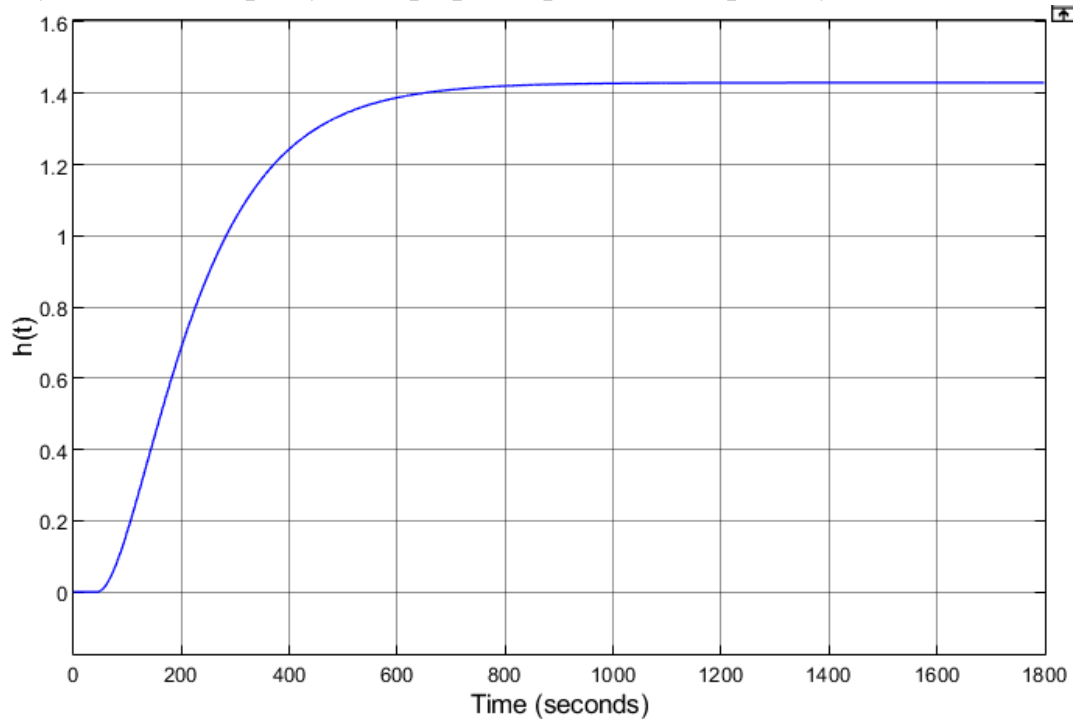


Рисунок 2.24 - Графік перехідного процесу

2.2.8 Розрахунок регуляторів САР

Розрахуємо ПІ-регулятор температури пари на виході з парогенератора.

Параметри об'єкта: $K = 1.43$; $T_1 = 8712$ с; $T_2 = 198$ с; $\tau = 44$ с;

Скористаємося методом РАФХ. Побудуємо АФХ і РАФХ об'єкта у Matlab:

```
w=0:0.0001:0.14;
p=1j*w;
W=(1.43.*exp(-44.*p))./(8712*p.^2+198*p+1);
Re=real(W);
Im=imag(W);
m=0.366;
p=w*(1j-m);
W1=(1.43.*exp(-44.*p))./(8712*p.^2+198*p+1);
Re1=real(W1);
Im1=imag(W1);
plot(Re,Im,Re1,Im1);
```

```

xlabel('Re');
ylabel('Im');
grid on;
ha=gca;
ha.XAxisLocation = 'origin';
ha.YAxisLocation = 'origin';
legend("АФХ", "РАФХ");

```

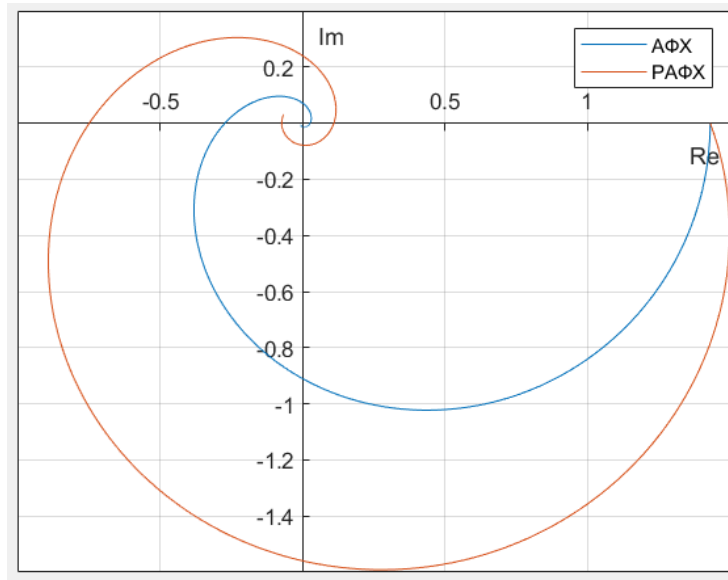


Рисунок 2.25 - АФХ и РАФХ об'єкта

Розрахуємо параметри налаштувань для внутрішнього регулятора.
Для побудови кривої заданого степеня коливальності скористаємось формулами для ПІ-регулятора:

$$\begin{cases} K_p = -\frac{p^{\text{розш}}(m, \omega) + Q^{\text{розш}}(m, \omega)m}{(A^{\text{розш}}(m, \omega))^2} \\ K_i = -\frac{\omega(m^2 + 1) + Q^{\text{розш}}(m, \omega)}{(A^{\text{розш}}(m, \omega))^2} \end{cases}$$

Код m-файлу для побудови кривої коефіцієнтів:

```

w=0:0.0001:0.0155;
m=0.366;
W=(1.43.*exp(-44.*(-m*w+1j*w)))./(8712*(-m*w+1j*w).^2+198*(-m*w+1j*w)+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;

```

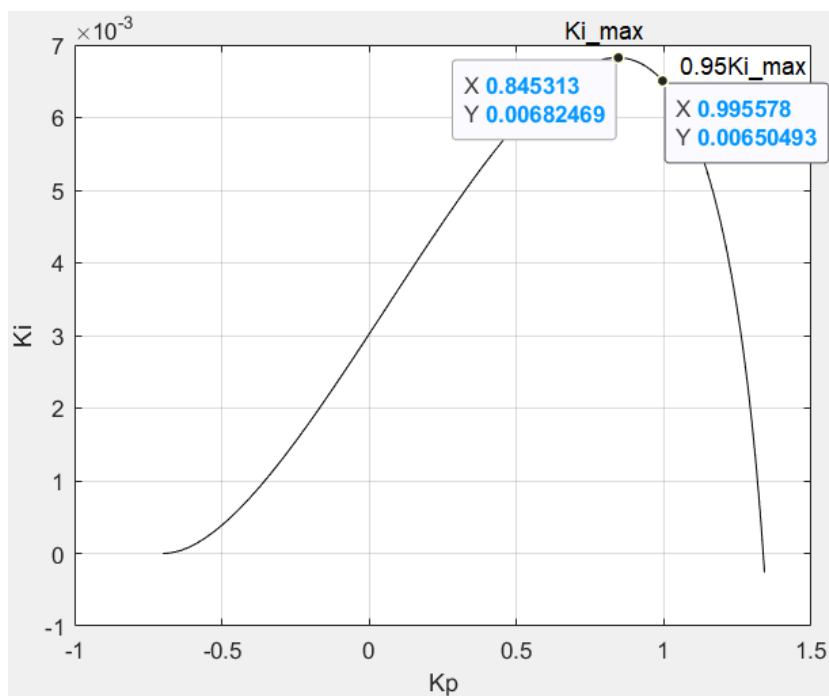


Рисунок 2.26 - Крива заданого степеня коливальності з позначеними точками

K_{i_max} (максимальне значення K_i), $0.95K_{i_max}$.

Для ПІ-регулятора:

$$K_i = 0.95 \max(K_i)$$

$$K_i = 0.0065$$

$$K_p = 0.99$$

$$T_i = \frac{K_p}{K_i} = 152$$

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ТА-01388.0001.001.АТХ.П

Лист

44

Перевіримо коректність налаштувань за допомогою Matlab:

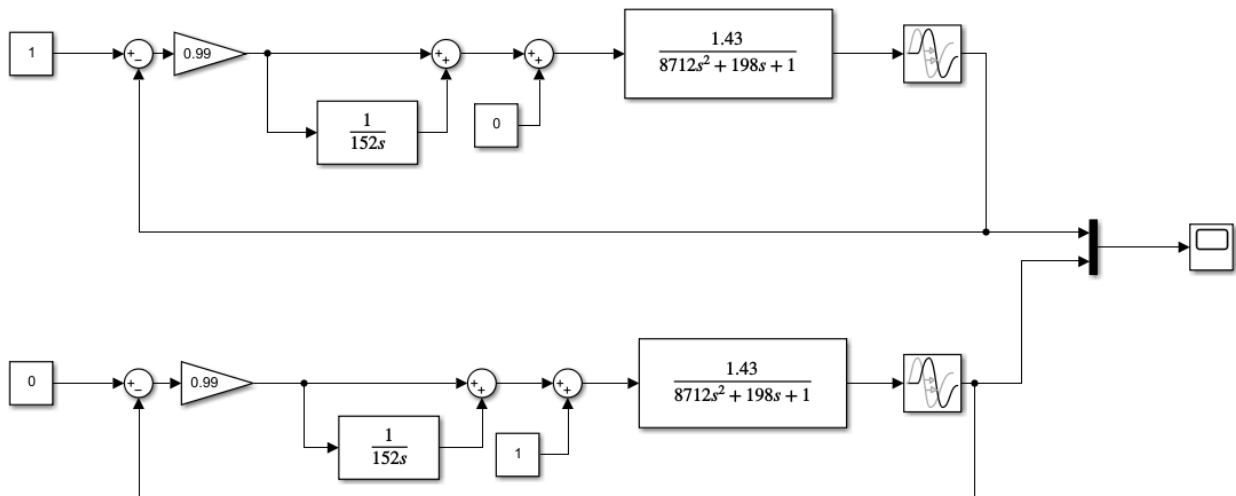


Рисунок 2.27 - Структурна схема системи з ПІ-регулятором за каналами завдання-вихід і збурення-вихід при налаштуванні методом РАФХ

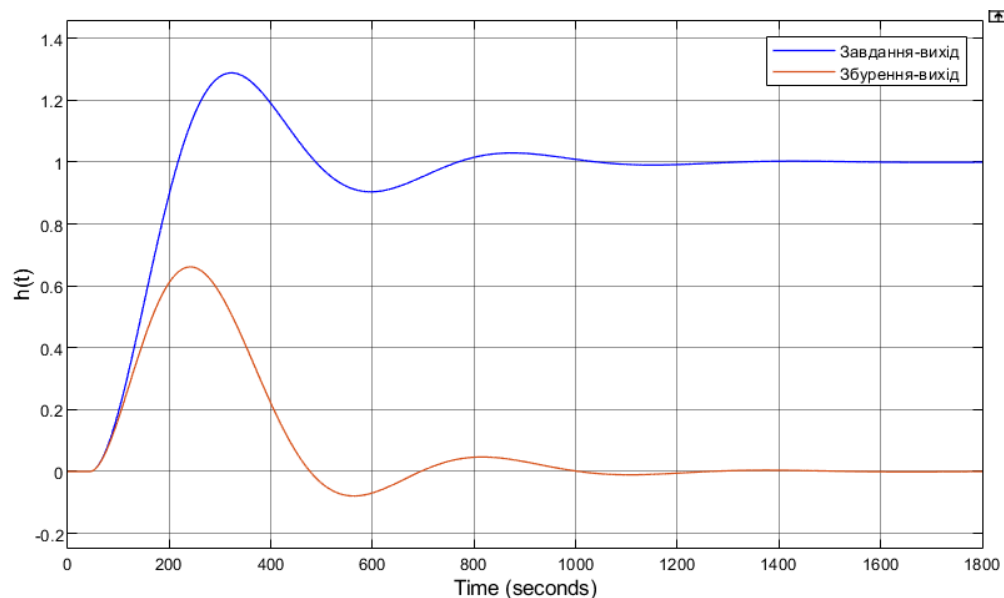


Рисунок 2.28 - Графіки перехідного процесу при налаштуванні методом РАФХ

Динамічний коефіцієнт регулювання: $K_{\text{дин}} = \frac{K_{\text{об}}}{y_{\text{max}}} = \frac{1.43}{0.65} = 2.2 \geq 2$, тому

використання даної САР має сенс.

Скористаємося також методом ВТІ.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ТА-01388.0001.001.АТХ.П

Лист
45

$$\frac{\tau}{T_2} = \frac{44}{198} = 0.22 \quad 0.2 \leq 0.22 \leq 1.5$$

$$K_p = \frac{0.38}{K} \frac{\frac{\tau}{T_2} + 0.6}{\frac{\tau}{T_2} - 0.08} = 1.56$$

$$T_i = 0.8T_2 = 158$$

Перевіримо коректність налаштувань за допомогою Matlab:

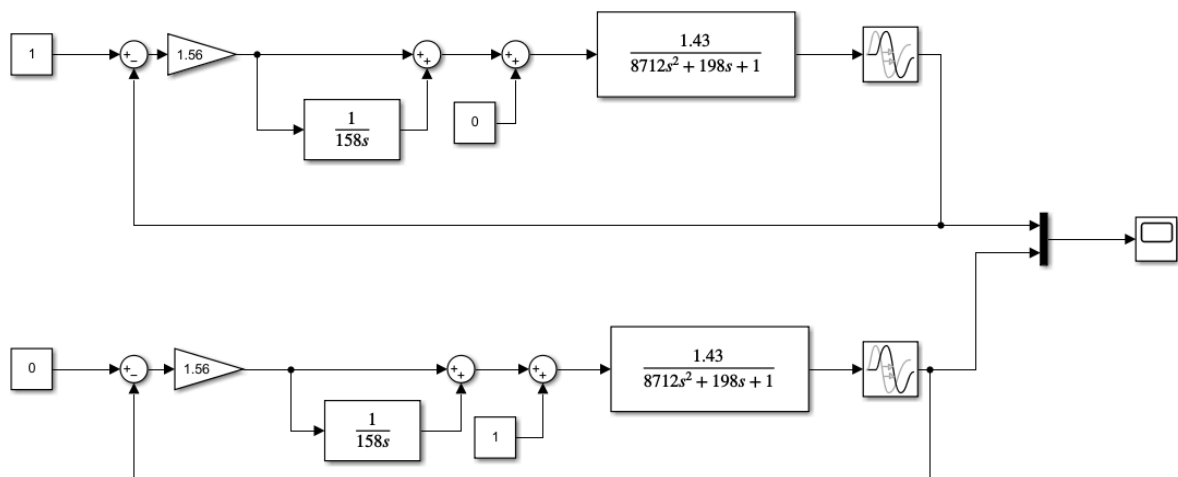


Рисунок 2.29 - Структурна схема системи з ПІ-регулятором за каналами завдання-вихід і збурення-вихід при налаштуванні методом ВТІ

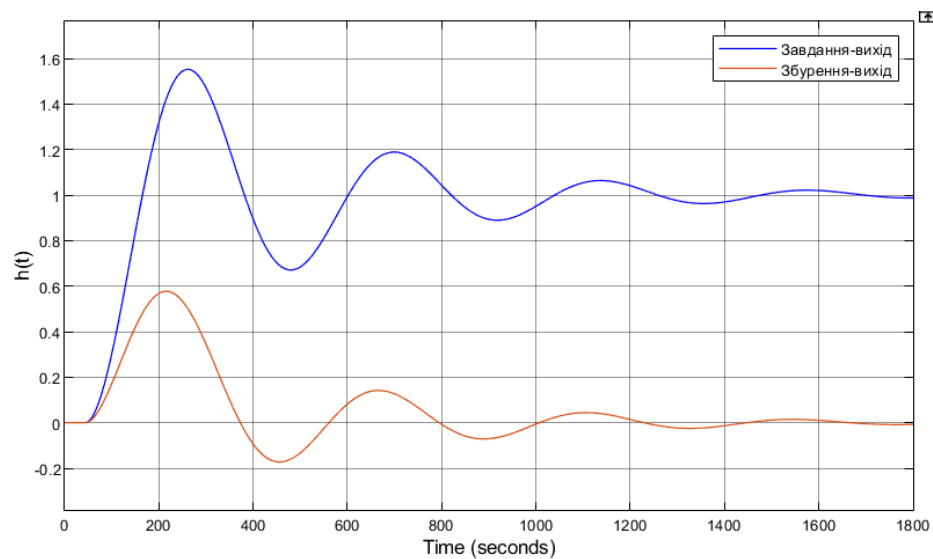


Рисунок 2.30 - Графіки перехідного процесу при налаштуванні методом ВТІ

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ТА-01388.0001.001.АТХ.П

Лист
46

Динамічний коефіцієнт регулювання: $K_{\text{дин}} = \frac{K_{\text{об}}}{y_{\text{max}}} = \frac{1.43}{0.58} = 2.47 \geq 2$, тому

використання даної САР має сенс.

Так як в даній системі важливо вийти на значення задатчика без великого перерегулювання, щоб не допустити перегріву ТЕНів, результат, отриманий методом РАФХ, є найбільш підходящим. Але значення перерегулювання все ще є занадто великим і перехідний процес переходить безпечну границю температури ТЕНів. Змінимо K_p щоб підібрати регулятор з меншим перерегулюванням.

Візьмемо, що перерегулювання повинно бути меншим за 8%.

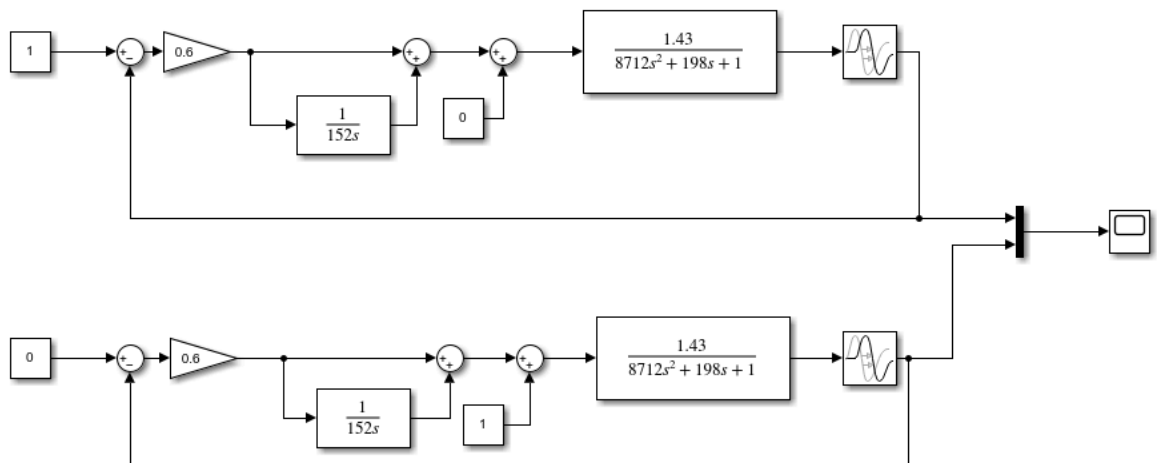


Рисунок 2.31 - Структурна схема системи з ПІ-регулятором за каналами завдання-вихід і збурення-вихід при ручних налаштуваннях

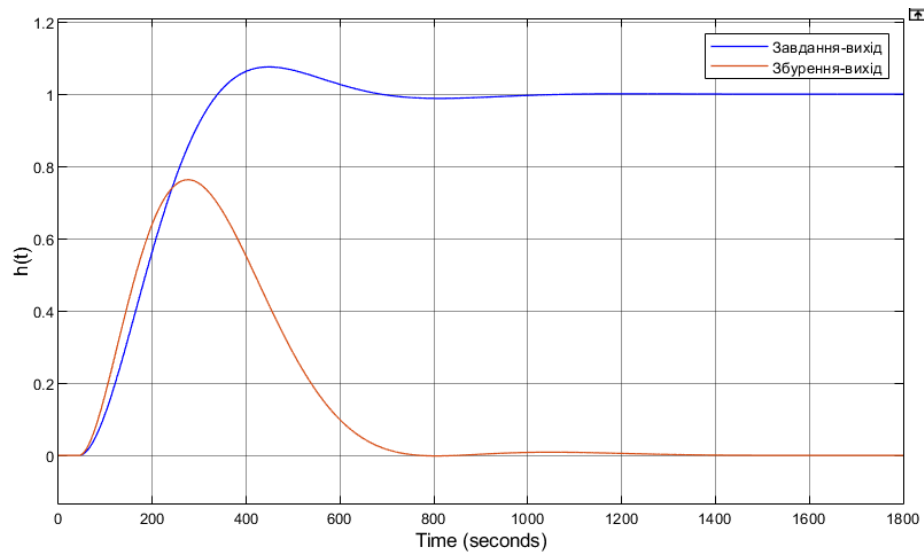


Рисунок 2.32 - Графіки перехідного процесу при налаштуванні вручну
Маємо перерегулювання 7.8%. Було досягнуто компромісу між величиною
збурення та перерегулювання.

