

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

Навчально-науковий інститут атомної та теплової енергетики

Кафедра автоматизації енергетичних процесів

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Володимир ВОЛОЩУК
« ____ » _____ 20__ р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

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

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

на тему: «Автоматизована система керування котлом на деревній трісці»

Виконав:

студент IV курсу, групи ТА-92

Столбов Денис Валерійович _____

Керівник:

Старший викладач

Поліщук Ігор Анатолійович _____

Консультант з розділу «Охорона праці»:

Кандидат технічних наук, доцент

Каштанов Сергій Федорович _____

Рецензент:

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

Студент _____

Київ – 2023 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

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

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Володимир ВОЛОЩУК

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Столбову Денису Валерійовичу

1. Тема проєкту «Автоматизована система керування котлом на деревній трісці», керівник проєкту Поліщук Ігор Анатолійович, старший викладач, затверджені наказом по університету від «29» 05 2023 р. № 2039-с

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

3. Вихідні дані до проєкту: Котел, що працює на деревній трісці. Контур регулювання температури перегрітої пари. Підтримання оптимальної температури перегрітої пари, шляхом зміни положення клапану.

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. А2). 2. Принципова електрична схема (4 арк. ф. А1). 3. Креслення загального

виду шафи автоматизації (1 арк. ф. А3). 4. Схема з'єднань та підключень зовнішніх проводок (1 арк. ф. А4х12). Специфікація обладнання (4 арк. ф. А3)

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 22.05.2023

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Постановка задачі автоматизації котла на деревній трісці	22.04.2023	ПЗ, розділ 1
2	Схема автоматизації функціональна. Схема структурна ПТК.	25.04.2023	Аркуш 1. Аркуш 2. Специфікація обладнання
3	Схема принципова електрична.	30.04.2023	Аркуш 3
4	Креслення шафи автоматизації загального виду.	04.05.2023	Аркуш 4
5	Схема зовнішніх з'єднань і проводок.	08.05.2023	Аркуш 5
6	Опис графічних документів.	12.05.2023	ПЗ, розділ 3
7	Розрахунок вимірювальних каналів АТК	16.05.2023	ПЗ, розділ 2.1
8	Розрахунок регулювально-виконавчих каналів АТК	19.05.2023	ПЗ, розділ 2.2
9	Графічні ілюстрації до розрахункової частини проєкту	22.05.2023	Аркуш 6
10	Програмування ПТКЗА	30.05.2023	ПЗ, розділ 4
11	Полігонні випробування ІМ і аналіз функціонування АСУ	06.06.2023	ПЗ, розділ 5
12	Охорона праці	09.06.2023	ПЗ, розділ 6
13	Техніко-економічний розрахунок АСУ	13.06.2023	ПЗ, розділ 7
14	Передзахист ДП	16.06.2023	Доповідь
15	Захист ДП	20.06.2023	Доповідь

Студент
Керівник

Денис СТОЛБОВ
Ігор ПОЛІЩУК

АНОТАЦІЯ

Даний дипломний проєкт присвячений розробці автоматизованої системи керування котлом на деревній трісці. У ході його виконання було проведено дослідження даного об'єкту автоматизації. В результаті досліджень було обрано каскадну систему регулювання температури перегрітої пари.

Були створена схема функціональна автоматизації, схема електрична принципова, схема зовнішніх з'єднань і проводок та креслення загального виду шафи автоматизації. Також була створена специфікація за підібраним обладнанням.

Проведено синтез САР та розраховані параметри для регуляторів. Результати показали, що система є грубою до параметричних збурень.

Створена програма для контролера, а також був створений інтерфейс для роботи з об'єктом в SCADA системі. Також було створене імітаційне моделювання системи.

Був розроблений розділ охорони праці, а також техніко-економічний розрахунок системи, який показав, що систему варто впроваджувати.

Ключові слова: автоматизована система керування, перегріта пара, температура, температура перегрітої пари, котел, котел на деревній трісці.

ABSTRACT

This diploma project is dedicated to the development of an automated control system for a wood chip boiler. In the course of its implementation, a study of this automation facility was conducted. As a result of research, a cascade system for regulating the temperature of superheated steam was chosen.

A functional automation scheme, an electrical principle scheme, a scheme of external connections and wiring and drawings of the general form of the automation cabinet were created. A specification was also created for the selected equipment.