2.2.9 Функціональне моделювання САР

Проаналізуємо САР на чутливість до параметричних збурень за параметром
перерегулювання. Для цього змінимо по чергово значення коефіцієнта передачі ОУ
і сталої часу ланки транспортного запізнення:

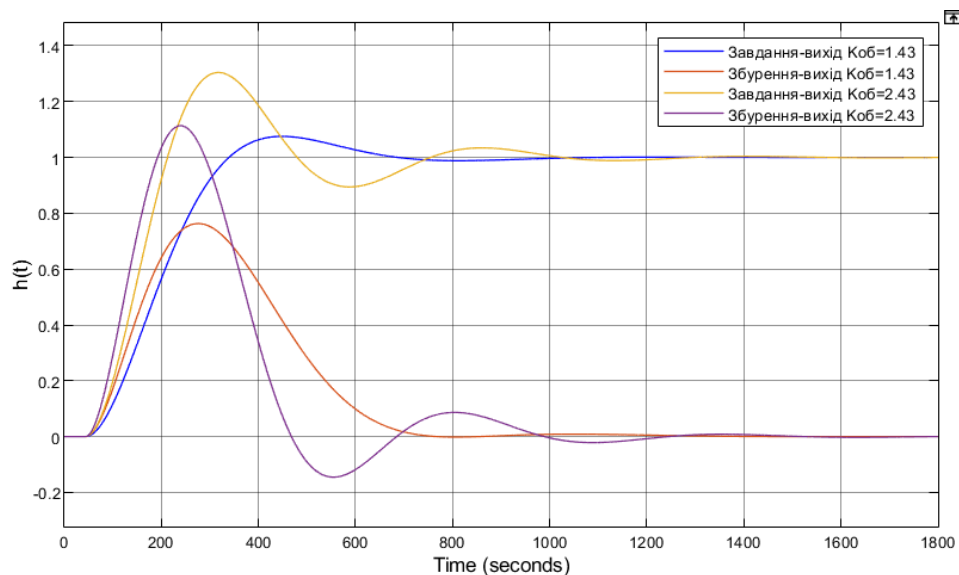


Рисунок 2.33 - Результати моделювання при зміні коефіцієнта передачі ОУ

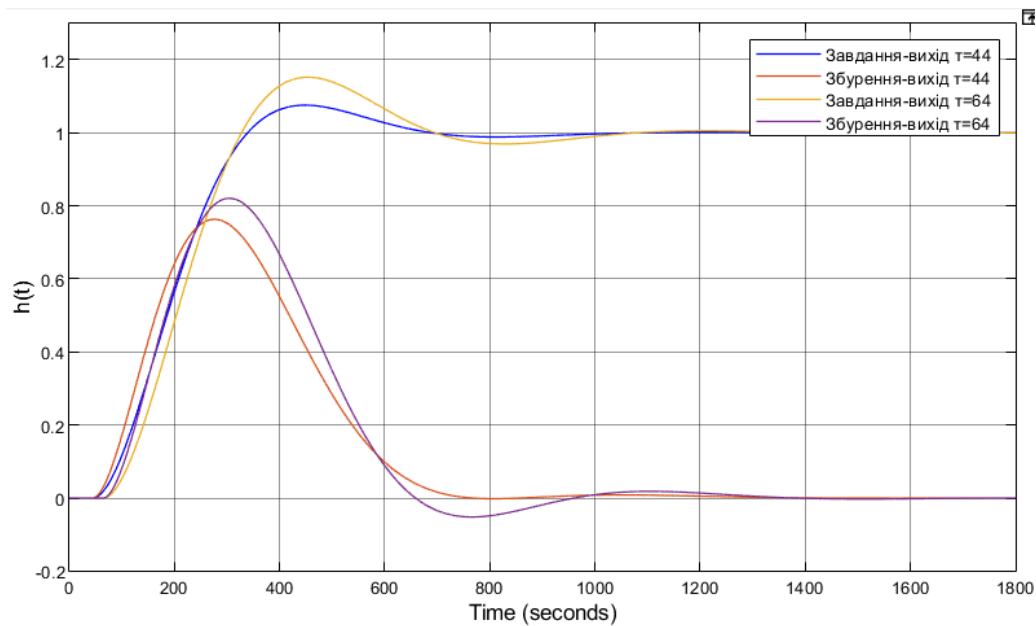


Рисунок 2.34 - Результати моделювання при зміні сталої часу ланки транспортного запізнення.

Розрахуємо коефіцієнт чутливості САР:

1) При зміні коефіцієнта передачі ОУ:

$$\psi_{13-B} = 1$$

$$\psi_{13\phi-B} = 1$$

$$\psi_{23-B} = 1 - \frac{0.035}{0.3} = 0.883$$

$$\psi_{23\phi-B} = 1 - \frac{0.09}{1.15} = 0.922$$

$$k_{ч\ 3-B} = \frac{\psi_{23-B}}{\psi_{13-B}} \cdot \frac{K_1}{K_2} = \frac{0.883}{1} \cdot \frac{1.43}{2.43} = 0.52 < 1 \text{ система є малочутливою до збурення}$$

коефіцієнта передачі ОУ за каналом завдання-вихід

$$k_{ч\ 3\phi-B} = \frac{\psi_{23\phi-B}}{\psi_{13\phi-B}} \cdot \frac{K_1}{K_2} = \frac{0.922}{1} \cdot \frac{1.43}{2.43} = 0.58 < 1 \text{ система є малочутливою до}$$

збурення коефіцієнта передачі ОУ за каналом збурення-вихід

2) При зміні сталої часу ланки транспортного запізнення:

$$\psi_{13-B} = 1$$

$$\psi_{13\delta-B} = 1$$

$$\psi_{23-B} = 1$$

$$\psi_{23\delta-B} = 1$$

$$k_{ч 3-B} = \frac{\psi_{23-B}}{\psi_{13-B}} \cdot \frac{\tau_1}{\tau_2} = \frac{1}{1} \cdot \frac{44}{64} = 0.69 < 1 \text{ система є малочутливою до збурення}$$

сталого часу ланки транспортного запізнення за каналом завдання-вихід

$$k_{ч 3\delta-B} = \frac{\psi_{23\delta-B}}{\psi_{13\delta-B}} \cdot \frac{\tau_1}{\tau_2} = \frac{1}{1} \cdot \frac{44}{64} = 0.69 < 1 \text{ система є малочутливою до збурення}$$

сталого часу ланки транспортного запізнення за каналом збурення-вихід

2.2.10 Висновки щодо роботоздатності РВК САР

Проаналізувавши перехідні процеси можна побачити, що система є надійною. Перерегулювання за обраних параметрів регулятора відповідає умові, система має швидкий ступінь затухання і динамічна похибка дорівнює нулю. Система є малочутливою до збурень параметрів ОУ. Проведений розрахунок надійності реалізації управляючої функції САР режимного параметру показав, що реалізація є надійною.

					ТА-01388.0001.001.АТХ.П	Лист 50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3 ОПИС ГРАФІЧНОЇ ЧАСТИНИ ПРОЄКТУ

3.1 Схема функціональна автоматизації ТОУ

Детальний опис схеми функціональної наведений у підрозділі 1.5 ПЗ ДПБ. На схемі зображений спрощений вид парогенератора, давачі, ТЕНи та насос, а також їх підключення до пульта автоматизації.

Функціональна схема також зображує трубопроводи парогенератора, зворотній, запобіжний клапани, а також клапани ручної дії.

3.2 Схема структурна ПТК

Опис схеми структурної наведений у підрозділі 1.6 ПЗ ДПБ. На структурній схемі зображені всі прилади, що приймають участь у обміні даними з ПЛК, а також загальна схема ПТК.

3.3 Схема принципова електрична АСР

Схеми підключення давачів наведені у підрозділі 2.1.3 ПЗ ДПБ.

Система живиться від трифазної мережі. Кабелі живлення підключені до автоматичного вимикача Q1 для захисту від несправностей електромережі.

Напряму до мережі під'єднані контактори K1 і K2. Контакт K2 замикається натисканням кнопки S1. Замикання контактора K2 подає живлення на решту приладів, виключаючи насос M1, живлення на який подається через контактор K1, керований ПЛК.

Система має 2 блоки живлення - GB1 на 24 В і GB2 на 5 В. До GB1 підключені ПЛК (A1-A2), давач тиску B6, витратомір B7. Блок живлення GB2 використовується для подачі відкриваючої напруги на набір тиристорів (V1-V3), що керують напругою на ТЕНах.

					ТА-01388.0001.001.АТХ.П	Лист 51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

До дискретних входів ПЛК А1 підключені два давача рівня В4 і В5. До аналогових входів підключені давач тиску В6, витратомір В7. До дискретних виходів контактор К1, набір тиристорів V1-V3 та лампа сигналізації Н4. До аналогових входів модулю ПЛК А2 підключено три давача температури В1-В3.

Окрім блоків живлення, до виходів контактора К2 підключений вентилятор для охолодження тиристорів С1 та самі тиристори V1-V3. Вихід тиристорів підключений до блоку ТЕНів Т1. До з'єднання тиристорів і ТЕНів під'єднані три лампочки Н1-Н3, по одній на кожен фазу мережі, які сигналізують про подачу напруги на відповідну групу ТЕНів у блоці

3.4 Креслення загального виду щита

Розташування апаратури у щиті виконується відповідно до креслення. На верхній та нижній стінці щита вирізаються отвори для сіток вентиляції PV1-PV2. Автоматичний вимикач Q1 вмонтовується у праву стінку щита перемикачем назовні. На дверцятах розташовуються сигналізаційна лампа Н4, лампи напруги на ТЕНи Н1-Н3, кнопка “пуск-стоп” S1.

Першочергово всередині щита монтуються клемники X1-X3. Вентилятор С1 розташовують над нижнім силовим клемником X3. Набір тиристорів V1-V3 розташовують на платі з вмонтованими радіаторами охолодження над вентилятором С1.

Силовий контактор К2 розташовують під автоматичним вимикачем Q1 входами наверх на DIN-рейці. Контактор К1 і блок живлення GB2 розташовують на DIN-рейці над тиристорами. Блок живлення GB1 та ПЛК А1 з підключеним модулем А2 монтують на DIN-рейці наверху щита.

3.5 Схема монтажна щита (таблиця з'єднань)

Живлення подається через кабель W1, три фази і нуль підключаються до контактів 1-4 клемника X3. З контактів 5-8 клемника X3 напруга, що пройшла через набір тиристорів подається на блок ТЕНів. Контакти 9 і 10 клемника X3 підключаються до однофазного двигуна насосу M1.

До контактів 1-9 клемника X1 підключаються проводи кабелів давачів рівня і температури. До контактів 1-6 клемника X2 підключаються проводи кабелів давача тиску і витратоміру.

Схема монтажна створена у варіанті, комбінованому зі схемою зовнішніх проводок. На схемі відмічені зовнішні кабелі W1-W9, використані у даному проекті.

3.6 Специфікація обладнання

Обрані виробники та постачальники обладнання:

- **ТЕРА** [13]. Український виробник, у проекті використовуються давачі температури даного виробника. Основні переваги: ціна і розташування в Україні;
- **Regmik** [14]. Український виробник засобів для автоматизації парових котлів. У проекті використовуються давачі рівня даного виробника. Основні переваги: ціна і розташування в Україні;
- **Aplisens (АПЛІСЕНС-ТЕР)** [15]. Німецький виробник з філіалом в Україні. У проекті використовується давач тиску даного виробника. Обраний за якість давача і доступність в Україні;
- **Ultisensor**. Китайський виробник. У проекті використовується витратомір даного виробника. Виробник був обраний через ціну і доступність витратомірів невеликого об'єму вимірювання;

					ТА-01388.0001.001.АТХ.П	Лист 53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- **АСКО-УКРЕМ** [17]. Український виробник. У проекті використовується кнопка і сигнальна лампа даного виробника. Основні переваги: ціна і розташування в Україні;
- **CHINT Group** [18]. Китайський виробник. У проекті використовуються контактори та автоматичний вимикач даного виробника. Виробник був обраний через, ціну, доступність в Україні і перевірену якість;
- **RS-Group**. Український виробник. У проекті використовуються сигнальні лампи даного виробника. Основні переваги: ціна і розташування в Україні;
- **STMicroelectronics**. Китайський виробник. У проекті використовуються тиристори даного виробника. Виробник обраний за ціну і доступність в Україні;
- **Schneider Electric** [21]. Французький виробник. У проекті використовується ПЛК та модуль аналогових входів цього виробника. ПЛК даного виробника був обраний за ціну, доступність і підходящий масштаб обраної моделі для даного проекту. Був обраний закордонний виробник, так як більшість постачальників ПЛК в Україні не можуть ефективно працювати на момент проектування даної системи;
- **Mean-Well** [20]. Китайський виробник. У проекті використовуються блоки живлення даного виробника. Виробник був обраний через, ціну, доступність в Україні і перевірену якість;
- **SUNON**. Тайванський виробник. У проекті використовується вентилятор даного виробника. Вибір цього виробника не є принциповим і можна використати будь який вентилятор схожої потужності та габаритів;
- **АКОНІТ**. Український виробник. У проекті використовується щит автоматизації даного виробника. Основні переваги: ціна і розташування в Україні;

- **E.NEXT.** Польський виробник. У проекті використовуються клемники та DIN-рейки даного виробника. Виробник обраний за ціну і доступність в Україні;
- **АС-ЕНЕРГІЯ.** Український виробник. У проекті використовуються радіатори охолодження тиристорів даного виробника. Основні переваги: ціна і розташування в Україні;
- Виробник проводів та кабелів не є принциповим. Кабелі повинні відповідати стандартам згідно з маркуванням.

					ТА-01388.0001.001.АТХ.П	Лист
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4 ПРОГРАМУВАННЯ ПТКЗА

4.1 Програмування функціональності ПЛК

Реалізуємо програму системи автоматичного регулювання. Використаємо для цього середовище розробки CODESYS.

Визначимо глобальні змінні:

```
VAR_GLOBAL
    steamTempSensor : REAL;
    steamTemp : REAL; //Температура пари на виході
    steamPressureSensor : REAL;
    steamPressure : REAL; //Тиск пари
    heatingElementTempSensor : REAL;
    heatingElementTemp : REAL; //Температура ТЕНу
    waterTempSensor : REAL;
    waterTemp : REAL; // Температура води
    waterFlowSensor : REAL;
    waterFlow : REAL; // Витрата води
    waterLevelHigh : BOOL;
    waterLevelLow : BOOL; //Рівень води
    heatingElementState : BOOL; //Стан ТЕНу
    safetyValvePressure : BOOL; //Стан аварійного вентиля
    waterPump : BOOL;
    heatingElementBlock : BOOL; //Блокування ТЕНу
    errorFixed : BOOL;
    xError : BOOL; //Сигналізація про помилку
    xEnable : BOOL; //Стан роботи об'єкту
    waterPumpBlock : BOOL; //Блокування насосу
    xRegEnable : BOOL; //Стан регулятора
END_VAR
```

Рисунок 4.1 - Глобальні змінні програми

При цьому маємо по дві змінні для аналогових давачів – в одну приходять значення уніфікованого сигналу, у другу записується розрахована з сигналу інженерна величина. Розрахунок проводимо за допомогою функціонального блоку:

```
FUNCTION_BLOCK SignalConv
VAR_INPUT
    inSignal : REAL;
    rMin : REAL;
    rMax : REAL;
    rMinSignal : REAL;
    rMaxSignal : REAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    outValue : REAL;
END_VAR
IF (rMaxSignal-rMinSignal) = 0 THEN
    outValue := 0;
ELSE
    outValue := rMin + (inSignal - rMinSignal)*(rMax - rMin)/(rMaxSignal-rMinSignal);
END_IF
```

Рисунок 4.2 - Блок SignalConv

Де на вхід подаються сам сигнал, межі вимірювання давача, мінімальне та максимальне значення сигналу (4 та 20 мА, 0...10 В, тощо). Використаємо даний блок для розрахунку значень з давачів:

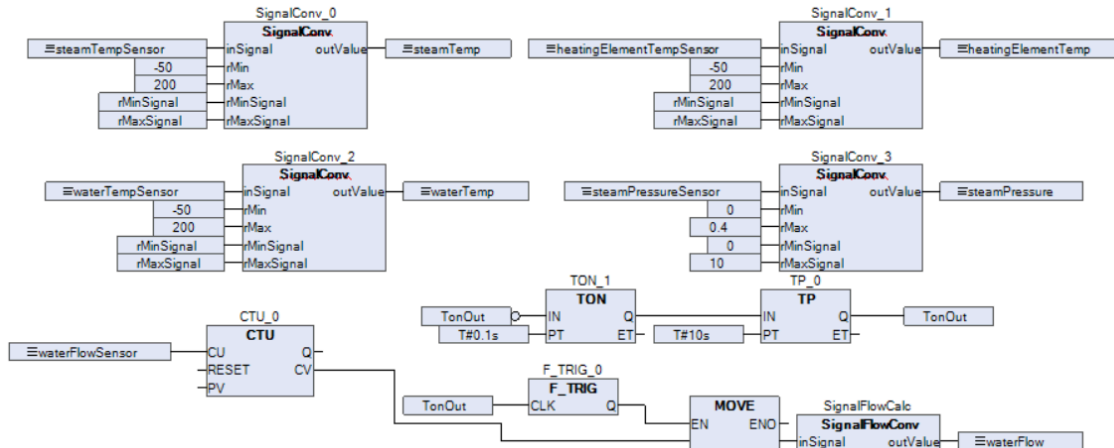


Рисунок 4.3 - Розрахунок значень давачів

```

1 IF inSignal = 0 AND counter < 2 THEN
2   counter := counter + 1;
3 ELSE
4   counter := 0;
5 END IF
6 outValue := inSignal/760;

```

Рисунок 4.4 - Блок SignalFlowConv

Також додаємо перевірку на повну відмову для давачів, у яких передбачений мінімальний ненульовий рівень сигналу. Для давачів з мінімальним сигналом 0 використаємо перевірку на швидкість зміни значення.

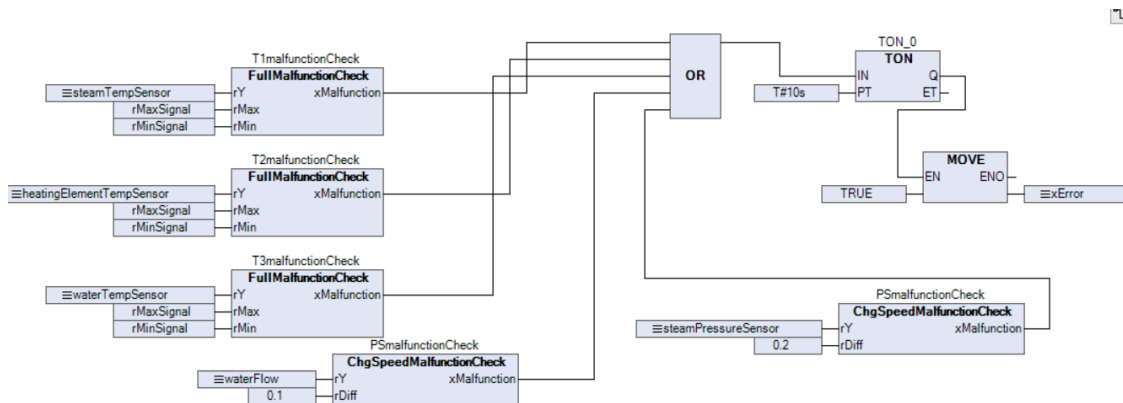


Рисунок 4.4 - Перевірка давачів на відмову

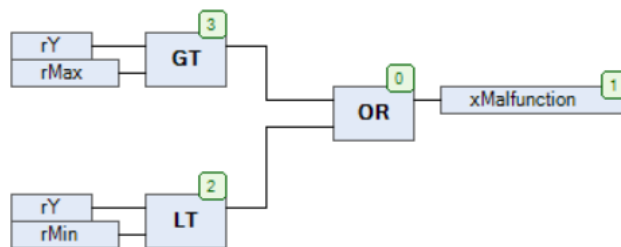


Рисунок 4.5 - Код функціонального блоку FullMalfunctionCheck

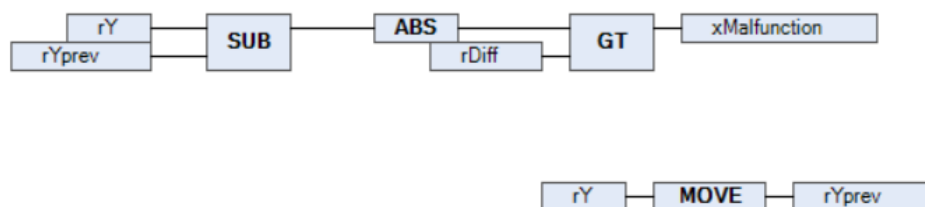


Рисунок 4.6 - Код функціонального блоку ChgSpeedMalfunctionCheck

Далі пропишемо умови увімкнення/вимкнення системи та програму захисту від аварійних ситуацій:

```

PROGRAM SAFETY_PRG
VAR
    errorTime : TIME := T#10S; //Час після якого аварія вважається дійсною
    errTemp : BOOL; //переднього фронту натиснення кнопок
    TON_0 : TON; //Таймери для аварій
    TON_1 : TON;
    TON_2 : TON;
    pressureLimit: REAL := 0.3; //Допустиме значення тиску
    tempLimit: REAL := 147; //Допустиме значення температури
END_VAR

```

Рисунок 4.7 - Змінні програми SAFETY_PRG

```

1  TON_0();
2  TON_0.PT := errorTime;
3  TON_1();
4  TON_1.PT := errorTime;
5  TON_2();
6  TON_2.PT := errorTime; //ініціалізація таймерів для аварій
7
8  IF GVL.errorFixed = TRUE AND errTemp = TRUE THEN //Кнопка усунення аварій викликає сигналізацію і аварійний стан
9      GVL.xError := FALSE;
10 END_IF
11
12 IF GVL.errorFixed = TRUE AND errTemp = TRUE THEN //Відслідковування переднього фронту кнопки усунення аварії
13     errTemp := FALSE;
14 END_IF
15 IF GVL.errorFixed = FALSE THEN
16     errTemp := TRUE;
17 END_IF
18
19 IF GVL.xError = FALSE AND GVL.xEnable = TRUE THEN //Якщо немає аварій та система увімкнена
20     GVL.safetyValvePressure := TRUE; //Закривається аварійний клапан тиску
21     GVL.heatingElementBlock := FALSE; //Знімається блокування з ТЕНу
22     GVL.waterPumpBlock := FALSE; //Та насосу
23 END_IF
24
25 IF GVL.xError = TRUE OR GVL.xEnable = FALSE THEN //Якщо є аварія або система вимкнена
26     GVL.heatingElementBlock := TRUE; //Блокуються ТЕН
27     GVL.waterPumpBlock := TRUE; //Та насос
28 END_IF

```

Рисунок 4.8 - Перша частина коду програми SAFETY_PRG

```

30 IF GVL.steamPressure > pressureLimit THEN //Якщо тиск перевищує допустиме значення
31     TON_0.IN := TRUE; //Протягом допустимого часу
32     IF TON_0.Q = TRUE THEN
33         GVL.xError := TRUE; //Подається сигнал про аварію
34         GVL.safetyValvePressure := FALSE; //Відкривається аварійний клапан
35     END_IF
36 ELSE
37     TON_0.IN := FALSE;
38 END_IF
39
40 IF GVL.heatingElementTemp > tempLimit THEN //Якщо температура ТЕНу перевищує допустиме значення
41     TON_1.IN := TRUE; //Протягом допустимого часу
42     IF TON_1.Q = TRUE THEN
43         GVL.xError := TRUE; //Подається сигнал про аварію
44     END_IF
45 ELSE
46     TON_1.IN := FALSE;
47 END_IF
48
49 IF GVL.waterLevelHigh = TRUE AND GVL.waterLevelLow = FALSE THEN //Якщо верхній датчик рівня спрацьовує, а нижній ні
50     TON_2.IN := TRUE; //Протягом допустимого часу
51     IF TON_2.Q = TRUE THEN
52         GVL.xError := TRUE; //Подається сигнал про аварію
53     END_IF
54 ELSE
55     TON_2.IN := FALSE;
56 END_IF

```

Рисунок 4.9 - Друга частина коду програми SAFETY_PRG

Тепер створимо програму для регулювання основним технологічним параметром та підтримання води на допустимому рівні. Так як ТЕН регулюється дискретним сигналом, створимо функціональний блок для проведення ШІМ:

```

FUNCTION_BLOCK PWM
VAR_INPUT
    Enable: BOOL; //Активація
    T: TIME; //Період генерованих імпульсів
    Pulse_T: TIME; //Ширина імпульсу
END_VAR
VAR_OUTPUT
    Out: BOOL;
END_VAR
VAR
    TP_0: TP;
    TOF_0: TOF;
    F_TRIG_0: F_TRIG;
    R_TRIG_0: R_TRIG;
    Res: TIME;
    TON_0: TON;
    TP_1: TP;
END_VAR

```

Рисунок 4.10 - Змінні функціонального блоку ШІМ

Маємо, що при увімкненні блоку починають генеруватися неперервні імпульси з заданим періодом. Значення вхідної змінної для ширини імпульсу визначає яку частку імпульсу сигнал на виході позитивний, а яку негативний.