The synthesis of the SAR was carried out and the parameters for the regulators were calculated. The results showed that the system is robust to parametric disturbances.

A program for the controller was created, and an interface for working with the object in the SCADA system was also created. A simulation model of the system was also created.

A section on labor protection was developed, as well as a technical and economic calculation of the system, which showed that the system should be implemented.

Key words: automated control system, superheated steam, temperature, temperature of superheated steam, boiler, boiler on wood chips.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АСУТП – автоматизована система управління технологічним процесом

АСК – автоматизована система керування

ВК – вимірювальний канал

ВМ – виконавчий механізм

ОУ – об'єкт управління

ПЗ – пояснювальна записка

ПІ – пропорційно-інтегральний

ПЛК – програмований логічний контролер

ПТКЗА – програмно-технічний комплекс засобів автоматизації

РАФХ – розширена амплітудо-фазова характеристика

РО – регулюючий орган

САР – система автоматичного регулювання

ТОУ – технологічний об'єкт управління

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Автоматизована система керування котлом на
деревній трісці»**

Київ – 2023 року

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1 ПРОЄКТУВАННЯ АСУТП	12
1.1 Характеристика технологічного об'єкту управління.....	12
1.2 Вибір і обґрунтування структури АСУТП ТОУ	12
1.3 Технологічні параметри АСУТП ТОУ	14
1.4 Функції АСУТП	16
1.5 Схема автоматизації функціональна.....	18
1.6 Схема структурна програмно-технічного комплексу	20
1.7 Перелік і аналіз джерел техніко-економічної ефективності АСК ТОУ	21
РОЗДІЛ 2 ІНЖЕНЕРНИЙ РОЗРАХУНОК САР	22
2.1 Інженерний розрахунок вимірювальних каналів САР.....	22
2.1.1 Перелік вимірювальних каналів (ВК).....	22
2.1.2 Схеми структурні вимірювальних каналів.....	23
2.1.3 Особливості електричних підключень датчиків вимірювальних каналів.....	25
2.1.4 Монтаж технічних засобів вимірювальних каналів	26
2.1.5 Захист технічних засобів вимірювальних каналів від перешкод.....	27
2.1.6 Схеми структурні надійності вимірювальних каналів.....	28
2.1.7 Метрологічний розрахунок вимірювальних каналів.....	29
2.1.8 Розрахунок надійності вимірювальних каналів.....	31
2.1.9 Функції первинної обробки даних вимірювання в ПЛК.....	34
2.1.10 Висновок щодо роботоздатності вимірювальних каналів	34
2.2 Розрахунок регульовально-виконавчих каналів САР	35
2.2.1 Перелік систем автоматичного регулювання.....	35
2.2.2 Функціональна і структурна схеми САР	35
2.2.3 Схема структурна регульовально-виконавчого каналу САР	36
2.2.4 Схема структурна програмно-технічних засобів САР	37
2.2.5 Схема структурна надійності реалізації управляючої функції САР.....	37
2.2.6 Розрахунок надійності реалізації управляючої функції САР.....	38
2.2.7 Ідентифікація об'єкта управління.....	39
2.2.8 Розрахунок налаштувань регуляторів САР	40
2.2.9 Моделювання САР	50
2.2.10 Висновки щодо роботоздатності РВК САР.....	56
РОЗДІЛ 3 ОПИС ГРАФІЧНОЇ ЧАСТИНИ ПРОЄКТУ	57
3.1 Схема функціональна автоматизації ТОУ.....	57
3.2 Схема структурна ПТК	57
3.3 Схема принципова електрична АСК	57
3.4 Креслення загального виду щита	58
3.5 Схема зовнішніх з'єднань	59
3.6 Специфікація обладнання	59
РОЗДІЛ 4 ПРОГРАМУВАННЯ ПТКЗА.....	60
4.1 Програмування функціональності ПЛК	60
4.2 Програмування функціональності SCADA-системи.....	61
РОЗДІЛ 5 ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АСК	63

						ТА-92441.0016.001.АТХ.П			
Зм.	Кільк.	Арк.	Нодок.	Підп.	Дата	АСК котлом на деревній трісці	Стадія	Аркуш	Аркушів
Розроб.		Столбов Д.В.					ДП	8	81
Перевір.		Поліщук І.А.					НТУУ "КПІ", ТЕФ, ТА-92		
Т.контр.									
Н. контр.		Некрасевич О.В.							
Затв.		Волощук В.А.							