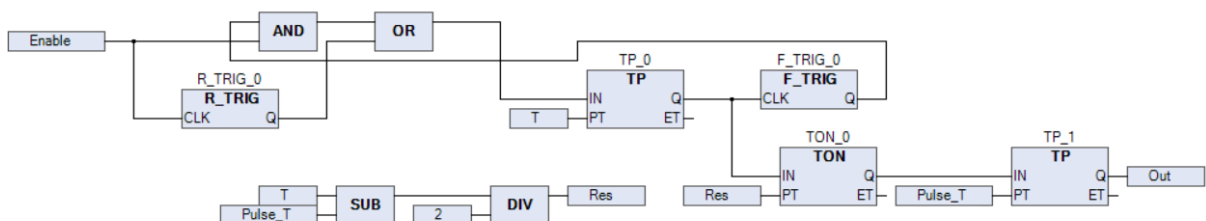


Рисунок 4.11 - Код функціонального блоку ШІМ

Використаємо цей блок у програмі з ПІД-регулятором. Також напишемо код для підтримання води на допустимому рівні:


```

1  PROGRAM REG_PRG
2  VAR
3      PID_0: PID; //Блок ПЛК
4      PWM_0: PWM; //Блок ШИМ
5      PWM_T: TIME := T#10S; //Період генерованих імпульсів
6      xEn: BOOL := TRUE; //Активація блоку ШИМ
7      xManual: BOOL := FALSE;
8      yManual: REAL;
9      SP: REAL := 143;
10     KP: REAL := 0.022;
11     Tp: REAL := 55;
12     Ti: REAL := 0;
13     yMax: REAL := 10;
14     xRes: BOOL := 0;
15 END_VAR

```

Рисунок 4.12 -Змінні програми REG_PRG

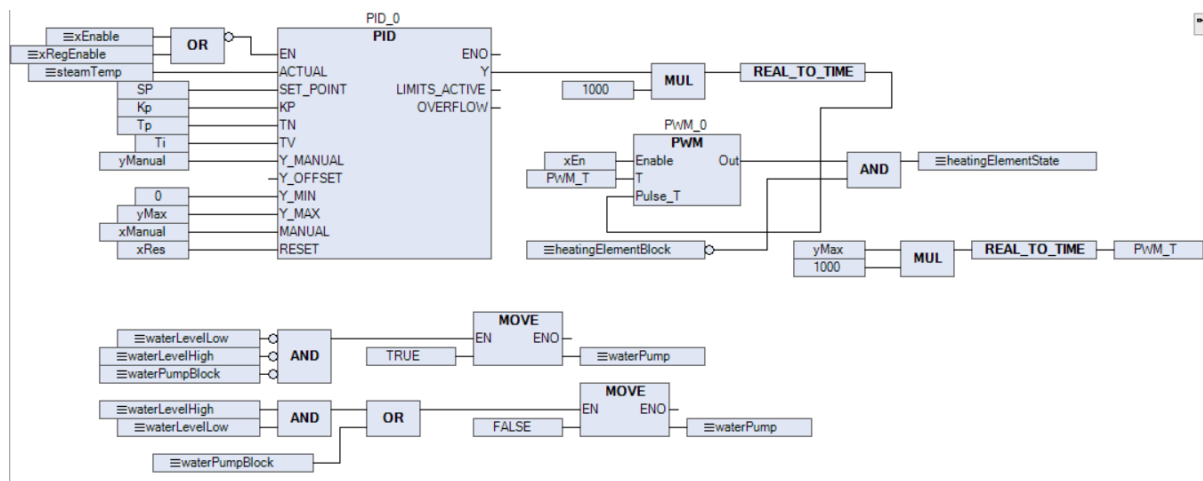


Рисунок 4.13 - Код програми REG_PRG

ПІД має можливість як автоматичного так і ручного регулювання. Сигнал з ПІД має діапазон у межах періоду імпульсів на блоці ШІМ, тобто може задавати ширину сигналу від 0 до максимуму. Сигнал з блоку подається на ТЕН.

Рівень води підтримується за допомогою перевірки значень на датчиках та увімкнення насоса при нижньому рівні/вимкнення насоса при верхньому рівні води у баці. Також насос вимикається при блокуванні, та блокується від вмикання якщо блокування активне.

Перевіримо роботу програми. Маємо наступні значення змінних у вимкненому стані без аварій:

					ТА-01388.0001.001.АТХ.П	Лист 61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Expression	Type	Value	Prepared value	Address	Comment
steamTempSensor	REAL	4			
steamTemp	REAL	-50			Температура пари на виході
steamPressureSensor	REAL	0			
steamPressure	REAL	0			Тиск пари
heatingElementTempSensor	REAL	4			
heatingElementTemp	REAL	-50			Температура ТЕНу
waterTempSensor	REAL	4			
waterTemp	REAL	-50			Температура води
waterFlowSensor	REAL	0.5			
waterFlow	REAL	0			Витрата води
waterLevelHigh	BOOL	FALSE			
waterLevelLow	BOOL	FALSE			Рівень води
heatingElementState	BOOL	FALSE			Стан ТЕНу
safetyValvePressure	BOOL	FALSE			Стан аварійного вентиля
waterPump	BOOL	FALSE			
heatingElementBlock	BOOL	TRUE			Блокування ТЕНу
errorFixed	BOOL	FALSE			
xError	BOOL	FALSE			Сигналізація про помилку
xEnable	BOOL	FALSE			Стан роботи об'єкту
waterPumpBlock	BOOL	TRUE			Блокування насосу
xRegEnable	BOOL	FALSE			Стан регулятора

Рисунок 4.14 - Змінні при вимкненій системі

Якщо давач виходить за межі сигналу, маємо аварію, яка усувається після усунення помилки давача та натиснення кнопки для усунення аварії:

Expression	Type	Value	Prepared value	Address	Comment
steamTempSensor	REAL	0			
steamTemp	REAL	-112.5			Температура пари на виході
steamPressureSensor	REAL	0			
steamPressure	REAL	0			Тиск пари
heatingElementTempSensor	REAL	4			
heatingElementTemp	REAL	-50			Температура ТЕНу
waterTempSensor	REAL	4			
waterTemp	REAL	-50			Температура води
waterFlowSensor	REAL	0.5			
waterFlow	REAL	0			Витрата води
waterLevelHigh	BOOL	FALSE			
waterLevelLow	BOOL	FALSE			Рівень води
heatingElementState	BOOL	FALSE			Стан ТЕНу
safetyValvePressure	BOOL	FALSE			Стан аварійного вентиля
waterPump	BOOL	FALSE			
heatingElementBlock	BOOL	TRUE			Блокування ТЕНу
errorFixed	BOOL	FALSE			
xError	BOOL	TRUE			Сигналізація про помилку
xEnable	BOOL	FALSE			Стан роботи об'єкту
waterPumpBlock	BOOL	TRUE			Блокування насосу
xRegEnable	BOOL	FALSE			Стан регулятора

Рисунок 4.15 - Помилка давача температури пари

Expression	Type	Value	Prepared value	Address	Comment
steamTempSensor	REAL	16			
steamTemp	REAL	137.5			Температура пари на виході
steamPressureSensor	REAL	0			
steamPressure	REAL	0			Тиск пари
heatingElementTempSensor	REAL	4			
heatingElementTemp	REAL	-50			Температура ТЕНу
waterTempSensor	REAL	4			
waterTemp	REAL	-50			Температура води
waterFlowSensor	REAL	0.5			
waterFlow	REAL	0			Витрата води
waterLevelHigh	BOOL	FALSE			
waterLevelLow	BOOL	FALSE			Рівень води
heatingElementState	BOOL	FALSE			Стан ТЕНу
safetyValvePressure	BOOL	FALSE			Стан аварійного вентиля
waterPump	BOOL	FALSE			
heatingElementBlock	BOOL	TRUE			Блокування ТЕНу
errorFixed	BOOL	TRUE			
xError	BOOL	FALSE			Сигналізація про помилку
xEnable	BOOL	FALSE			Стан роботи об'єкту
waterPumpBlock	BOOL	TRUE			Блокування насоса
xRegEnable	BOOL	FALSE			Стан регулятора

Рисунок 4.16 - Результат усунення помилки

Аварія також стається при виконанні однієї з трьох вимог для аварії (несправність датчика рівня, перевищення значення тиску та перегрів ТЕНу).

Expression	Type	Value	Prepared value	Address	Comment
steamTempSensor	REAL	16			
steamTemp	REAL	137.5			Температура пари на виході
steamPressureSensor	REAL	0			
steamPressure	REAL	0			Тиск пари
heatingElementTempSensor	REAL	4			
heatingElementTemp	REAL	-50			Температура ТЕНу
waterTempSensor	REAL	4			
waterTemp	REAL	-50			Температура води
waterFlowSensor	REAL	0.5			
waterFlow	REAL	0			Витрата води
waterLevelHigh	BOOL	TRUE			
waterLevelLow	BOOL	FALSE			Рівень води
heatingElementState	BOOL	FALSE			Стан ТЕНу
safetyValvePressure	BOOL	FALSE			Стан аварійного вентиля
waterPump	BOOL	FALSE			
heatingElementBlock	BOOL	TRUE			Блокування ТЕНу
errorFixed	BOOL	FALSE			
xError	BOOL	TRUE			Сигналізація про помилку
xEnable	BOOL	FALSE			Стан роботи об'єкту
waterPumpBlock	BOOL	TRUE			Блокування насоса
xRegEnable	BOOL	FALSE			Стан регулятора

Рисунок 4.17 - Несправність нижнього датчика рівня

Expression	Type	Value	Prepared value	Address	Comment
steamTempSensor	REAL	16			
steamTemp	REAL	137.5			Температура пари на виході
steamPressureSensor	REAL	9			
steamPressure	REAL	0.36			Тиск пари
heatingElementTempSensor	REAL	4			
heatingElementTemp	REAL	-50			Температура ТЕНу
waterTempSensor	REAL	4			
waterTemp	REAL	-50			Температура води
waterFlowSensor	REAL	0.5			
waterFlow	REAL	0			Витрата води
waterLevelHigh	BOOL	FALSE			
waterLevelLow	BOOL	FALSE			Рівень води
heatingElementState	BOOL	FALSE			Стан ТЕНу
safetyValvePressure	BOOL	FALSE			Стан аварійного вентиля
waterPump	BOOL	FALSE			
heatingElementBlock	BOOL	TRUE			Блокування ТЕНу
errorFixed	BOOL	FALSE			
xError	BOOL	TRUE			Сигналізація про помилку
xEnable	BOOL	FALSE			Стан роботи об'єкту
waterPumpBlock	BOOL	TRUE			Блокування насоса
xRegEnable	BOOL	FALSE			Стан регулятора

Рисунок 4.18 - Перевищення тиску

Expression	Type	Value	Prepared value	Address	Comment
steamTempSensor	REAL	16			
steamTemp	REAL	137.5			Температура пари на виході
steamPressureSensor	REAL	2			
steamPressure	REAL	0.08			Тиск пари
heatingElementTempSensor	REAL	20			
heatingElementTemp	REAL	200			Температура ТЕНу
waterTempSensor	REAL	4			
waterTemp	REAL	-50			Температура води
waterFlowSensor	REAL	0.5			
waterFlow	REAL	0			Витрата води
waterLevelHigh	BOOL	FALSE			
waterLevelLow	BOOL	FALSE			Рівень води
heatingElementState	BOOL	FALSE			Стан ТЕНу
safetyValvePressure	BOOL	FALSE			Стан аварійного вентиля
waterPump	BOOL	FALSE			
heatingElementBlock	BOOL	TRUE			Блокування ТЕНу
errorFixed	BOOL	FALSE			
xError	BOOL	TRUE			Сигналізація про помилку
xEnable	BOOL	FALSE			Стан роботи об'єкту
waterPumpBlock	BOOL	TRUE			Блокування насоса
xRegEnable	BOOL	FALSE			Стан регулятора

Рисунок 4.19 - Перегрів ТЕНів

Перевіримо регулювання. Бачимо що при відсутності блокування насос вмикається коли вода переходить за нижню межу і вимикається коли вода переходить за верхню межу:

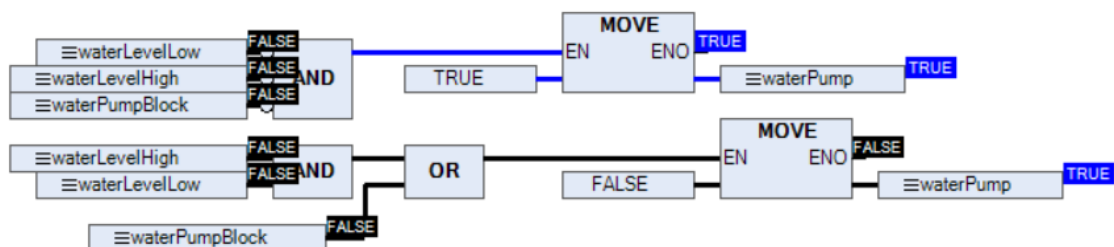


Рисунок 4.20 - Насос вмикається при воді нижче мінімального рівня

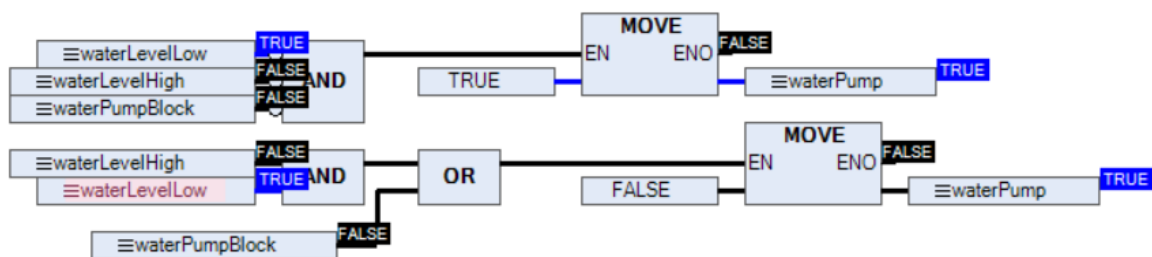


Рисунок 4.21 - Насос продовжує роботу після нижнього рівня

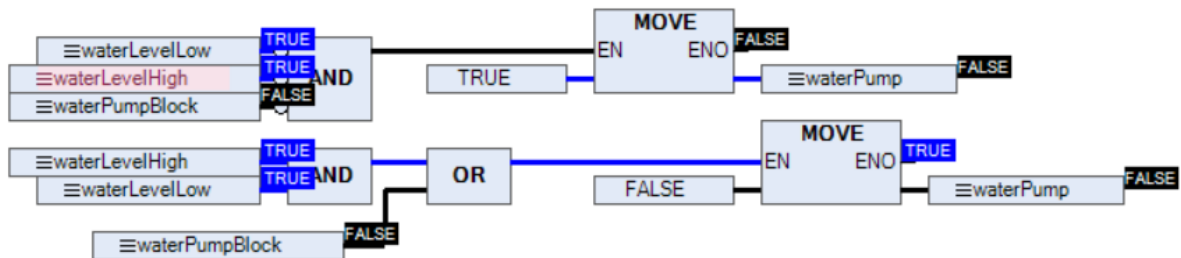


Рисунок 4.22 - Насос вимикається при досягненні верхнього рівня

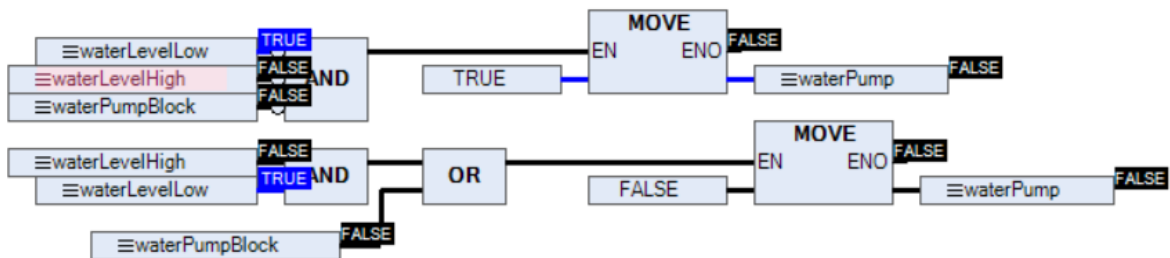


Рисунок 4.23 - Насос вимикається коли рівень води стає нижче верхнього рівня

ПІД подає сигнал для керування при активації:

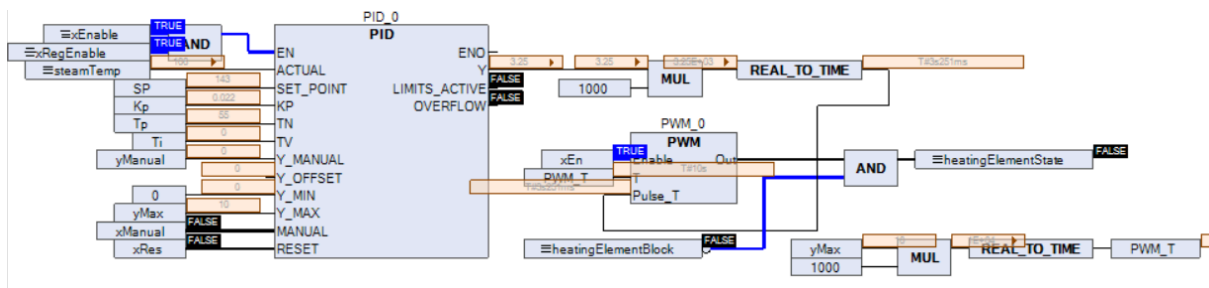


Рисунок 4.24 - Регулювання ТЕНами

Переведемо ПІД у ручний режим, так як ми не підключені до об'єкту керування.

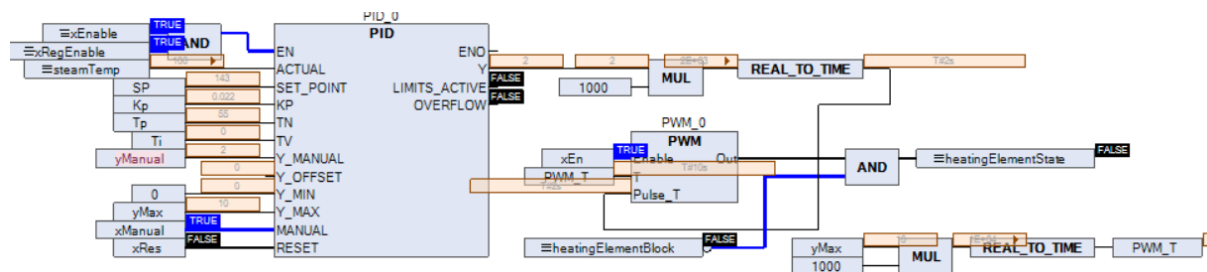


Рисунок 4.25 - Ручне регулювання ТЕНами

Встановимо ширину імпульсів ШІМ:

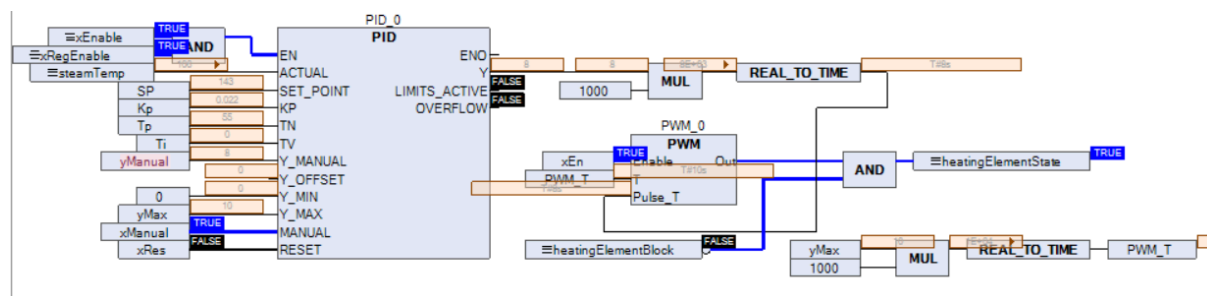


Рисунок 4.26 - Ширина імпульсів ШІМ 8 секунд.

Перевіримо значення на графіку:

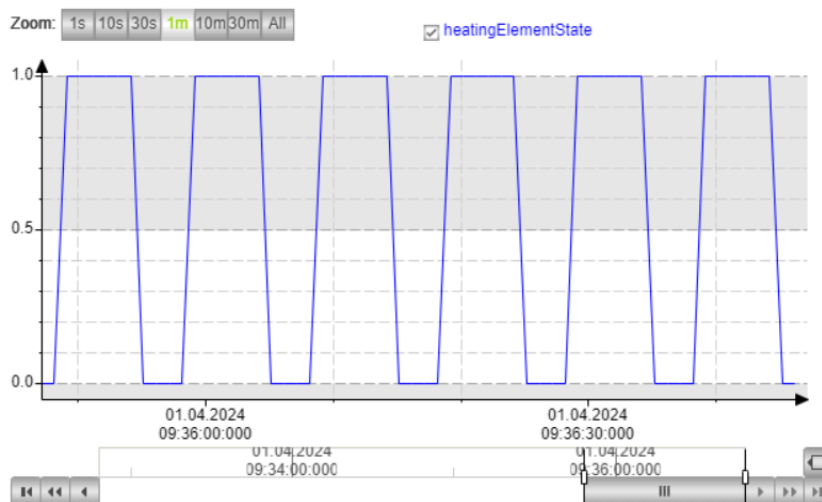


Рисунок 4.27 - Візуалізація регулювання ТЕНами за допомогою ШІМ.

4.2 Програмування функціональності SCADA-системи

Для даного проекту буде достатньо простої системи для диспетчеризації. Використаємо HMI/SCADA систему WebStudio та можливості OPC DA для мережевого з'єднання системи з ПЛК.

Створимо інтерфейс:

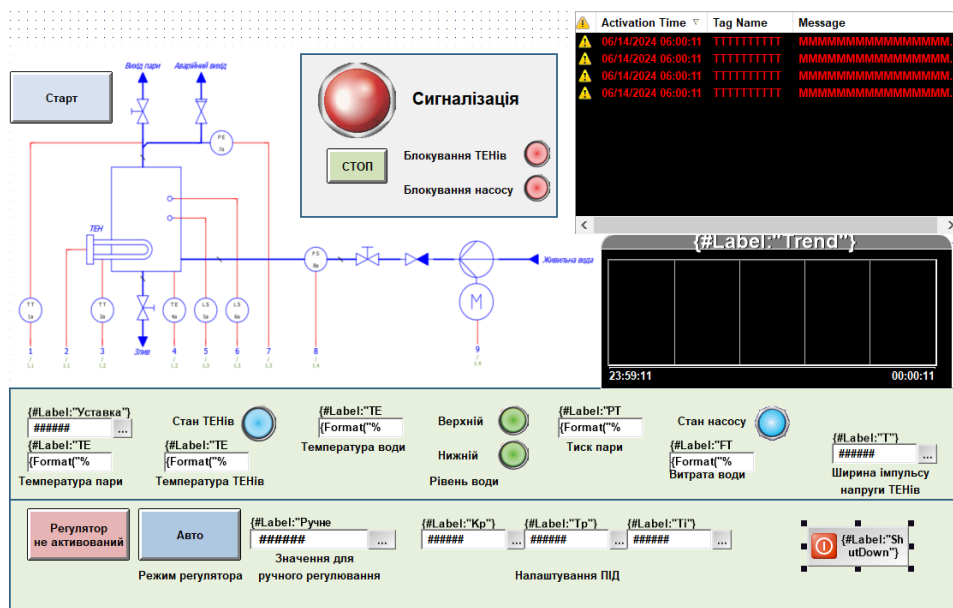


Рисунок 4.28 - Інтерфейс SCADA-системи

Маємо кнопку Старт/Стоп, що перемикає стан роботи системи автоматизації. Маємо індикатор сигналізації, що вмикається якщо система повідомляє про помилку, і кнопку, яка посилає на ПЛК команду про усунення помилки. Також маємо два індикатора блокування ТЕНів і насоса. Також маємо функціональну схему об'єкту для наочності.

Маємо вікно алармів до якого виводяться повідомлення у разі помилок або аварійних ситуацій. Маємо також тренд, на якому відображаються температура пари і ТЕНів у реальному часі.

Маємо індикатори роботи ТЕНів, давачів рівня, насоса. Також маємо кнопку для увімкнення/вимкнення регулятора і кнопку для перемикання авто/ручного

режима. Маємо текстові поля для вводу уставки, значення ручного управління, параметрів регулятора, періода імпульсів ШІМ. Також маємо поля з поточними значеннями аналогових давачів.

Створена SCADA-система використовує колір, розташування і розміри індикаторів та кнопок для покращення читабельності та зрозумілості поточного стану системи. Індикатори сигналізації і блокування у неактивному стані зелені, що зрозуміло показує відсутність аварій. У активізованому стані індикатори червоні, що підвищує швидкість, за яку оператор помітить сигналізацію. Не критичні кнопки і індикатори мають більш спокійні та пригнічені кольори, щоб не відволікати оператора.

Для демонстрації налаштуємо з'єднання створеної SCADA-системи з Soft PLC з завантаженою програмою, описаною у розділі 4.1.

Description:
Server Identifier:
CoDeSys.OPC.DA
Disable:

Read Update Rate (ms):
100
Percent Deadband:
Status:

Remote Server Name:
Browse...
☐ Read before writing
☐ Read after writing
☒ Accept Tag Name in the Item column

	Tag Name	Item	Scan
3	heatingState	PLC_GW3.Application.GVL.heatingElementState	Always
4	heatingTemp	PLC_GW3.Application.GVL.heatingElementTemp	Always
5	Kp	PLC_GW3.Application.REG_PRG.KP	Always
6	manualValue	PLC_GW3.Application.REG_PRG.yManual	Always
7	pumpBlock	PLC_GW3.Application.GVL.waterPumpBlock	Always
8	pumpState	PLC_GW3.Application.GVL.waterPump	Always
9	yMax	PLC_GW3.Application.REG_PRG.yMax	Always
10	regManual	PLC_GW3.Application.REG_PRG.xManual	Always
11	regulatorState	PLC_GW3.Application.GVL.xRegEnable	Always
12	SP	PLC_GW3.Application.REG_PRG.SP	Always
13	steamPressure	PLC_GW3.Application.GVL.steamPressure	Always
14	steamTemp	PLC_GW3.Application.GVL.steamTemp	Always
15	systemState	PLC_GW3.Application.GVL.xEnable	Always
16	Ti	PLC_GW3.Application.REG_PRG.Ti	Always
17	Tp	PLC_GW3.Application.REG_PRG.Tp	Always
18	waterFlow	PLC_GW3.Application.GVL.waterFlow	Always
19	waterLevelH	PLC_GW3.Application.GVL.waterLevelHigh	Always
20	waterLevelL	PLC_GW3.Application.GVL.waterLevelLow	Always
21	waterTemp	PLC_GW3.Application.GVL.waterTemp	Always
22	xErr	PLC_GW3.Application.GVL.xError	Always

Рисунок 4.29 - Налаштування зчитування та запису змінних через OPC DA

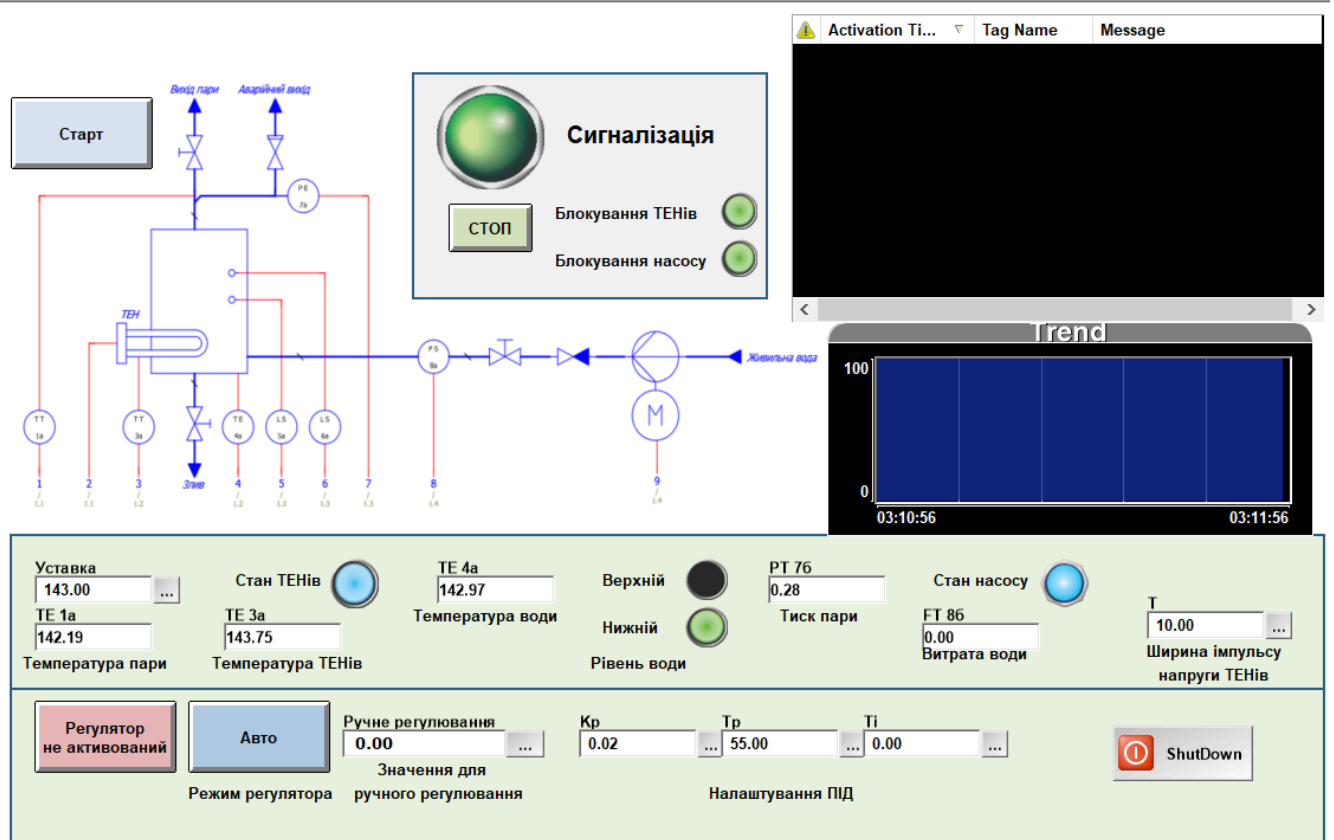


Рисунок 4.30 - Демонстрація роботи SCADA-системи

steamTempSensor	REAL	10			
steamTemp	REAL	43.75			Температура пари на виході
steamPressureSensor	REAL	4			
steamPressure	REAL	0.16			Тиск пари
heatingElementTempSensor	REAL	10			
heatingElementTemp	REAL	43.75			Температура ТЕНу
waterTempSensor	REAL	8			
waterTemp	REAL	12.5			Температура води
waterFlowSensor	REAL	5			
waterFlow	REAL	0.369473666			Витрата води
waterLevelHigh	BOOL	FALSE			
waterLevelLow	BOOL	FALSE			Рівень води
heatingElementState	BOOL	TRUE			Стан ТЕНу
waterPump	BOOL	TRUE			
heatingElementBlock	BOOL	FALSE			Блокування ТЕНу
errorFixed	BOOL	FALSE			
xError	BOOL	FALSE			Сигналізація про помилку
xEnable	BOOL	TRUE			Стан роботи об'єкту
waterPumpBlock	BOOL	FALSE			Блокування насосу
xRegEnable	BOOL	TRUE			Стан регулятора

Рисунок 4.31 - Глобальні змінні програми ПЛК у Codesys

Бачимо, що обмін даними проходить успішно.

					<i>ТА-01388.0001.001.АТХ.П</i>	Лист
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 5 ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АТК

5.1 Схема структурна полігону імітаційного моделювання АТК ТОУ

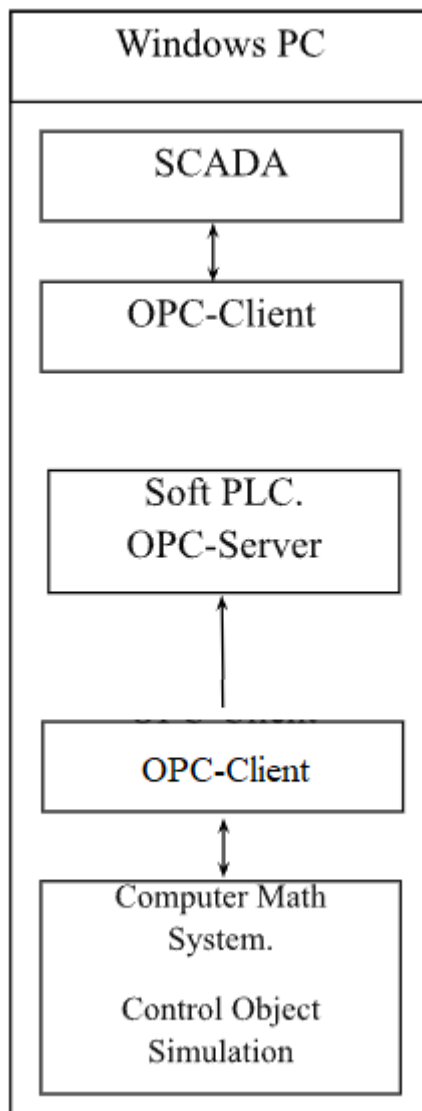


Рисунок 5.1 - Схема структурна полігону імітаційного моделювання АТК ТОУ.

5.2 Функціональне моделювання ОУ в СКМ Matlab Simulink

Сконфігуруємо універсальний (з вимірюванням в проміжній точці) ОУ в СКМ Matlab Simulink під ОУ проєктної САР.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ТА-01388.0001.001.АТХ.П

Лист

71

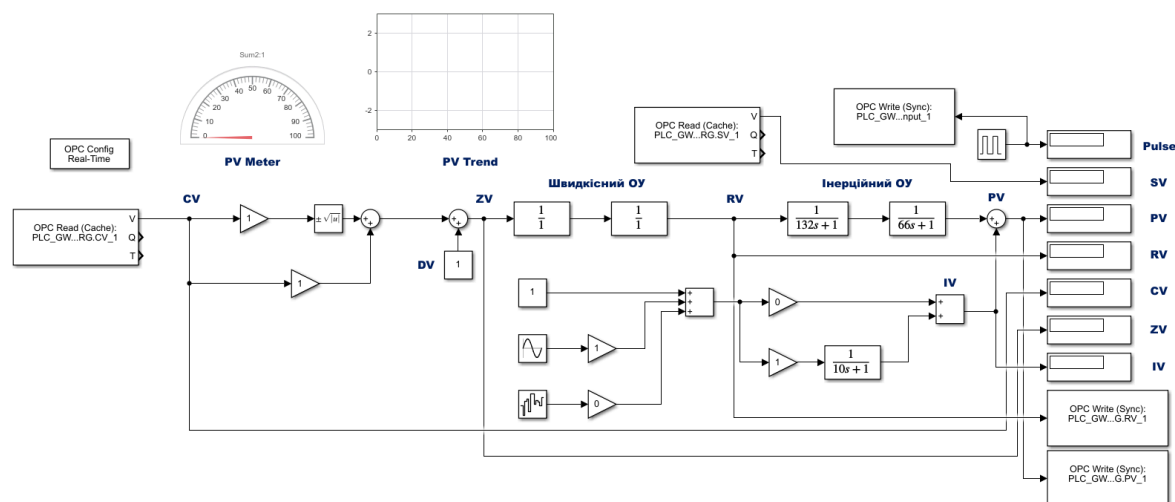


Рисунок 5.2 - Функціональна модель універсального ТОУ в СКМ Matlab Simulink

5.3 Реалізація контролерної функціональності САР в софтПЛК CoDeSys

Сконфігуруємо універсальну АСР в софтПЛК CoDeSys під АСР проєктної САР. Універсальна АСР, налаштування якої проводиться, є каскадною. Система передбачає можливість переключення між одноконтурним та каскадним регулюванням. Під час імітаційного моделювання оберемо одноконтурний режим, так як проєктна САР є одноконтурною, та налаштуємо перший ПІД-регулятор відповідно до налаштувань проєктної САР.