5.1	Схема структурна полігону імітаційного моделювання АТК ТОВ	63
5.2	Функціональне моделювання ОУ в СКМ Matlab Simulink	63
5.3	Реалізація контролерної функціональності САР в софтвері CoDeSys	63
5.4	Реалізація супервізорної HMI-Standard функціональності в HMI/SCADA системі WebStudio	64
5.5	Структурне моделювання АТК в програмно-технічному симуляторі	64
РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ		65
6.1	Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки експлуатації засобів автоматизації та технологічного устаткування котлового обладнання	65
6.1.1	Електробезпека	66
6.2.	Технічні рішення та організаційні заходи з гігієни праці та виробничої санітарії	68
6.2.1	Мікроклімат та склад повітря робочої зони	68
6.2.3.	Виробниче освітлення	69
6.2.4.	Виробничий шум	70
6.3	Пожежна безпека та профілактика	71
РОЗДІЛ 7 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК		73
ВИСНОВКИ		79
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ		80

ВСТУП

У сучасному світі, де енергоефективність та оптимізація ресурсів набувають все більшого значення, автоматизація технологічних об'єктів управління (ТОУ) є невід'ємною частиною раціонального використання енергії та забезпечення надійності та ефективності роботи систем.

Автоматизація промислового котла на деревній трісці є великим кроком у автоматизації промислових об'єктів. Це дозволяє максимально використовувати потенціал деревини як відновлювального джерела енергії. Шляхом автоматичного контролю над процесом займання, подачею палива та регулюванням температури, досягається оптимальна ефективність котла, що сприяє збереженню енергії та зниженню витрат.

Одна з найважливіших переваг автоматизованого котла на деревній трісці полягає в його екологічній чистоті. При згорянні деревини не випускаються шкідливі речовини, що негативно впливають на довкілля так як система додатково обладнана системою очистки димових газів. Зменшення викидів шкідливих речовин та твердих часток у повітря сприяє покращенню якості повітря та допомагає у боротьбі зі зміною клімату.

Крім того, автоматизація промислового котла на деревині є економічно вигідним рішенням. Ця технологія дозволяє використовувати дерев'яну тріску, що залишилась

Основні задачі автоматизації включають в себе:

- **Енергоефективність.** Однією з основних задач автоматизації котла на деревині є досягнення максимальної енергоефективності. Це включає оптимальне використання палива, мінімізацію втрат тепла та забезпечення економічної роботи системи.

					ТА-92441.0016.001.АТХ.П	Арк.
						10
	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- **Контроль температури перегрітої пари.** Автоматизована система котла на деревині має можливість точного контролю температури пари. Це важливо для забезпечення оптимальних умов роботи турбіни та максимальної ефективності системи.
- **Безпека.** Автоматизована система повинна включати заходи безпеки, щоб запобігти потенційним аварійним ситуаціям. Це включає контроль тиску, температури та інших параметрів, а також захисні пристрої і додаткові насоси та системи автоматичного відключення у випадку виникнення небезпеки.

Метою дипломної роботи є розробка автоматизованої системи керування котлом на деревній трісці, забезпечення контролю температури перегрітої пари для ефективної роботи турбіни.

РОЗДІЛ 1 ПРОЄКТУВАННЯ АСУТП

1.1 Характеристика технологічного об'єкту управління

Технологічний об'єкт управління – котел, що працює на деревині. Загальна мета – забезпечення стабільної роботи системи для постійної генерації електроенергії внаслідок потрапляння пари на турбіну.

Котел, що працює на деревині – це система, де після попередньої підготовки палива (деревина потрапляє в дробильну установку, де подрібнюється до стану трісок) воно по системі конвеєрів потрапляє на рухому підлогу, звідки системою конвеєрів паливо подається до живильника топки. Далі в залежності від роботи автоматики потрапляє в саму топку, де згорає, виділяючи при цьому газу, потім ці газу потрапляють в паровий котел-утилізатор, де утворюється пара, а далі ця пара надходить на турбогенератор, де відбувається перетворення енергії пари в механічну енергію.

Система складається з рухомої підлоги, системи конвеєрів, що подає паливо до живильника топки, самої топки, парового котла-утилізатора, конденсатора, деаератора, пароперегрівачів, водного економайзера та турбогенератора.

Автоматика складається з електронних контролерів, датчиків температури, тиску і рівня, виконавчих механізмів, запірно-регулюючих клапанів, засувок, та насосів.

1.2 Вибір і обґрунтування структури АСУТП ТОУ

Існуючі системи регулювання температури перегрітої пари:

					ТА-92441.0016.001.АТХ.П	Арк.
						12
	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- АСР перегрітої пари зі зв'язками типу «люфт»
- Каскадна система регулювання перегрітої пари із вводом похідної
- АСР перегрітої пари з коригувальним і стабілізуючим сигналом
- Каскадна АСР перегрітої пари зі зникаючим імпульсом із проміжної точки

Розглянемо їх особливості, переваги і недоліки:

АСР перегрітої пари зі зв'язками типу «люфт»

Така система регулювання має окремі схеми регулювання для різних ділянок паро-водяного тракту котла. Але її недоліки полягають в тому, що стандартних датчиків типу «люфт» дуже мало, і те що їх складно налаштовувати.

Каскадна система регулювання перегрітої пари із вводом похідної

Регулювання температури пари в такій системі відбувається шляхом вприскування живильної води або власного конденсата на довільній ділянці паро-водяного тракту. Переваги системи в невисокій складності реалізації, а недоліки полягають в невеликому зниженні ККД системи.

АСР перегрітої пари з коригувальним і стабілізуючим сигналом

В деяких випадках такі системи мають переваги над системами регулювання температури пари зі зникаючим імпульсом, але в українській промисловості такі системи не знайшли широкого застосування, і з цього випливає, що реалізувати таку систему керування буде складніше і дорожче з економічної точки зору.

Каскадна АСР перегрітої пари зі зникаючим імпульсом із проміжної точки

Цей тип регулювання широко розповсюдженний, але має велику складність реалізації. Також цей тип системи регулювання може використовуватись і без випереджуючого швидкісного сигналу за температурою пари. В такому випадку

реалізувати таку систему буде не важко, але це призведе до погіршення якості регулювання і якості перехідних процесів.

Опираючись на все вище сказане було вирішено обрати каскадну систему регулювання із вводом похідної з огляду на невелику складність реалізації і велику ефективність. При використанні такої системи перехідні процеси відповідають вимогам до АСР температури пари на виході з ПП, а обчислення регулятора і диференціатора проходять доволі легко і не потребують додаткових даних.

1.3 Технологічні параметри АСУТП ТОУ

Таблиця 1.1 – Технологічні параметри АСУ

Назва параметру	Номінальне значення	Діапазон допустимих відхилень
Температура перегрітої пари	400 °С	± 10 °С
Паропроодуктивність	16 т/год	± 0.5 т/год
Тиск в барабані котла	40 Бар	± 1 Бар
Тиск живильної води	48 Бар	
Тиск сирії води	4 Бар	
Робочий рівень в конденсаторі	350мм	± 50 мм
Робочий рівень води в барабані	0мм	± 50 мм
Робочий рівень води в деаераторі	450мм	± 50 мм

Генерація електроенергії відбувається при температурі пари 400 °С та тиску пари 40 Бар. Технологічні параметри системи мають номінальні значення та діапазон допустимих відхилень. Нормальний перебіг технологічного процесу може бути порушений відхиленням значень параметрів від номінальних. Для

запобігання цьому можуть використовуватись автоматичні регулюючі пристрої, що регулюють параметри, значення яких не є номінальним.

Перелік режимних параметрів:

- Температура перегрітої пари на виході з барабану котла;
- Тиск перегрітої пари на виході з котла

Перелік захисних параметрів:

- Тиск температури на вході в турбіну
- Рівень води в барабані котла
- Рівень води в деаераторі

Перелік контрольних параметрів:

- Температура води на вході в барабан котла
- Тиск пари в барабані котла
- Температура води на виході з конденсатора
- Тиск пари в конденсаторі
- Температура води в деаераторі
- Тиск пари в деаераторі
- Температура води на вході в водяний економайзер
- Тиск води на вході в водяний економайзер

За допомогою режимних параметрів відбувається регулювання процесу утворення та перегрівання пари.

Захисні параметри відповідають за безпеку та захист системи від непередбачуваних та небезпечних ситуацій, таких як дуже низький чи дуже високий рівень води в барабані котла

Контрольні параметри відповідають за спостереження та аналіз стану системи, наприклад, тиск пари в деаераторі

					ТА-92441.0016.001.АТХ.П	Арк.
						15
	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Завдяки використанню цих параметрів в автоматизованій системі управління котлом, що працює на деревині забезпечується стабільність і безпека роботи системи.