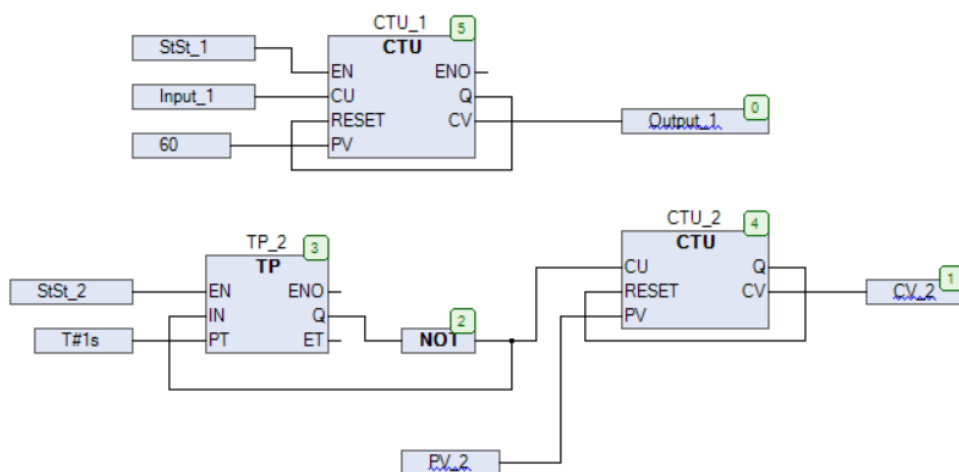


Рисунок 5.3 - CFC діаграма LOG_PRG у софтПЛК CODESYS

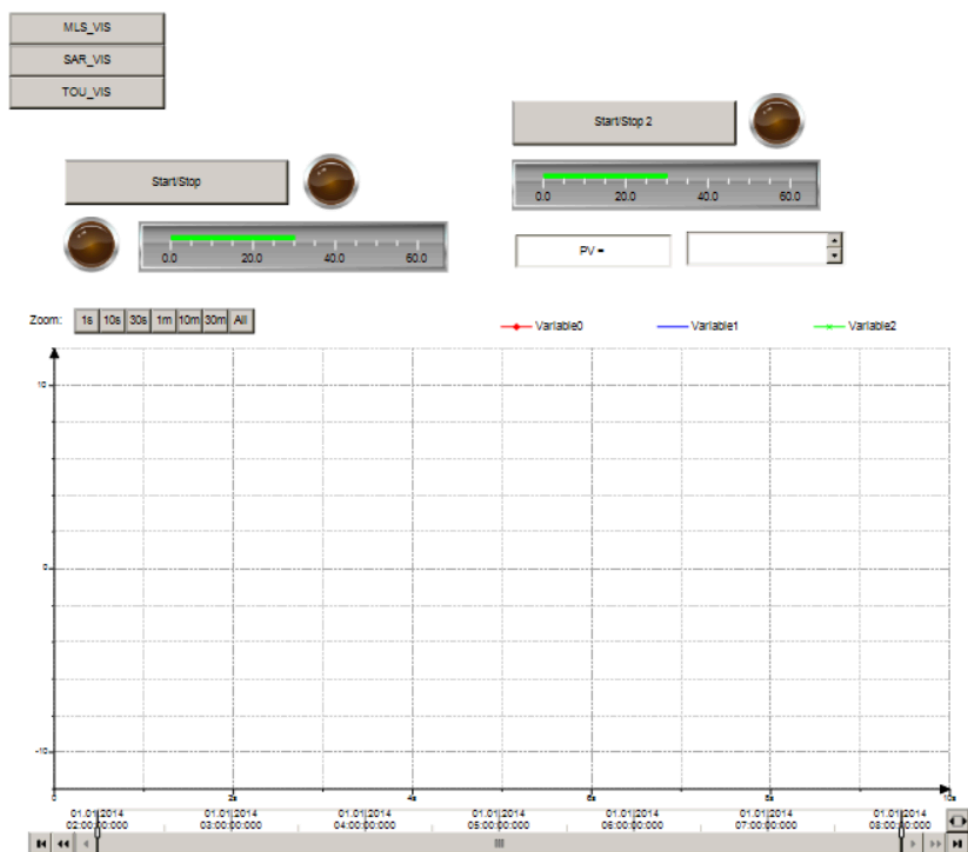


Рисунок 5.4 - Візуалізація LOG_PRG у софтПЛК CODESYS

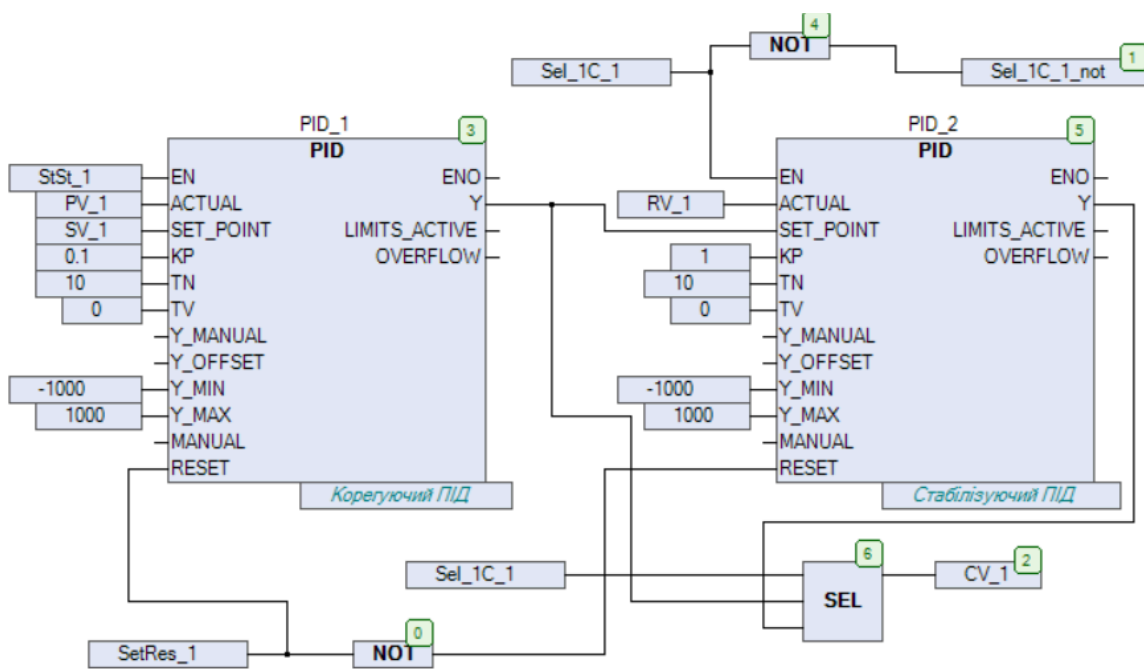


Рисунок 5.5 - CFC діаграма MLS_PRG у софтПЛК CODESYS

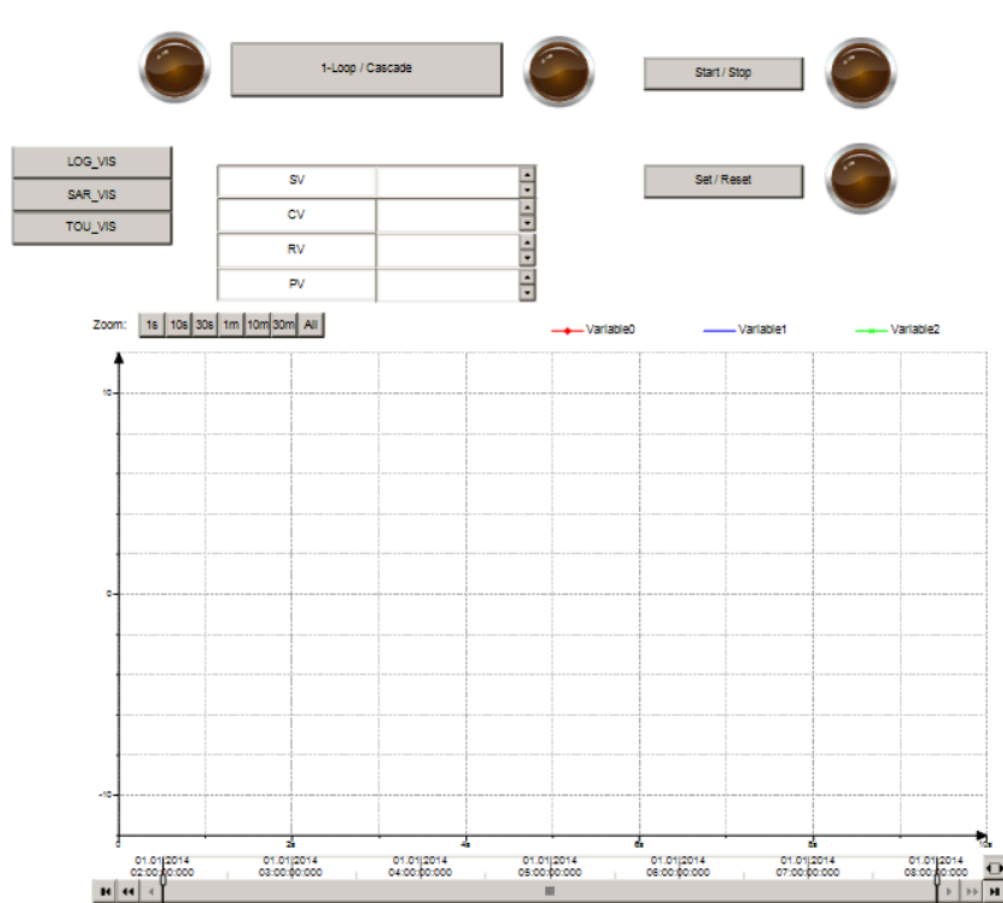
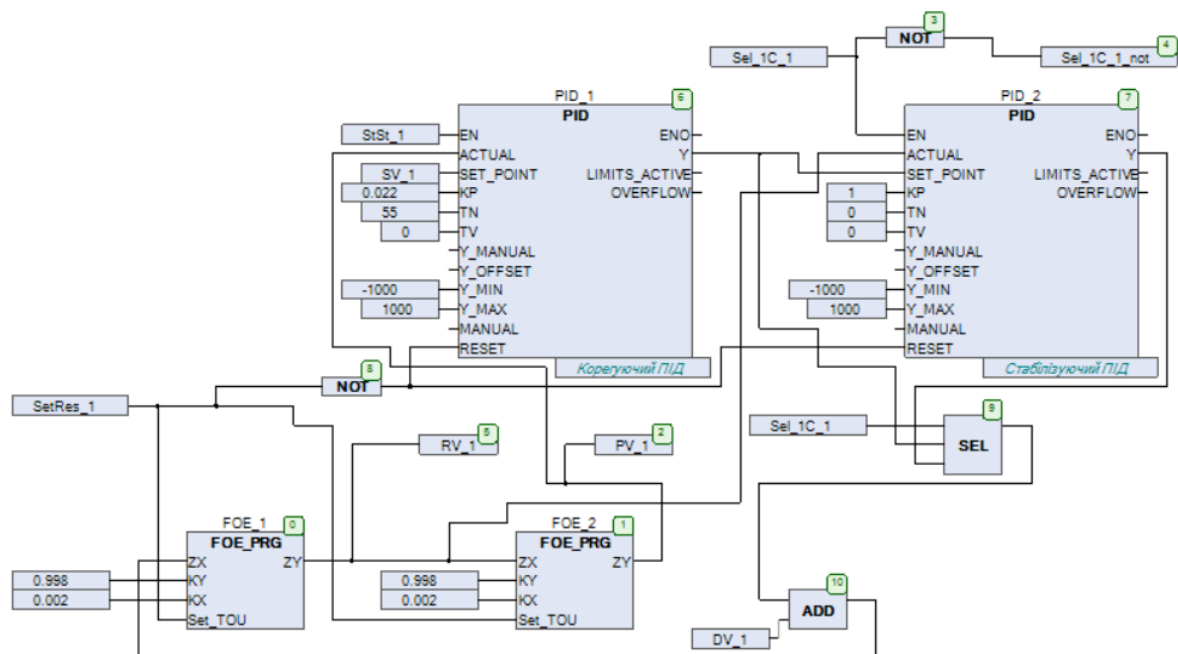


Рисунок 5.6 - Візуалізація MLS_PRG у софтПЛК CODESYS



Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ТА-01388.0001.001.АТХ.П

Рисунок 5.7 - CFC діаграма SAR_PRG у софтПЛК CODESYS

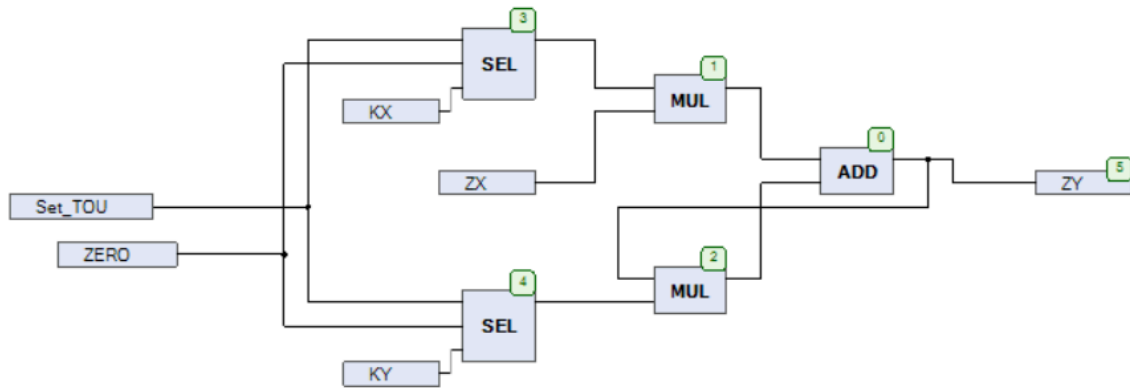


Рисунок 5.8 - CFC діаграма FOE_PRG у софтПЛК CODESYS

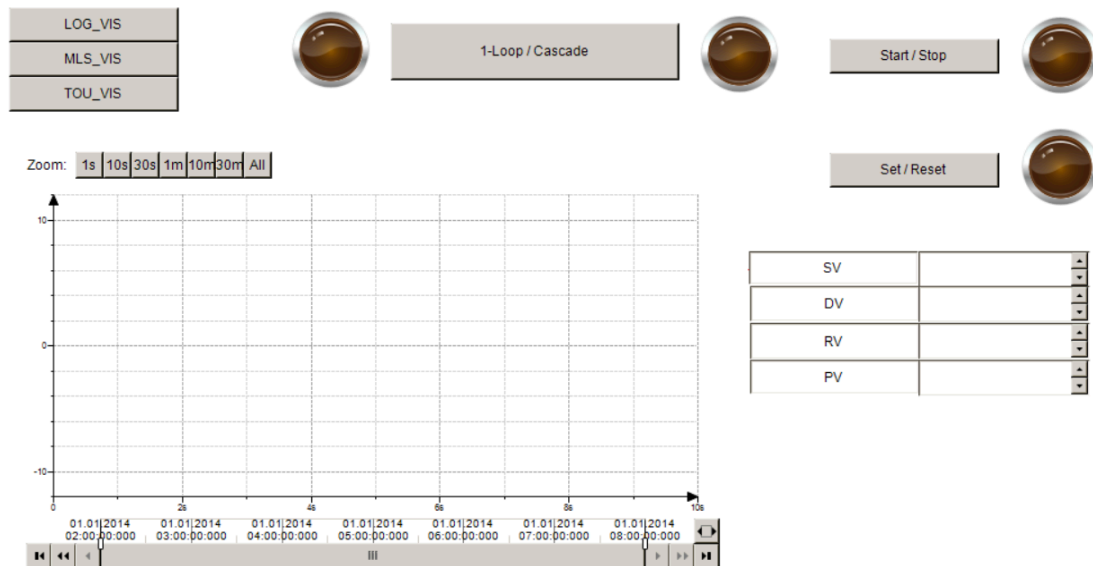


Рисунок 5.9 - Візуалізація SAR_PRG у софтПЛК CODESYS

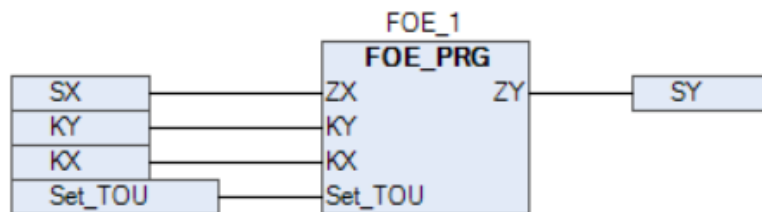


Рисунок 5.10 - CFC діаграма TOU_PRG у софтПЛК CODESYS

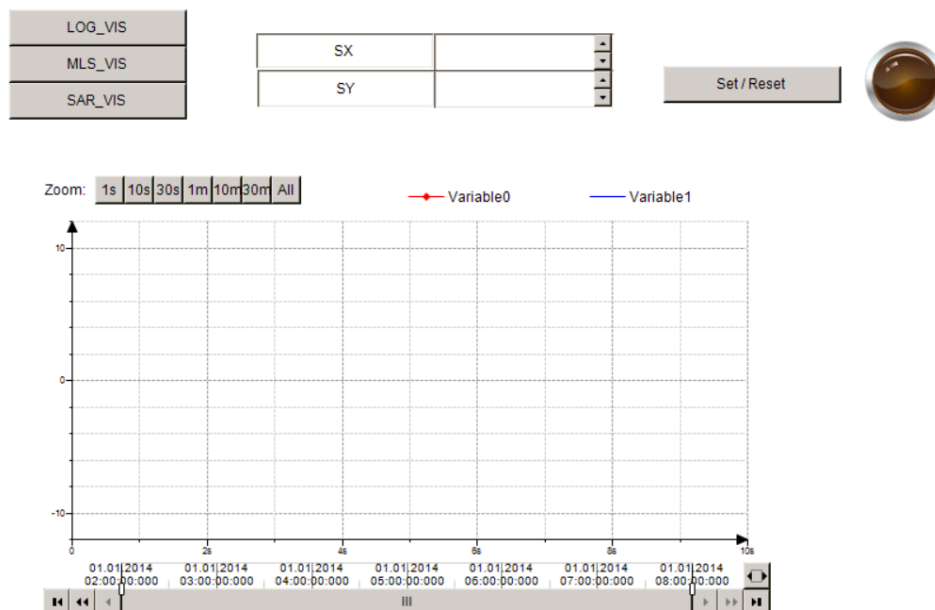


Рисунок 5.11 - Візуалізація TOU_PRG у софтПЛК CODESYS

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



Рисунок 5.12 - Вікно в HMI/SCADA-системі WebStudio. HMI-Standard функціональність : «Menus»

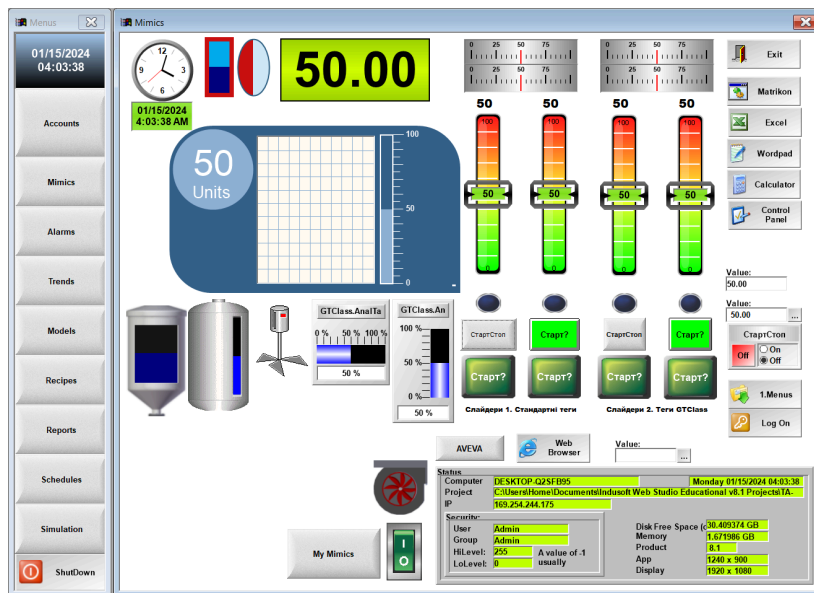


Рисунок 5.13 - Вікно в HMI/SCADA-системі WebStudio. HMI-Standard
функціональність : «Mimics»

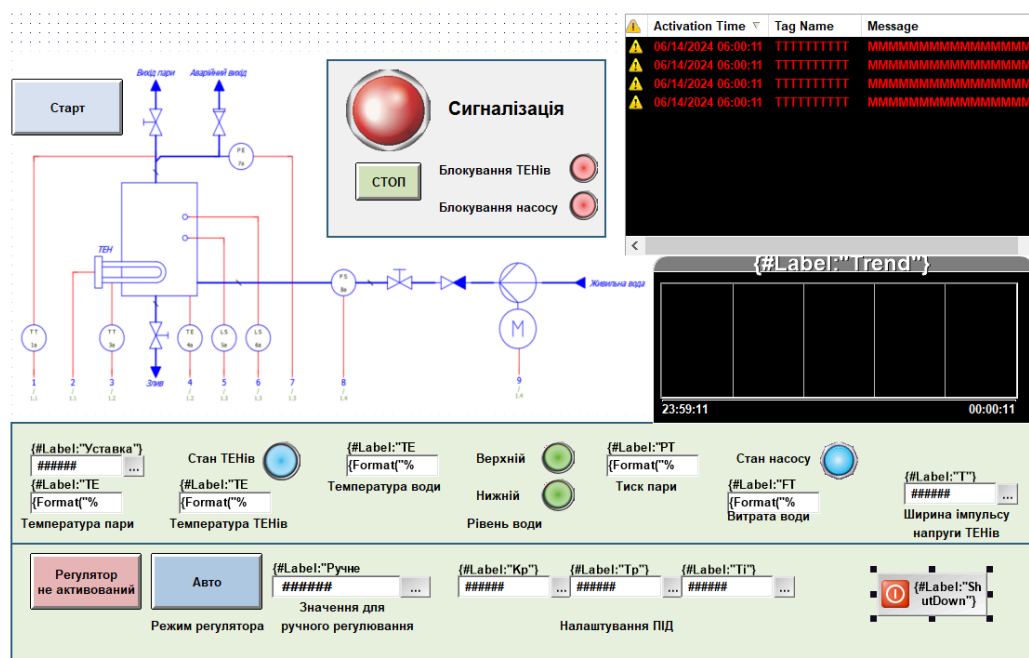


Рисунок 5.14 - Вікно в HMI/SCADA-системі WebStudio. HMI-Standard
функціональність : «My Mimics»

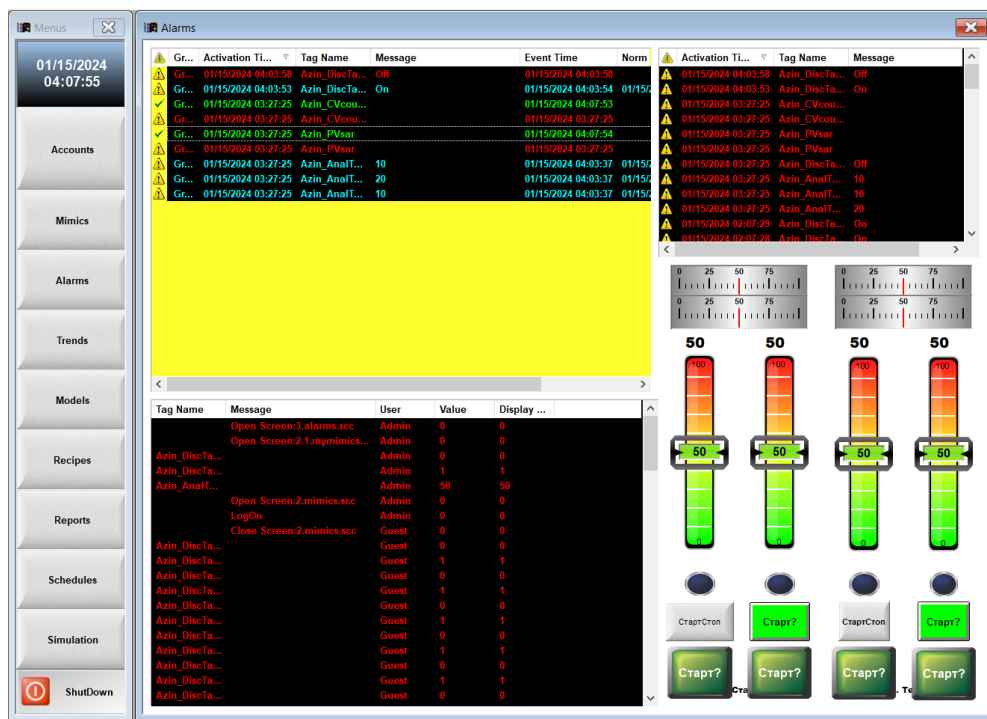


Рисунок 5.15 - Вікно в HMI/SCADA-системі WebStudio. HMI-Standard
функціональність : «Alarms»

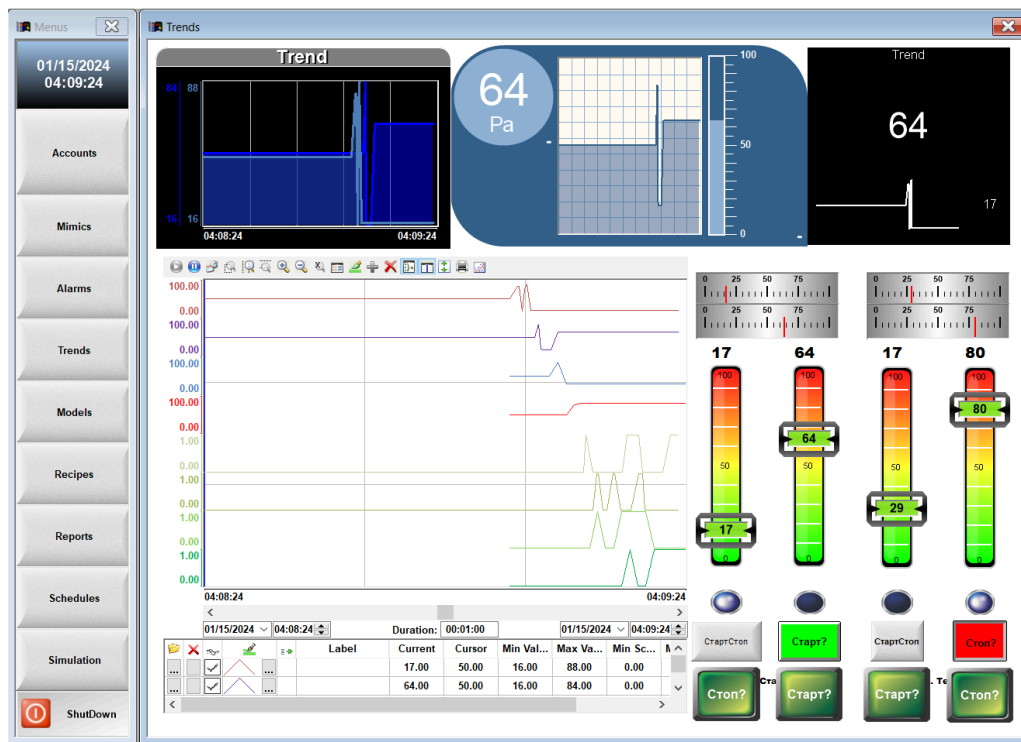


Рисунок 5.16 - Вікно в HMI/SCADA-системі WebStudio. HMI-Standard
функціональність : «Trends»