1.4 Функції АСУТП

Функції автоматизованої системи управління технологічними процесами (АСУ ТП) можуть бути класифіковані на наступні категорії:

Управляюча функція: Управляюча функція АСУ ТП забезпечує регулювання режимного параметру. Ця функція відповідає за автоматичне регулювання температури перегрітої пари в системі. Шляхом зміни регульовальної дії система стабільно підтримує температуру пари в межах допустимих значень.

Захисна функція: Захисна функція АСУ ТП реалізує забезпечення безпеки процесу та запобігання аварійним ситуаціям. Ця функція включає в себе моніторинг параметрів процесу, виявлення відхилень від норми, автоматичне виконання заходів безпеки, таких як аварійне відключення, блокування небезпечних операцій або виклик аварійних сигналів. Захисна функція допомагає запобігти можливим негативним наслідкам та зберегти безпеку персоналу та обладнання.

Інформаційна функція: Інформаційна функція АСУ ТП включає збір, обробку та передачу даних про технологічний процес. Ця функція забезпечує моніторинг та візуалізацію даних про стан процесу, статистичний аналіз, архівування даних, формування звітів та інформаційного середовища для операторів та керівництва.

Перелік управляючих функцій АСУ:

- Одноконтурне регулювання температури перегрітої пари шляхом

					ТА-92441.0016.001.АТХ.П	Арк.
						16
	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

вприску води в пару, керуючи трьохходовим клапаном аналоговим вихідним сигналом з контроллера.

Перелік захисних функцій АСУ:

- Захист від низького рівня води в барабані котла
- Захист від високого рівня води в барабані котла
- Захист від низького рівня води в деаeratorі
- Захист від високого рівня води в деаeratorі
- Захист від низького рівня води в конденсаторі
- Захист від високого рівня води в конденсаторі
- Захист від високого тиску пари перед входом в турбіну

Перелік інформаційних функцій АСУ:

- Вимірювання температури води на вході в барабан котла
- Вимірювання тиску пари в барабані котла
- Вимірювання температури води на виході з конденсатора
- Вимірювання тиску пари в конденсаторі
- Вимірювання температури води в деаeratorі
- Вимірювання тиску пари в деаeratorі
- Вимірювання температури води на вході в водяний економайзер
- Вимірювання тиску води на вході в водяний економайзер