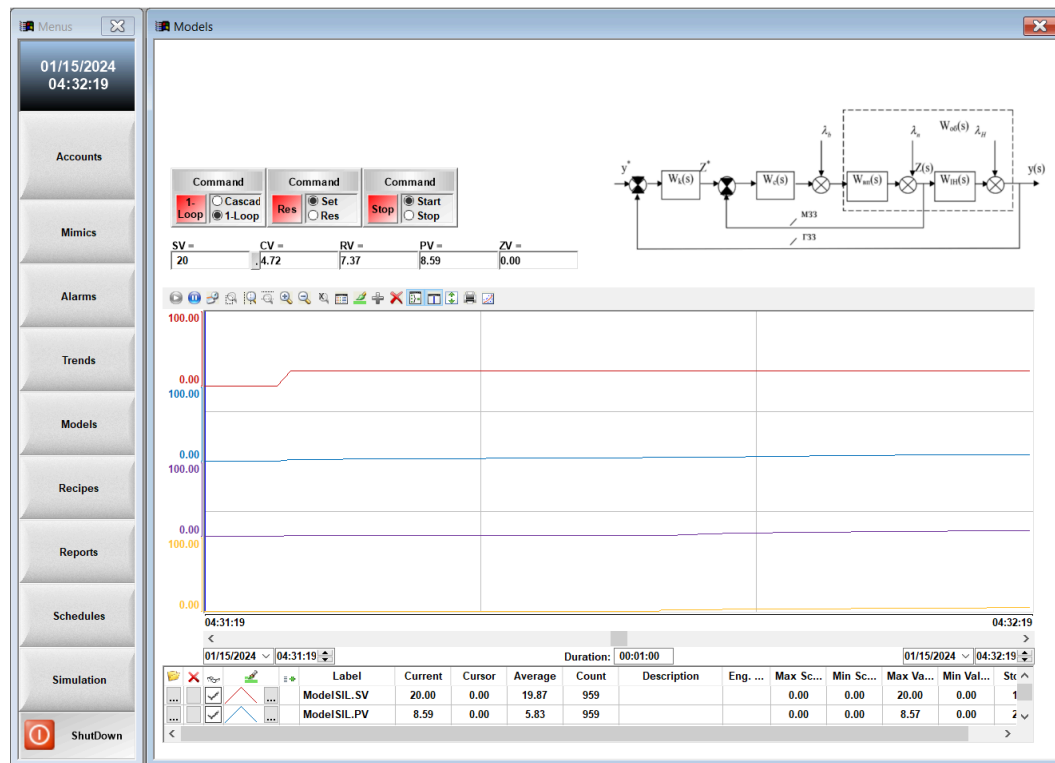


Рисунок 5.17 - Вікно в HMI/SCADA-системі WebStudio. HMI-Standard
функціональність : «Models»

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

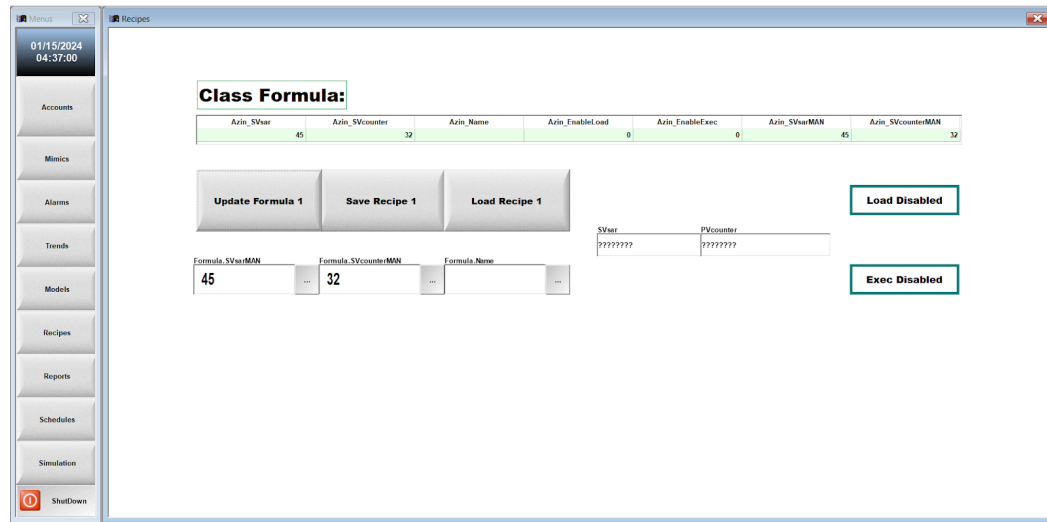


Рисунок 5.18 - Вікно в HMI/SCADA-системі WebStudio. MES-Lite функціональність: «Recipes»

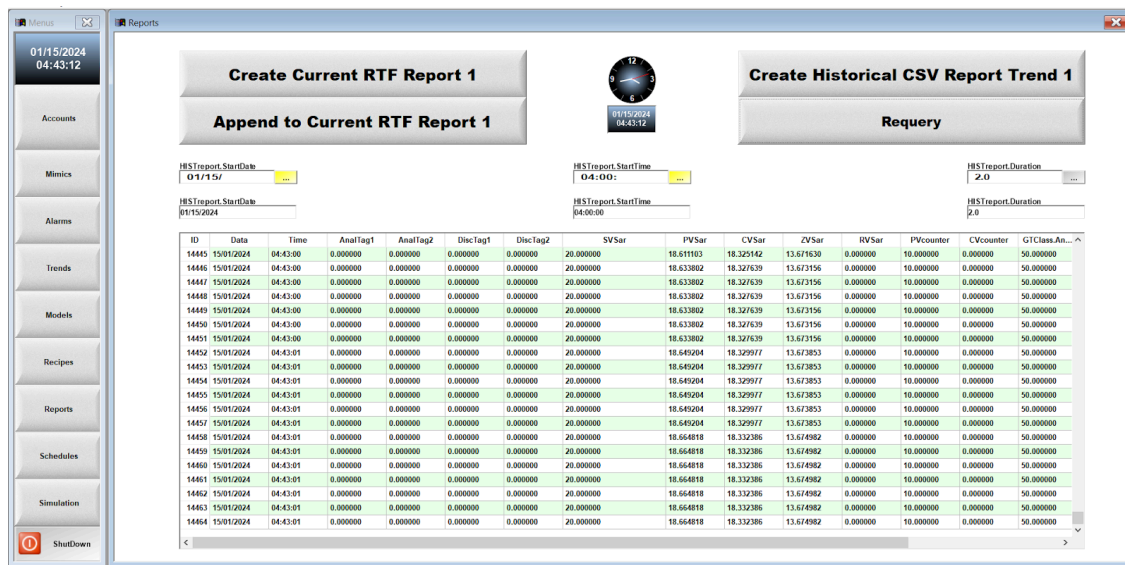


Рисунок 5.19 - Вікно в HMI/SCADA-системі WebStudio. MES-Lite функціональність: «Reports»

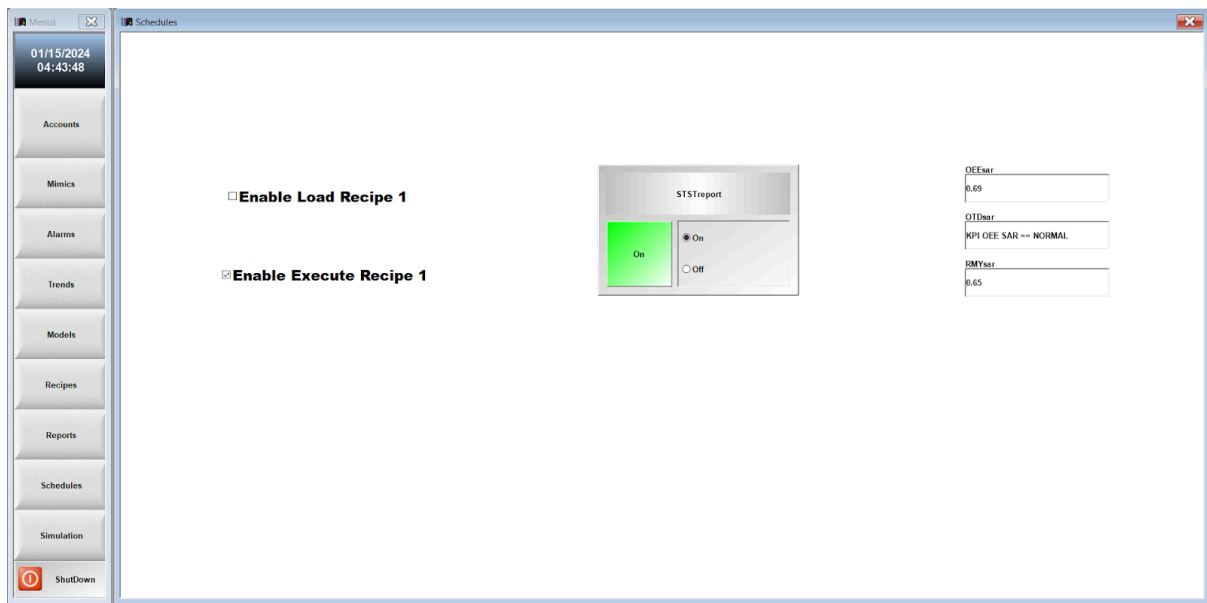


Рисунок 5.20 - Вікно в HMI/SCADA-системі WebStudio. MES-Lite
функціональність: «Schedules»

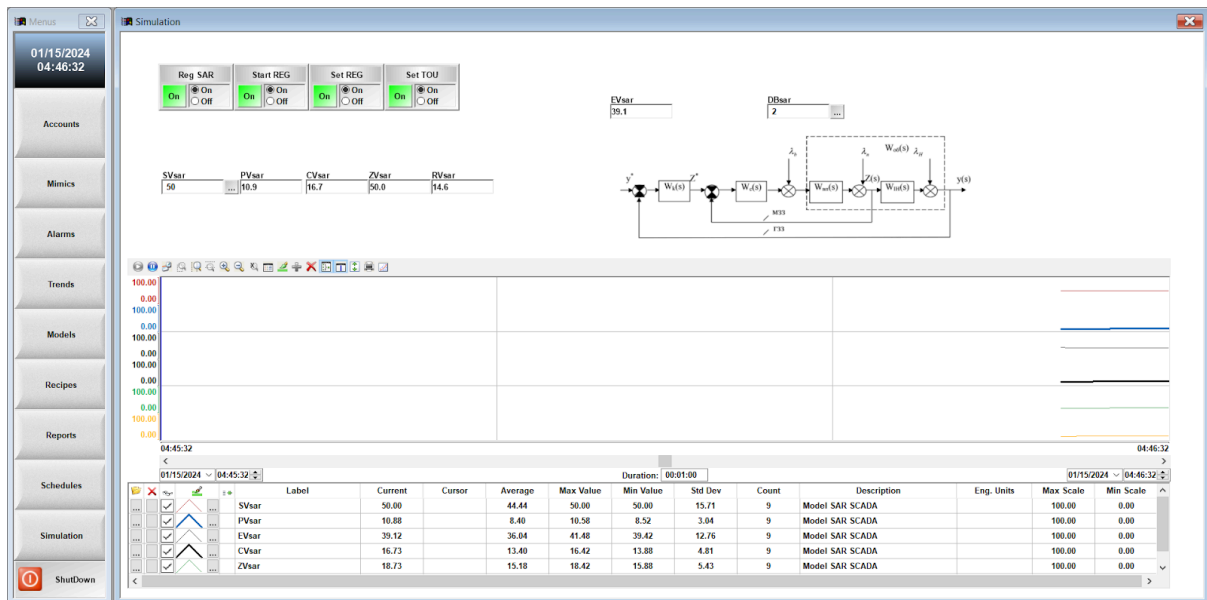


Рисунок 5.21 - Вікно в HMI/SCADA-системі WebStudio. MES-Lite
функціональність: «Simulation»

5.6 Структурне моделювання АТК в програмно-технічному симуляторі

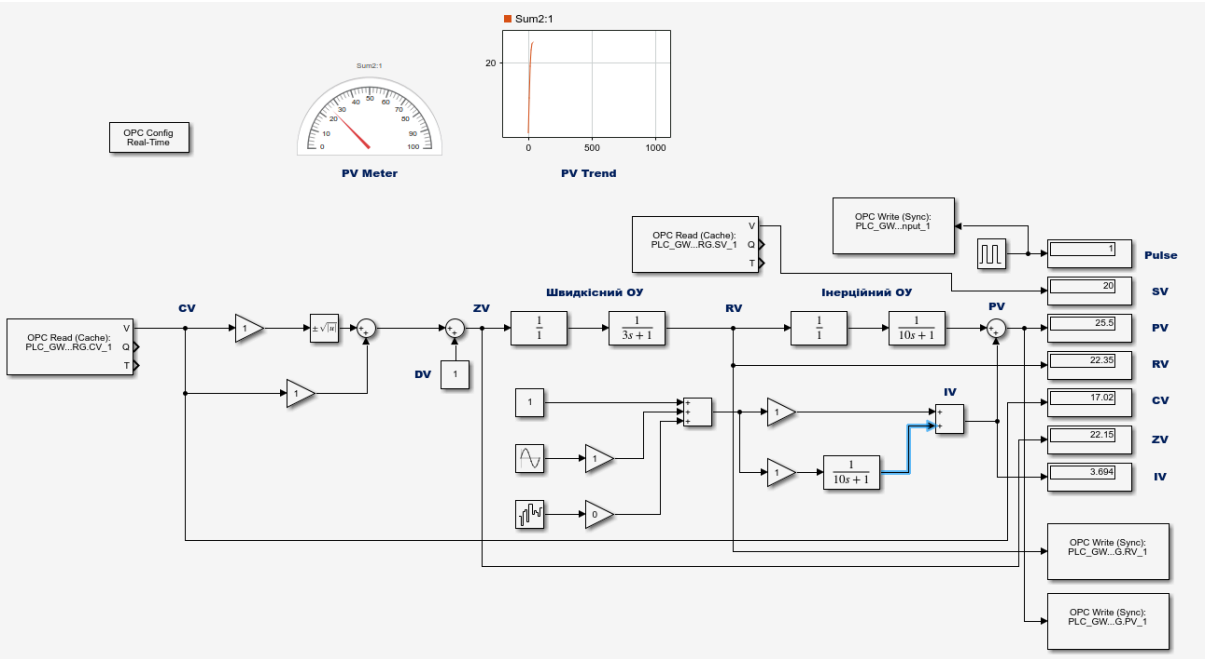


Рисунок 5.22 - Структурне моделювання АТК в програмно-технічному
SIL-симуляторі - Matlab

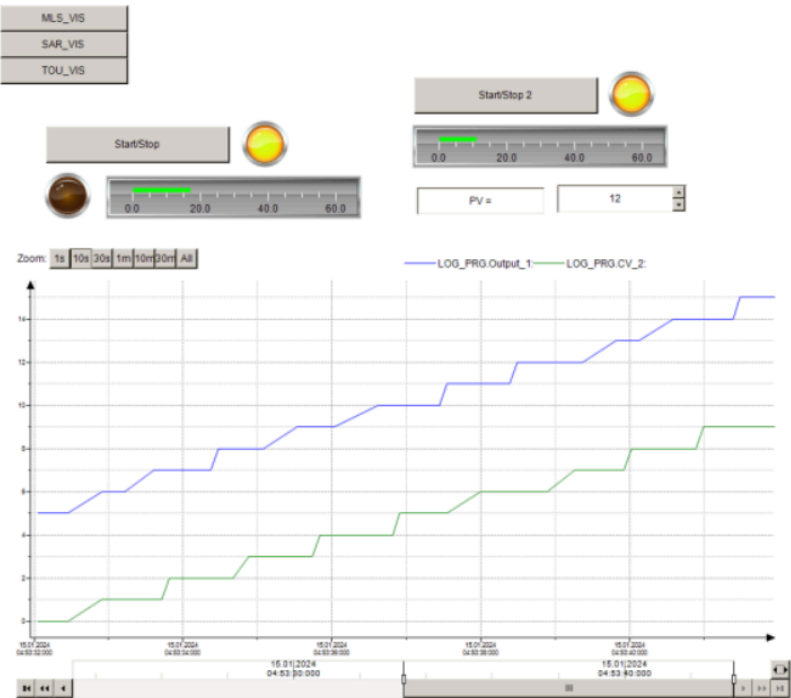


Рисунок 5.23 - Структурне моделювання АТК в програмно-технічному
SIL-симуляторі - Codesys LOG_VIS

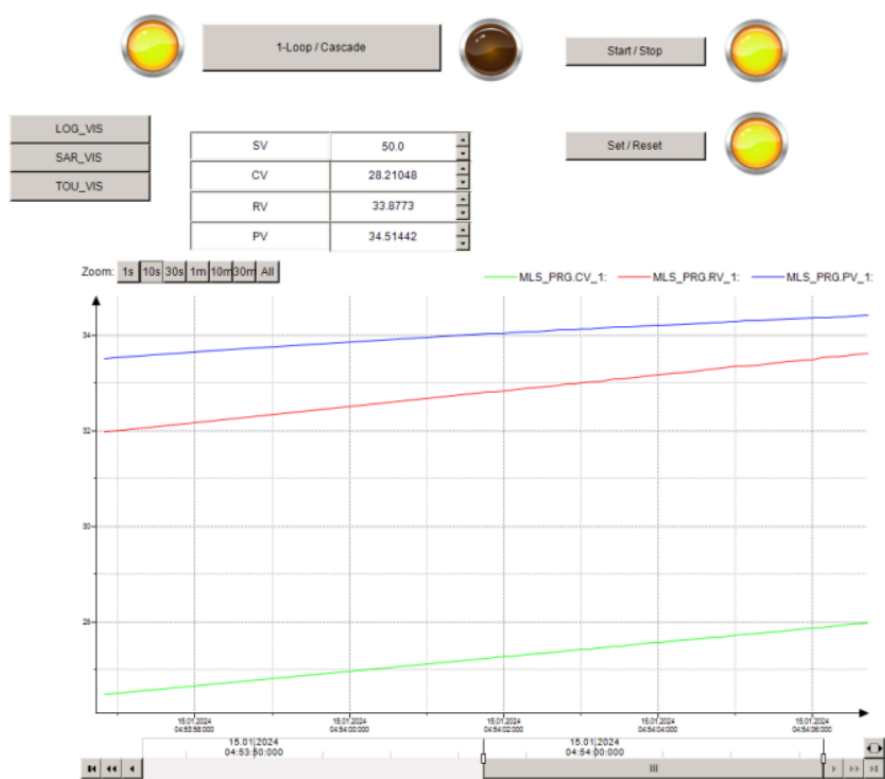


Рисунок 5.24 - Структурне моделювання АТК в програмно-технічному
SIL-симуляторі - Codesys MLS_VIS

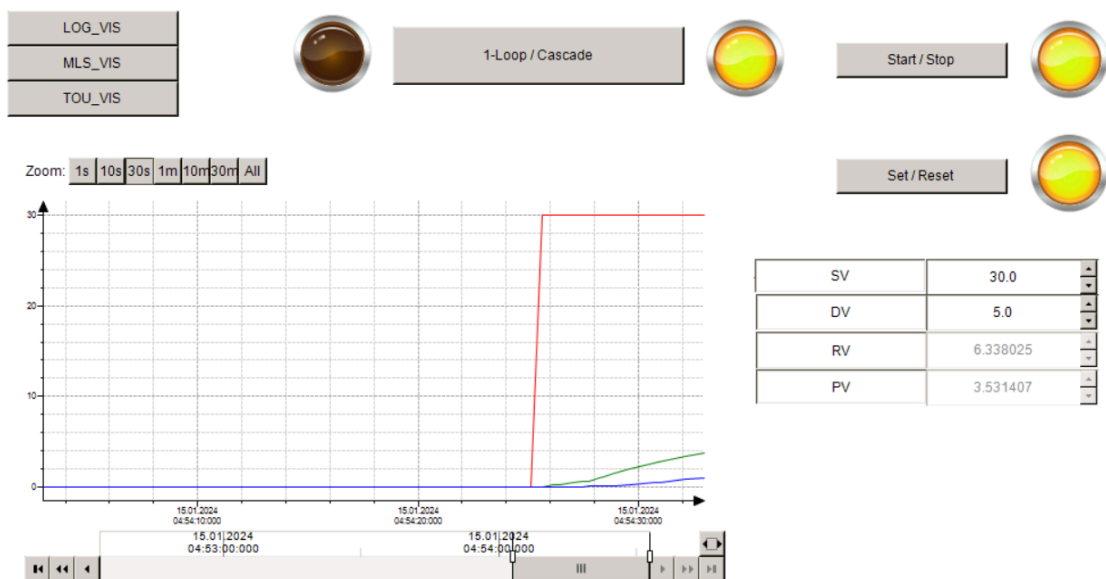


Рисунок 5.25 - Структурне моделювання АТК в програмно-технічному SIL-симуляторі - Codesys SAR_VIS

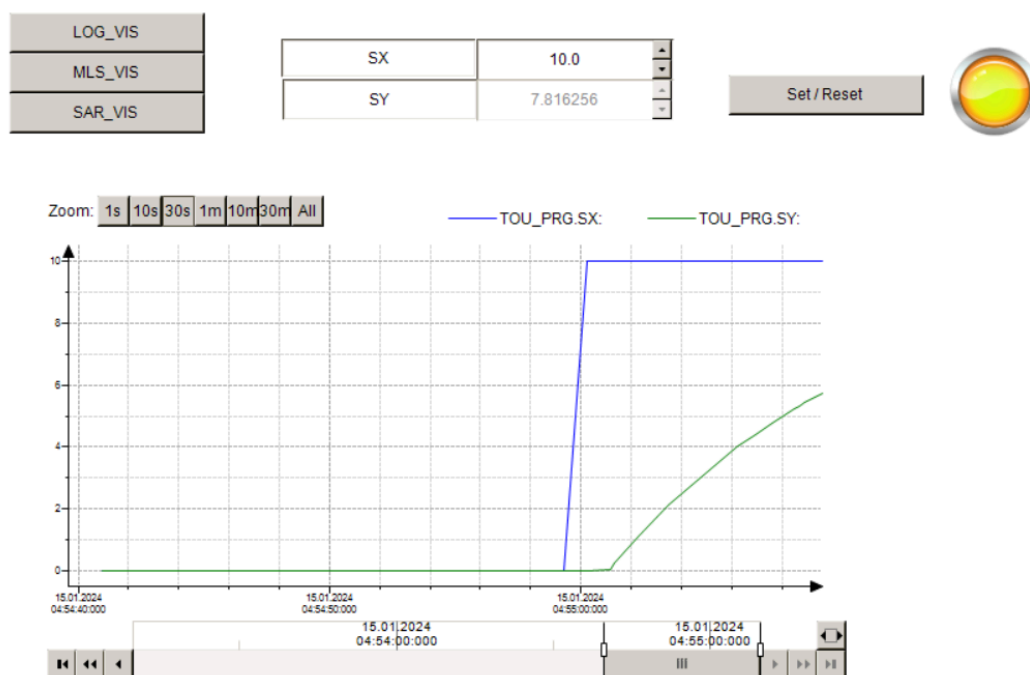


Рисунок 5.26 - Структурне моделювання АТК в програмно-технічному SIL-симуляторі - Codesys TOU_VIS

РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці відіграє надзвичайно важливу роль у збереженні здоров'я та дієздатності працівників під час їх трудової діяльності і являє собою сукупність законів, нормативно-правових актів, комплексу різноманітних заходів та засобів, які забезпечують безпеку праці, збереження життя, здоров'я та працездатності людей при виконанні ними трудових обов'язків.

Основною метою охорони праці є створення безпечних умов трудової діяльності людини, забезпечення її високої та ефективної працездатності.

Об'єктом охорони праці є життя, здоров'я і працездатність людини, а предметом – засоби і заходи, спрямовані на їхнє збереження.

Охорона праці має соціальне та економічне значення.

Соціальне значення охорони праці полягає в сприянні росту ефективності суспільного виробництва шляхом безперервного вдосконалення і поліпшення умов праці, підвищення їх безпеки, зниження виробничого травматизму і профзахворювань.

Економічне значення охорони праці визначається ефективністю заходів щодо поліпшення умов та підвищення безпеки праці і є економічним вираженням соціальної значимості охорони праці.

Дотримання вимог з охорони праці вимагає дотримання діючих нормативно-правових актів, а також запровадження необхідних організаційно-технічних, соціально-економічних, лікувально-профілактичних та санітарно-гігієнічних заходів щодо створення комфортних та безпечних умов праці.

Тема дипломної роботи: "АСК електричним парогенератором ПГ-21».

У проекті розглядається барабанний теновий електричний парогенератор потужністю 21кВт. Основним завданням проекту є модернізація існуючої системи

					ТА-01388.0001.001.АТХ.П	Лист 86
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

автоматизації парогенератора для підвищення його продуктивності, енергоефективності та безпеки. Одним з ключових завдань при проектуванні даної АСК було дотримання діючих вимог з охорони праці і техніки безпеки при її експлуатації.

У даному розділі представлені пропозиції щодо технічних рішень та організаційних заходів, які стосуються виконання діючих вимог з безпеки експлуатації засобів автоматизації і технологічного устаткування та визначені основні заходи, що стосуються питань електробезпеки, гігієни праці та виробничої санітарії, пожежної безпеки і її профілактики при експлуатації даного парогенератора.

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

Технічні рішення, організаційні заходи з безпеки експлуатації засобів автоматизації і технологічного устаткування для електричного парогенератора прийняті у проекті прийняті і розроблені згідно вимог:

- НПАОП 0.00-1.08-94. Правила будови і безпечної експлуатації парових та водогрійних котлів (зі змінами та доповненнями);
- Правил технічної експлуатації теплових установок і мереж. Затвердженні Наказом Міністерства палива та енергетики України від 14.02. 2007 № 71;
- Правил охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском. Затверджені наказом Мінсоцполітики України від 05.03.2018 р. № 333; НПАОП 0.00-1.81-18);
- Технічний регламент обладнання, що працює під тиском. Затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 16 січня 2019 р. № 27;

- ПУЕ-2017 Правила улаштування електроустановок споживачів. Затверджених наказом Міністра енергетики та вугільної промисловості України від 21 липня 2017 р. № 476;

- Правил охорони праці під час експлуатації тепломеханічного обладнання електростанцій, теплових мереж і тепловикористовувальних установок. Затверджених наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 02.12.2013р. № 892;

- Правил безпечної експлуатації електроустановок (із змінами, внесеними згідно з Наказом Держнаглядохоронпраці N 26 від 25.02.2000р.);

- ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом;

- ДСТУ EN 61140:2015. Захист проти ураження електричним струмом. Загальні аспекти щодо установок та обладнання;

- ДСТУ 7237:2011. Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту.

Обладнання спроектованої АСК для здійснення управління технологічним процесом розташоване в окремому приміщенні, відокремленому від щитової і технологічного обладнання і передбачає застосування комп'ютера з встановленим на ньому програмним забезпеченням для диспетчеризації.

Для передачі сигналів від датчиків використовується електрична система, яка потребує дотримання передбачених проектом правил експлуатації та постійного підтримання її працездатності.

Конструкція парогенератора та його основних частин повинна забезпечувати надійність, монтаж і ремонтоздатність, довговічність і безпечну експлуатацію на розрахункових параметрах протягом розрахункового ресурсу безпечної роботи, прийнятого в технічних умовах, а також можливість

проведення технічного опосвідчення, очистки, промивки та експлуатаційного контролю металу.

Конструкція і умови експлуатації електричного парогенератора дозволяють його встановлення всередині виробничих приміщень, місце встановлення відокремлюється перегородками на всю висоту парогенератора, але не нижче 2 м, з улаштуванням дверей. Місце розташування та напрямки відчинення дверей визначаються проектною організацією. Перегородки виконуються з неспалювальних матеріалів.

Безпечна експлуатація обладнання і арматури забезпечена їх раціональним розміщенням з забезпеченням вільних проходів для доступу до них (ширина вільного проходу між стіною та обладнанням становить 0,8 м, мінімальна площа на одну людину відповідно до діючих вимог становить $4,5 \text{ м}^2$, а об'єм робочої зони на людину — 15 м^3).

Усі гарячі частини обладнання, трубопроводи, баки та інші елементи, торкання до яких може викликати опіки, повинні мати теплову ізоляцію. Температура на поверхні ізоляції за температури навколишнього повітря $+25^\circ\text{C}$ не повинна перевищувати $+43^\circ\text{C}$. Також усі гарячі ділянки поверхонь обладнання і трубопроводів, що розташовані в зоні можливого потрапляння на них легкозаймистих, горючих, вибухонебезпечних або шкідливих речовин, необхідно покрити металевою обшивкою для захисту теплової ізоляції від просочування цих речовин. Устаткування і трубопроводи з температурою більш $+45^\circ\text{C}$ мають бути теплоізовані і пофарбовані у відповідні кольори згідно з вимогами.

На запірній та регулювальній арматурі, а також на прилеглих ділянках теплопроводів і технологічних трубопроводів вказати стрілкою напрямок руху теплоносія.

Кожний трубопровід і паропровід для надійних і безпечних умов експлуатації оснащується приладами для вимірювання тиску та температури

					ТА-01388.0001.001.АТХ.П	Лист 89
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

робочого середовища, а за потреби - запірною та регулювальною арматурою, редуційними та запобіжними пристроями, засобами захисту і автоматизації.

Прилади, контролери давачі та органи дистанційного керування виконавчими механізмами мають пояснювальні надписи, на яких зазначений регульований або контрольований параметр, а також вказано, який з виконавчих механізмів дистанційно керується.

При проведенні ремонту апаратури чи обладнання встановлюються відповідні таблички, типу «Ремонтні роботи».

У приміщенні, де встановлений парогенератор, на видному місці необхідно вивісити:

- технологічну схему парогенератора з пронумерованою запірною арматурою і коротким поясненням її функціонального призначення;
- режимну карту роботи парогенератора;
- інструкцію по його зупинці і діях при виникненні аварійної ситуації;
- інструкцію по дії персоналу при пожежі;
- список посадових осіб та спецпідрозділів, які повинні бути негайно сповіщені про аварію або пожежу;
- покажчики місцезнаходження засобів індивідуального захисту.

При технічному обслуговуванні проводити обов'язкові контрольні огляди, випробування, регулювання, налагодження, очищення, змащування устаткування, нескладну заміну деталей, що вийшли з ладу, усунення різних дрібних дефектів і перевірку дотримання вимог експлуатаційних інструкцій.

Стіни приміщення бажано пофарбувати в малоконтрастний колір, який не відволікає увагу. Підлога в приміщенні повинна бути неструмопровідною, рівною і не ковзкою.

					ТА-01388.0001.001.АТХ.П	Лист 90
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6.1.1 Електробезпека

Передбачена проектом апаратура АСК та силове електротехнічне устаткування повинні експлуатуватися відповідно до паспортних даних, які визначають номінальні значення струмів і напруг живлення.

Даний проект виконано з урахуванням діючих вимог з електробезпеки в Україні та вище викладених нормативних документів.

Приміщення де встановлено парогенератор, за небезпекою отримання електротравм відноситься до категорії приміщень з підвищеною небезпекою, оскільки існує можливість одночасного доторкання людини до неструмовідних електропровідних частин електроустановки і до металоконструкцій будівлі та технологічного устаткування, що мають контакт з землею

Для живлення засобів автоматизації та парогенератора використовується 4-х провідна 3-х фазна електромережа із зануленням та заземленою нейтраллю, з робочою напругою 220/380 В та частотою 50 Гц. Застосована система захисного заземлення TN (підсистеми TN-C), яка виключає можливість ураження персоналу електричним струмом при пробії на корпус електроустановки однієї з фаз електромережі, що забезпечується завдяки швидкому вимиканню ділянки електромережі, на якій виникло замикання фази на корпус, за рахунок використання пристроїв максимального струмового захисту.

Для виконання діючих вимог з електробезпеки, все технологічне устаткування згідно з ДСТУ ІЕС 61140:2015 має І клас за електрозахистом, а засоби автоматизації (блоки контролерів, екранні пристрої, давачі, виконавчі пристрої, блоки живлення тощо) системи управління мають відповідно І, ІІ та ІІІ класи. Для захисту людей від помилкових дій та випадкового дотику до струмовідних частин електрообладнання при монтажі, обслуговуванні та

експлуатації спроектованої АСК застосовані розподільні щити в металевих шафах в закритому виді, клемні колодки мають бути захищеними спеціальними щитками, електрокабелі мати різнокольорову ізоляцію провідників та відповідне кольорове маркування комутаційних елементів, таблички та написи з позначенням робочих напруг, попереджувальні знаки.

У проекті використовується електротехнічне устаткування, апаратура, кабелі та органи керування, розподільні пристрої різних видів і напруг, які відповідають умовам роботи як при нормальних, так і при аварійних режимах роботи, включаючи короткі замикання, перенапруги та перевантаження.

Для запобігання електричних травм і захисту від випадкового дотику людини до струмовідних частин електроустановки проектом передбачено такі технічні рішення:

- провести ізоляцію нормально струмовідних частин електричного устаткування відповідно з вимогами нормативних актів (опір ізоляції нового електроустаткування повинен бути не менше 1 кОм на 1В напруги);
- усі вимикачі та розетки мають бути закритого типу;
- для забезпечення недоступності персоналу до неізольованих струмовідних частин ЕУ застосовувати захисні огороження та використовувати закриті розподільні шафи, пускові пристрої і клемні коробки поміщувати в спеціальні кожухи;
- електричні світильники з робочою напругою живлення 220 В розміщувати на висоті не менше 2,5 м від підлоги;
- для запобігання помилковим діям при обслуговуванні та експлуатації електроустаткування використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні (написи, таблички «Обережно! Напруга!», плакати, попереджувальні знаки,

сигналізація, різнокольорова ізоляція провідників та окремих елементів устаткування тощо);

- використання захисних блокувань (механічних, електричних, оптичних), що забезпечує вимкнення напруги при відкриванні корпусів електрообладнання, знятті огороження, при попаданні персоналу в небезпечну зону;

- використання зниженої напруги у мережі змінного й аварійного освітлення з напругою 12 В, а також переносне освітлення. Допускається використання акумуляторних й батарейних ліхтарів. Для ручного електроінструменту й місцевого стаціонарного освітлення використовується напруга 42 В;

- використання засобів індивідуального захисту (діелектричні рукавички, боти, килими, покажчики напруги, сходи-драбини, інструмент з ізолюючими рукоятками). Усі захисні засоби повинні зберігатися в спеціальній шафі, яка захищає їх від впливу тепла й опромінення;

- проведення періодичного контролю стану захисного заземлення (один раз на три роки).

Для зменшення максимального значення напруги на корпусі парогенератора як при його нормальному, так і при аварійному режимах роботи, зроблено повторне заземлення нульового дроту.

Максимальні значення напруг на корпусах електрообладнання при аварійному режимі його роботи не повинні перевищувати допустимих значень, які визначені у ПУЕ-2017.

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

Технічні рішення та організаційні заходи з гігієни праці та виробничої санітарії розробляються відповідно до вимог Наказу Міністерства охорони здоров'я України від 08.04.2014 № 248 «Про затвердження Державних санітарних норм та правил Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу».

6.2.1 Мікроклімат робочої зони

Мікроклімат виробничого приміщення, де встановлено парогенератор - це умови внутрішнього середовища цього приміщення, що впливають на тепловий обмін працюючих з оточенням шляхом конвекції, кондукції, теплового випромінювання та випаровування вологи.

Ці умови визначаються поєднанням температури, відносної вологості та швидкості руху повітря, температури оточуючих людину поверхонь та інтенсивністю теплового опромінення.

Мікрокліматичні умови приміщення та їх забезпечення розроблені і дотримуються відповідно до вимог ДСН 3.3.6-042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» та ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування»

В даному приміщенні виконуються легкі роботи категорії Іб (роботи, що пов'язані з ходінням та супроводжуються деяким фізичним напруженням), і є можливість забезпечити оптимальний рівень параметрів повітряного середовища (табл. 6.1).

					ТА-01388.0001.001.АТХ.П	Лист 94
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 6.1 Оптимальні параметри повітряного середовища

Пора року	Температура	Відносна вологість	Швидкість руху повітря
Холодна	18-22°C	40-60 %	0,1-0,3 м/с
Тепла	20-23°C	40-60 %	0,1-0,4 м/с

Для створення таких умов, в теплу пору року, передбачено встановлення штучної механічної загально обмінної вентиляції, а в холодну - система водяного опалення.

6.2.2 Склад повітря робочої зони

Чисте повітря в приміщення – це необхідна умова створення безпечних умов виробничої діяльності. Внаслідок виробничої діяльності у повітряне середовище даного приміщення можливе виділення чи попадання шкідливих речовин у концентраціях, що можуть перевищити гранично допустимі санітарні норми або з'явитися різкі і неприємні запахи. Для створення безпечного повітряного середовища, відповідно до вимог ДБН В.2.5-67:2013 передбачена вентиляція. Вентиляція може бути природною або штучною (механічною).

В приміщенні для постійного повітрообміну забезпечено природну вентиляцію (аерацію), шляхом створення в стіні отворів для надходження зовнішнього повітря.

Для організації швидкого повітрообміну з одночасною подачею свіжого повітря і видаленням повітря з шкідливими речовинами також передбачено механічну припливно-витяжну вентиляцію.

Також у приміщенні з парогенератором, в разі аварійної ситуації, через можливість надходження значної кількості шкідливих речовин, влаштована аварійна вентиляція.

6.2.3 Виробниче освітлення

Освітлення приміщень залежно від джерела світла може бути: природнім, штучним та суміщеним.

В приміщенні забезпечено бокове одностороннє природне освітлення, коли світлові отвори (вікна) знаходяться в одній зовнішній стіні. Природне освітлення залежить від пори року, погоди, часу доби може бути від сотень частин люкс вночі до десятків тисяч люкс вдень. Природне освітлення в приміщенні забезпечується за рахунок трьох віконних отворів загальною площею 10,5 кв.м.

Відповідно до вимог ДБН В.2.5-28-201 при нормуванні природного освітлення використовується коефіцієнт природного освітлення (КПО).

$$\text{КПО} = E_{\text{вн}}/E_{\text{зовн}} \cdot 100 (\%),$$

де: $E_{\text{вн}}$ – внутрішня природна освітленість у приміщенні, яка вимірюється в місці, що розглядається, лк; $E_{\text{зовн}}$ – зовнішня природна освітленість дифузним світлом всього небосхилу, що вимірюється одночасно з $E_{\text{вн}}$, лк

Штучне освітлення нормується абсолютною величиною освітленості в люксах (ДБН В.2.5-28- 2018). Штучне освітлення створюється штучними джерелами світла. Штучне освітлення забезпечено світильниками з світлодіодними лампами у вибухозахищеному виконанні, які забезпечують на робочих місцях рівень освітленості не нижче 300 лк.

Суміщене освітлення являє собою доповнення природнього освітлення штучним в світлий час діб при недостатньому за нормами природним освітленням.

					ТА-01388.0001.001.АТХ.П	Лист 96
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6.2.4 Виробничий шум

Виробничий шум — це хаотична сукупність різних за силою і частотою звуків, що виникають у повітряному середовищі і можуть впливати на працездатність людини.

Джерелами шуму у проекті є: технологічне обладнання. В зв'язку з тим що рівень виробничого шуму не перевищує допустимі значення, відповідно до ДСН 3.3.6.037-99, то робота по його зниженню в проекті не передбачена.

6.2.5 Виробничі вібрації

Вібрація це механічні коливання пружних тіл або коливальні рухи механічних систем, які є видом механічного впливу на працівників і можуть мати негативні наслідки для їх організму.

Джерела вібрації в умовах, що розглядаються в проекті відсутні.

6.2.6. Виробничі випромінювання

Використання приладів, пристроїв, устаткування, робота яких пов'язана з використанням і утворенням шкідливих для працівників випромінювань в проекті не передбачена.

6.3 Пожежна безпека та профілактика

Пожежа — це неконтрольоване горіння поза спеціальним осередком, що розповсюджується в часі і просторі та створює загрозу життю і здоров'ю людей, навколишньому середовищу, призводить до матеріальних збитків.

Пожежна безпека — це комплекс організаційних заходів та технічних засобів, спрямованих на попередження та гасіння пожежі.

					ТА-01388.0001.001.АТХ.П	Лист 97
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Пожежна безпека об'єкта – стан об'єкта, за якого з регламентованою імовірністю виключається можливість виникнення і розвитку пожежі та впливу на людей її небезпечних факторів, а також забезпечується захист матеріальних цінностей. Основними напрямками забезпечення пожежної безпеки є усунення умов виникнення пожежі та мінімізація її наслідків.

Виникнення пожежі можливе, якщо в приміщенні присутні три фактори: горюча речовина, окислювач і джерело запалювання.

Головними причинами виникнення пожежі в даному проекті можуть бути: необережне поводження з вогнем; незадовільний стан електротехнічних пристроїв та порушення правил їх монтажу й експлуатації; порушення режимів технологічних процесів; несправність опалювальних приладів та порушення правил їх експлуатації; невиконання вимог нормативно-правових актів з питань пожежної безпеки.

6.3.1 Технічні рішення системи запобігання пожежі

Система запобігання пожежі - сукупність засобів та організаційних заходів, призначених для створювання умов, за яких ймовірність виникнення або розвитку пожежі не перевищує унормоване допустиме значення.

Згідно з ДСТУ Б.В.1.1-36:2016 робоче приміщення за пожежною небезпекою відноситься до категорії Г.

За класифікацією вибухо- та пожежонебезпечних зон (згідно ДНАОП 0.00-1.32-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок) робочі зони приміщення відноситься до класу 1.

Приміщення де розміщено АСК обладнано відповідно до вимог ДБН В.1.1.7-2016 "Пожежна безпека будівель".

Робота по запобіганню пожежі в приміщенні зводиться до попередження утворення горючого середовища та попередження виникнення у горючому

					ТА-01388.0001.001.АТХ.П	Лист 98
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

середовищі або внесення в це середовище джерела запалювання – відкритий вогонь, розжарені продукти горіння та нагріті ними поверхні, тепловий прояв електричної, механічної енергії, тепловий прояв хімічної реакції, тепловий прояв сонячної енергії тощо.

В проекті передбачено такі рішення для запобігання пожеж:

- застосування негорючих і важкогорючих речовин і матеріалів;
- використовувати лише електрообладнання закритого типу, внутрішній простір якого відділений від зовнішнього середовища оболонкою;
- обмеження кількості горючих речовин і матеріалів, безпечні способи їх розміщення;
- підтриманням температури і тиску середовища, за яких виключено поширення полум'я;
- апаратуру керування і захисту, світильники застосовувати тільки в пилонепроникному виконанні;
- забезпечити всю електропроводку надійною ізоляцією;
- забезпечення максимальної механізації і автоматизації технологічних процесів, пов'язаних з обертанням горючих речовин тощо;
- забезпечення вільного доступу до шляхів евакуації та виходів з будівлі.

Шляхи евакуації повинні бути відповідним чином позначені на плані евакуації.

Категорія приміщення і клас робочих зон за пожежною небезпекою згідно вимог НПАОП 40.1-1.32-01 позначені відповідною табличкою згідно встановлених норм на входних дверях виробничого приміщення.

6.3.2 Технічні рішення системи протипожежного захисту

Системи протипожежного захисту - комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на запобігання впливу на людей небезпечних факторів пожеж і обмеження матеріальних збитків від них. Це також комплекс технічних

засобів, встановлений за об'єкті, який призначений для виявлення, локалізації та ліквідації пожежі без втручання людини, захисту людей, матеріальних цінностей та докiлля від впливу небезпечних факторів пожежі.

Система протипожежного захисту – починає діяти з виникненням перших ознак пожежі і спрямована на створення умов обмеження розповсюдження і розвитку пожеж за межі осередку при їх виникненні, на виявлення та ліквідацію пожежі, на захист людей та матеріальних цінностей від дії шкідливих та небезпечних факторів пожеж і вибухів.

Протипожежний захист приміщення АСК забезпечується:

- вогнестійкістю конструкції (здатністю конструкції зберігати несучі та огорожувальні функції в умовах пожежі);
- застосуванням основних будівельних конструкцій об'єкту з межами, які регламентують вогнестійкість і розповсюдження полум'я по них;
- застосуванням засобів пожежогасіння і відповідних видів пожежної техніки;
- встановленням автоматичної установки пожежної сигналізації і пожежогасіння;
- застосуванням вогнезахисту конструкцій об'єктів;
- застосуванням обладнання і рішень, які забезпечують обмеження розповсюдження пожежі (протипожежні перешкоди, гранично допустимі площі протипожежних відсіків і секцій, аварійне відключення установок і комунікацій, вогнеперешкоджуючі пристрої);
- застосуванням безпечних евакуаційних шляхів та виходів;
- організацією вчасного оповіщення і евакуації людей;
- застосуванням засобів колективного і індивідуального захисту людей;
- встановленням системи грозозахисту;
- застосуванням систем протидимного захисту.

Важливе значення має раннє виявлення пожежної небезпеки на об'єкті, для цього повинні використовуватися сучасні засоби виявлення загорянь (найбільш ефективною є аспіраційна система пожежної сигналізації, що дозволяє виявляти продукти горіння на самій ранній стадії (до появи видимого диму або вогню).

Важливими чинниками для ефективного захисту об'єкта від пожежі є:

- знання працівниками ознак пожежі, а при їх появі знання своїх дій, які визначені посадовими інструкціями з пожежної безпеки;
- наявність, справність, та правильне утримання засобів пожежогасіння, а також знання працівниками їхніх тактико-технічних даних та правил користування ними;
- організація на об'єкті цілодобового посту спостереження за системами протипожежного захисту;
- передача повідомлень на пульт централізованого спостереження пожежної охорони;
- своєчасне і якісне технічне обслуговування СПЗ;
- паспортизація речовин і матеріалів, технологічних процесів, щодо забезпечення пожежної безпеки;
- організація навчання працівників правилам пожежної безпеки;
- розробка і реалізація норм, правил, інструкцій про поведінку з пожежонебезпечними речовинами і матеріалами, про дотримання протипожежного режиму, про дії людей при виникненні пожежі;
- виготовлення і застосування засобів агітації по забезпеченню пожежної безпеки;
- дотримання порядку зберігання речовин і матеріалів в залежності від фізико-хімічних і пожежонебезпечних властивостей, засобів їх гасіння.

Комплекс протипожежних заходів для приміщення розроблений згідно вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні». Виходячи з

					ТА-01388.0001.001.АТХ.П	Лист 101
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

аналізу речовин та матеріалів, які використовуються при роботі у цьому приміщенні, згідно ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT)», можлива пожежа класів – А (пожежа, що супроводжується горінням твердих матеріалів) та Е (горіння електроустановок, що перебувають під напругою до 1000 В).

Оскільки приміщення належить категорії «Г» з пожежної безпеки, тому згідно вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» воно має III-а ступінь вогнестійкості. Згідно вимог ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту», в цьому приміщенні встановлюється система пожежної й охоронної сигналізації, яка забезпечує виявлення теплових і димових ознак пожежі і місця виникнення пожежі.

6.3.3 Пожежна профілактика

Пожежна профілактика – комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на забезпечення безпеки людей, запобігання пожежі, обмеження її розповсюдження, а також створення умов для успішного гасіння пожежі.

Для профілактики пожежі надзвичайно важлива правильна оцінка пожежонебезпеки будівлі, визначення небезпечних факторів і обґрунтування способів і засобів попередження пожеж та захисту від них.

Основними завданнями пожежної профілактики є:

- регулярне проведення навчання та протипожежних інструктажів, на якому ознайомити працівників з правилами протипожежної безпеки та навчити застосуванню первинних засобів пожежогасіння;
- проведення заходів, спрямованих на попередження виникнення пожеж;
- проведення заходів, що обмежують поширення пожежі;
- створення умов для безпечної евакуації людей і матеріальних цінностей;
- творення умов для успішного гасіння пожеж.

Правильна і своєчасна організації протипожежної профілактики допоможе звести до мінімуму втрати людей і матеріальні збитки в разі виникнення загоряння.

					ТА-01388.0001.001.АТХ.П	Лист
						103
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 7 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК

Таблиця 7.1 – Кошторисна вартість придбання обладнання на створення системи.

№ поз	Назва приладу	Од. вим.	К-ть.	Вартість одиниці, грн	Загальна вартість, грн
1	Давач температури Pt100 ТСП-У	шт.	3	4000	12000
2	Кондуктометричний датчик рівня regmik ДУ-004	шт.	2	630	1260
3	Перетворювач тиску Aplisens PC-28	шт.	2	7000	7000
4	Давач витрати води USN-HS06PA-1	шт.	1	487	487
5	Кнопка “Старт-Стоп” XB2-BL8425	шт.	1	128	128
6	Контактор CHINT NCH8-20/40 4p 20A	шт.	1	718	718
7	Контактор CHINT NC-1-5011 690B AC	шт.	1	1420	1420
8	Контактор CHINT NCH8-20/11 20A AC 220/230B	шт.	1	460	460
9	Сигнальна лампа AcKo AD22-22DS, 220B, DC, ø22, IP54, зелений	шт.	3	43	129
10	Світлодіодний індикатор AD16 24B, ø16, червоний	шт.	1	44	44
11	Тиристор T142-80	шт.	1	340	1020
12	ПЛК Modicon M221 TM221C16R, 16 DI/DO, 2 AI	шт.	1	8 784	8 784
13	Модуль Modicon TM3 4 AI	шт.	1	5 862	5 862

Продовження таблиці 7.1

№ поз	Назва приладу	Од. вим.	К-ть.	Вартість одиниці, грн	Загальна вартість, грн
14	Автоматичний вимикач CHINT NXM-125S/3300 80A	шт.	1	1808	1808
15	Автомат захисту двигуна CHINT NS2-25 1.6-2.5A	шт.	1	1065	1065
16	Автоматичний вимикач CHINT NB1-63DC 2P C2A DC500V 6KA	шт.	1	600	600
17	HDR-60-24 БЛОК ЖИВЛЕННЯ MEAN WELL 60BT, 24B, 2,5 A	шт.	1	887	887
18	HDR-15-5 БЛОК ЖИВЛЕННЯ MEAN WELL 12BT, 5B, 2,4A	шт.	1	608	608
19	Вентилятор SUNON DP200A 2123HLS	шт.	1	550	550
20	ЩШМ-I-400x600x300 УХЛЗ.3 ОСТ 36.13-90 IP42	шт.	1	1200	1200
21	Клемник 25А (12 клем) e.tc.protect.25.12	шт.	1	54	54
22	Клемник 25А (6 клем) e.tc.protect.25.6	шт.	1	29	29
23	Клемник 60А (12 клем) e.tc.protect.60.12	шт.	1	240	240
24	Кабель силовий, 4x10 ВВГ	м.	20	201	4020
25	Кабель контрольний 3x0,75 КВВГ	м.	10	18	180
26	Кабель контрольний 2x0,75 КВВГ	м.	20	11	220
27	Провід живлення 10мм ПВ5	м.	10	48	480
28	Провід живлення 1,5мм ПВ5	м.	10	5	50

Кінець таблиці 7.1

№ поз	Назва приладу	Од. вим.	К-ть.	Вартість одиниці, грн	Загальна вартість, грн
29	Провід контрольний 1мм ПВЗ	м.	30	8	240
30	Провід сигналізації 1мм ПВ4	м.	5	5	25
31	DIN-рейка 35x7,5x1мм e.din.stand.rail.101	см.	41	0.51	21
32	Радіатор O241-ST4 для тиристорів	м.	1	134	402
Загальна вартість обладнання, грн:					51 991

Усього маємо, що обладнання для монтажу та налагодження системи коштує 51 991 грн. Мінімальною погодинною заробітною платою в Україні станом на 11.06.2024 є 48 грн/год [28]. Припустимо, що для монтажу системи потрібно 2 інженера-монтажника з зарплатою 96 грн/год. Згідно з досвідом, отриманим під час виробничої практики, монтаж системи може зайняти 3-5 днів, за умови якщо всі прилади та комплекси технічних засобів готові до монтажу. Вважаємо, що інженери-монтажники працюють 8 години на день. Тоді монтаж системи обійдеться у 7680 грн за п'ять днів роботи.

Для операторської станції візьмемо відносно дешевий ПК Dell Precision T3420 SFF за 5 782 грн. Також додамо монітор та маніпулятор мишу за 640 грн. Врахуємо ціну ліцензій Windows (буде достатньо Windows 7 Pro) за 300 грн та Indusoft WebStudio HMI за 28 212 грн. Серед програмування ПЛК EcoStruxureMachine Expert є безкоштовною. Середня заробітна плата інженера програміста АСУ ТП дорівнює 27 500 грн, або 172 грн/год при 40-годинному робочому тижні. Нехай на розробку ПЗ виділено робочий тиждень. Тоді розробка буде коштувати 6880 грн.

					ТА-01388.0001.001.АТХ.П	Лист 106
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вцілому на закупку приладів та їх монтаж, створення диспетчерської зони, ліцензування та розробку ПЗ буде витрачено близько 101 485 грн. Знайдемо капітальну вартість впровадження АСК за формулою:

$$\Delta K_{\text{авт}} = B_{\text{об}} + B_{\text{пр}} + B_{\text{т}} + B_{\text{м}} + B_{\text{пн}}$$

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

$B_{\text{пр}}$ - вартість на проектування, розробку алгоритмів керування та програмування системи верхнього рівня;

$B_{\text{т}}$ - витрати на пакування та транспортування;

$B_{\text{м}}$ - витрати на монтаж складових системи;

$B_{\text{пн}}$ - витрати на виконання пусконаладжувальних робіт;

Загальна вартість обладнання АСК твердопаливного котла в тренажерному залі складає $B_{\text{об}} = 58\,413$ грн.

Вартість проектування, розробки алгоритмів управління та програмування системи верхнього рівня буде складати $B_{\text{пр}} = 35\,392$ грн.

Нехай витрати на пакування та транспортування, перевезення живильної води будуть складати 3% від вартості обладнання $B_{\text{т}} = 58\,413 \cdot 0.03 = 1\,752$ грн.

Витрати на монтаж складових системи складають $7680 + 5\%$ від вартості обладнання на матеріали для монтажу $B_{\text{м}} = 7680 + 58\,413 \cdot 0.05 = 10\,600$ грн.

Нехай витрати на виконання пусконаладжувальних робіт складають 10% від вартості обладнання $B_{\text{пн}} = 58\,413 \cdot 0.1 = 5\,841$ грн.

Отже визначимо капітальну вартість впровадження АСК:

$$\Delta K_{\text{авт}} = 58\,413 + 35\,392 + 1\,752 + 10\,600 + 5\,841 = 111\,998 \text{ грн}$$

Визначимо також додаткові витрати на обслуговування за формулою:

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

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

C_e - тариф на електроенергію, $\frac{\text{грн}}{\text{кВт}\cdot\text{год}}$;

T - час роботи обладнання на рік;

N - потужність засобів автоматизації, кВт;

Тоді маємо:

$$C_e \approx 1.5 \frac{\text{грн}}{\text{кВт}\cdot\text{год}} [22];$$

$$T \approx 2920 \text{ год};$$

$$N \approx 0.5 \text{ кВт};$$

$$B_e = 1.5 \cdot 2920 \cdot 0.5 = 2190 \text{ грн}$$

B_a - витрати на реновацію (амортизаційні відрахування), знаходимо за формулою: $B_a = 0.2 \cdot \Delta K_{\text{авт}} = 0.2 \cdot 111\,998 = 22\,400 \text{ грн.}$

B_p - витрати на поточний ремонт і обслуговування системи визначається за формулою: $B_p = 0.5 \cdot \Delta K_{\text{авт}} = 0.5 \cdot 111\,998 = 56\,000 \text{ грн.}$

B_z - додаткові витрати на зарплату експлуатаційного персоналу знаходимо за формулою: $B_z = B_{\text{зп}} \cdot T \cdot n$.

$B_{\text{зп}}$ - заробітна плата працівників за місяць;

T - час роботи персоналу за рік;

n - кількість працівників;

Тоді маємо:

					ТА-01388.0001.001.АТХ.П	Лист 108
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$B_{\text{зп}} = 96 \text{ грн/год};$$

$$T = 730 \text{ год/рік};$$

$$n = 1 \text{ працівник};$$

$$B_{\text{з}} = 730 \cdot 96 = 70080 \text{ грн}$$

Отже підрахуємо додаткові витрати на обслуговування:

$$\Delta B_{\text{авт}} = 2190 + 22\,400 + 56\,000 + 70080 = 150\,670 \text{ грн}$$

Система буде вважатися економічно ефективною якщо, термін окупності буде менший за нормоване значення $T_{\text{ок}} \leq T_{\text{ок}}^*$. Візьмемо $T_{\text{ок}}^* = 2$ роки.

Також розрахуємо економічну ефективність системи за формулою:

$$E_{\text{ф}} = \Delta U - E_{\text{н}} \cdot \Delta K_{\text{авт}}.$$

$E_{\text{н}}$ - нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень,

$$E_{\text{н}} = 0.15;$$

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

$E_{\text{к}}$ - економія від введення в дію АСУ (від зменшення кількості працівників для оперування системою та прибутку від генерації пари), нехай $E_{\text{к}} \approx 250\,000$ грн

Тоді:

$$\Delta U = 250\,000 - 150\,670 = 99\,330 \text{ грн}$$

Маємо:

$$E_{\text{ф}} = 99\,330 - 0.15 \cdot 111\,998 = 82\,530 \text{ грн}$$

Знайдемо термін окупності за формулою

$$T_{\text{ок}} = \frac{\Delta K_{\text{авт}}}{\Delta U} = \frac{111\,998}{82\,530} = 1.36 \text{ років}$$

$$T_{\text{ок}} \leq T_{\text{ок}}^*$$

1. 36 років $\leq$ 2 роки.

Отже, можна зробити висновок, що система є економічно ефективною, як термін окупності менший за нормоване значення і складає трохи більше ніж рік. Маємо, що система дає достатньо прибутку для окупності затрат, виділених на її роботу та обслуговування.

					ТА-01388.0001.001.АТХ.П	Лист
						110
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У даному проекті бакалавра була розглянута модернізована версія існуючої системи автоматичного керування електричним парогенератором ПГ-21. Було спроектовано ефективну для поставленої задачі систему регулювання температурою генерованої пари. Було виконано розрахунки надійності і точності каналів вимірювання САР температури пари, проаналізовано структури відповідних до неї вимірювальних каналів. Було доведено, що система відповідає поставленим вимогам надійності. Був ідентифікований об'єкт управління з використанням експериментальних даних, отриманих під час виробничої практики.

Для ідентифікованого об'єкту був розрахований регулятор, змодельовано систему регулювання та проаналізовано її на чутливість. Було доведено, що система є малочутливою до збурень, визваних неточністю методів розрахунку, використаних при ідентифікації об'єкту.

Було створено схему автоматизації функціональну, структурну, принципову електричну та монтажну (комбіновано з схемою зовнішніх з'єднань), а також креслення загального виду щита автоматизації. Детальний опис схем був наданий у пояснювальній записці.

Було створено демонстраційну програму у Codesys, що реалізує алгоритм ПЛК проектованої системи. Також було спроектовано SCADA функціональність. Було проведено імітаційне моделювання з демонстрацією типових функцій САР та SCADA систем, з налаштуваннями, що відповідають проектованій системі.

Було описано необхідні засоби з охорони праці, що мають використовуватися при взаємодії з даною системою і об'єктом управління. Також було проведено техніко-економічні розрахунки і знайдено термін окупності системи.

					ТА-01388.0001.001.АТХ.П	Лист 111
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Правила виконання дипломного проєкту бакалавра / уклад.: Т. Г. Баган, С. Г. Батюк, П. В. Гікало, С. В. Любицький, О. В. Некрашевич. Київ : КПІ, ІАТЕ, АТЕП, 2023. 62 с.
2. Полігон імітаційного SIL-моделювання АТК теплоенергетичних систем / уклад.: С.Г. Батюк. Київ : КПІ, ІАТЕ, АТЕП, 2023. 71 с.
3. Полігон імітаційного HIL-моделювання САР теплоенергетичних АТК / уклад.: С.Г. Батюк. Київ : КПІ, ІАТЕ, АТЕП, 2023. 133 с.
4. Полігон імітаційного HIL-моделювання ІВС теплоенергетичних АТК / уклад.: С.Г. Батюк. Київ : КПІ, ІАТЕ, АТЕП, 2023. 160 с.
5. Типові технічні рішення з автоматизації технологічних процесів. Київ : КПІ, ІАТЕ, АТЕП, 2003. 56 с.
6. Збірник функціональних і структурних схем типових промислових Київ : КПІ, ІАТЕ, АТЕП, 2001. 52 с.
7. Древецький В. В., Данченков Я. В. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Монтаж систем автоматизації». Рівне : НУВМ, 2021. 48 с.
8. Методичні вказівки з дисципліни Автоматизація виробничих процесів. (Теоретична частина): для студ. напряму 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» денної та заочної форм навчань. / Укл. Тарахтій О.С. – Одеса: ОП, 2022. – 45 с.
9. Aidan O'Dwyer Handbook of PI and PID Controller Tuning Rules, 2nd Edition. London : Imperial College Press, 2006. 564 с.
10. ДСТУ 2821–94. Промислове електронагрівання терміни та визначення.
11. ДСТУ ГОСТ 19108:2011. Електронагрівники трубчасті (ТЕН) для побутових нагрівальних електроприладів. Загальні технічні умови. Зі змінами №1, №2 (ГОСТ 19108-81, IDT)

12. ДСТУ ІЕС 60335-2-60-97 Безпека побутових та аналогічних електричних приладів. Додаткові вимоги до циркуляційних ванн та аналогічного обладнання (ІЕС 60335-2-60:1990, IDT)
13. Веб-сайт ЧАО «ТЭРА». URL: <https://ao-tera.com/ru> (дата звернення: 11.06.2024)
14. Веб-сайт науково-виробничої фірми "RegMik". URL: <https://regmik.ua/> (дата звернення: 11.06.2024)
15. Веб-сайт компанії APLISENS S.A. URL: <https://aplisens.com.ua/> (дата звернення: 11.06.2024)
16. USN-HS06PA-1-R Data Sheet by iSentrol.com. URL: http://flow-sensor.com/download/USN_HS06PA_1_R_Small_Hall_Water_Flow_Sensor_Datasheet_Download.html (дата звернення: 11.06.2024)
17. Веб-сайт компанії АСКО-УКРЕМ. URL: <https://www.acko.ua/> (дата звернення: 11.06.2024)
18. Веб-сайт компанії CHINT Group. URL: <https://chint.ua/uk-ua> (дата звернення: 11.06.2024)
19. Інструкція до Тиристорів Т142-80. URL: <https://asenergi.com/pdf/tiristor/t142/t142-80.pdf> (дата звернення: 11.06.2024)
20. Веб-сайт компанії Mean-Well. URL: <https://meanwell.kiev.ua/ua/> (дата звернення: 11.06.2024)
21. Веб-сайт компанії Schneider Electric. URL: <https://www.se.com/ua/uk/> (дата звернення: 11.06.2024)
22. Тарифи на електроенергію для підприємств. URL: <https://index.minfin.com.ua/ua/tariff/electric/prom/> (дата звернення: 11.06.2024)
23. Тарифи на опалення. URL: <https://index.minfin.com.ua/ua/tariff/heating/> (дата звернення: 11.06.2024)

24. Дані про напрацювання на відмову ПЛК та модулів TM221 та TM3 відповідно. URL: <https://www.se.com/in/en/faqs/FA411199/> (дата звернення: 11.06.2024)
25. Паспорт продукту Modicon M221. URL: https://www.se.com/ua/uk/product/download-pdf/TM221C16R?filename=Schneider+Electric_%25D0%259B%25D0%25BE%25D0%25B3%25D1%2596%25D1%2587%25D0%25BD%25D0%25B8%25D0%25B9-%25D0%25BA%25D0%25BE%25D0%25BD%25D1%2582%25D1%2580%25D0%25BE%25D0%25BB%25D0%25B5%25D1%2580-Modicon-M221_TM221C16R.pdf (дата звернення: 12.06.2024)
26. Паспорт продукту Modicon TM3. URL: https://www.se.com/ua/uk/product/download-pdf/TM3AI4?filename=Schneider+Electric_Modicon-TM3_TM3AI4.pdf (дата звернення: 12.06.2024)
27. Інструкція до давача тиску Aplisens PC-28. URL: <https://aplisens.com.ua/wp-content/uploads/2021/01/pc-28.pdf> (дата звернення: 12.06.2024)
28. Мінімальна зарплата в Україні. URL: <https://index.minfin.com.ua/ua/labour/salary/min/> (дата звернення: 12.06.2024)