1.5 Схема автоматизації функціональна

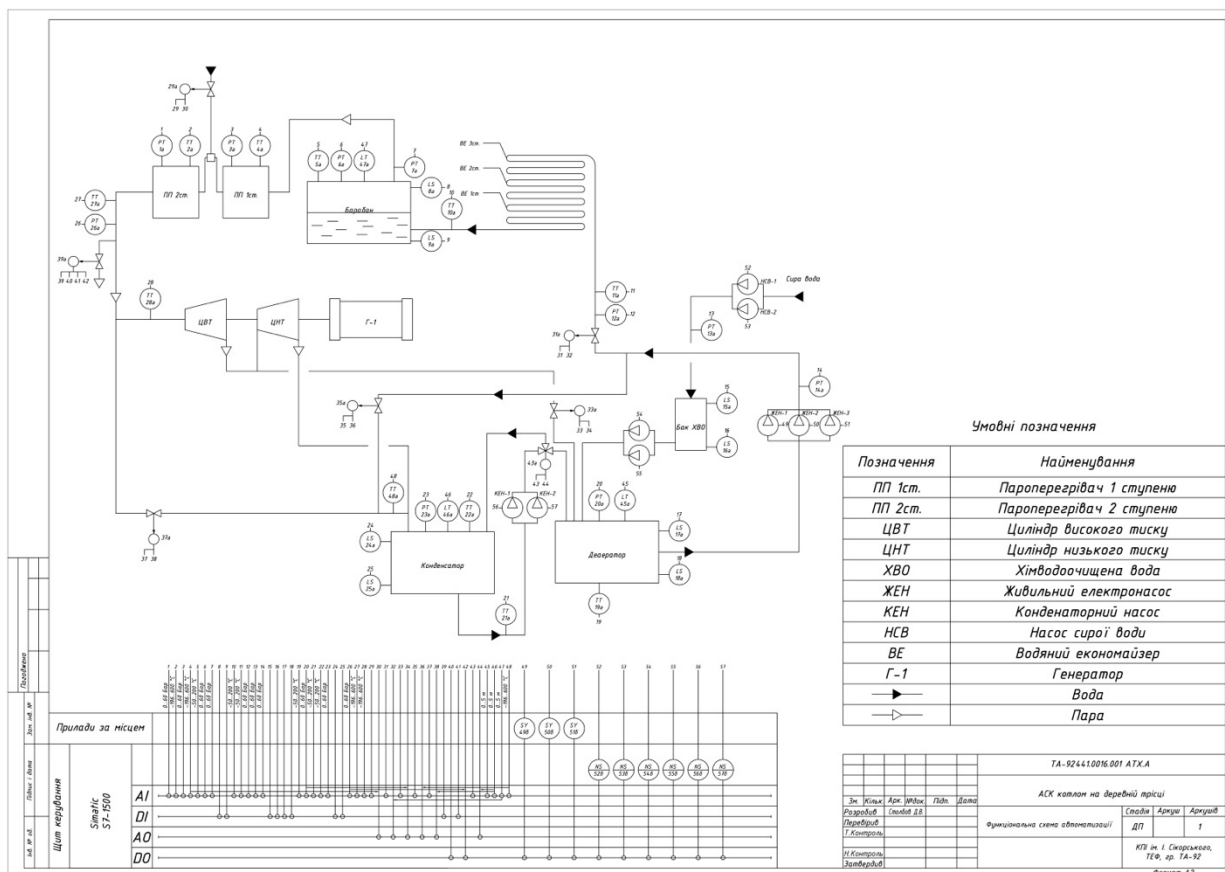


Рисунок 1.2 – Функціональна схема автоматизації

Позиція 1а – рівень тиску в пароперегрівачі 2 ступеню.

Позиція 2а – температура пари в пароперегрівачі 2 ступеню.

Позиція 3а – рівень тиску в пароперегрівачі 1 ступеню.

Позиція 4а – температура пари в пароперегрівачі 1 ступеню.

Позиція 5а – температура пари в барабані котла.

Позиція 6а – тиск пари в барабані котла.

Позиція 7а – тиск пари перед входом в пароперегрівач 1 ступеню.

Позиція 8а, 9а – датчик рівня води в барабані котла.

Позиція 10а – температура води на вході в барабан котла.

Позиція 11а – температура води перед входом в водяний економайзер.

Позиція 12а – тиск води перед входом в водяний економайзер.

Позиція 13а – тиск сирої води перед входом в бак ХВО.

Позиція 14а – тиск води після живильних насосів.

Позиція 15а, 16а – датчик рівня води в баці ХВО.

Позиція 17а, 18а – датчик рівня води в деаераторі.

Позиція 19а – температура води в деаераторі.

Позиція 20а – тиск пари в деаераторі.

Позиція 21а – температура води на виході з конденсатора.

Позиція 22а – температура води в конденсаторі.

Позиція 23а – тиск пари в конденсаторі.

Позиція 24а, 25а – датчик рівня води в конденсаторі.

Позиція 26а – тиск пари перед подачою на турбіну.

Позиція 27а – температура пари перед подачою на турбіну.

За допомогою ВМ на позиції 29а відбувається регулювання температури перегрітої пари шляхом вприску води.

За допомогою ВМ на позиції 31а відбувається регулювання подачі води в барабан котла.

За допомогою ВМ на позиції 33а відбувається регулювання подачі пари в деаератор.

За допомогою ВМ на позиції 35а відбувається регулювання подачі води в РОУ.

За допомогою ВМ на позиції 37а відбувається відкриття клапана для подачі пари безпосередньо на конденсатор за умови недостатнього тиску перегрітої пари.

За допомогою ВМ на позиції 39а відбувається регулювання тиску перегрітої пари перед подачею на турбіну.

За допомогою ВМ на позиції 43а відбувається регулювання подачі води в конденсатор

Позиція 45а - 47а – аналоговий датчик рівня

					ТА-92441.0016.001.АТХ.П	Арк.
						19
	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Позиція 48а – датчик температури пари після РОУ

Позиція 49а - 51а – частотні перетворювачі для живильних насосів.

Позиція 52б - 57б – пристрої плавного пуску для насосів.

1.6 Схема структурна програмно-технічного комплексу

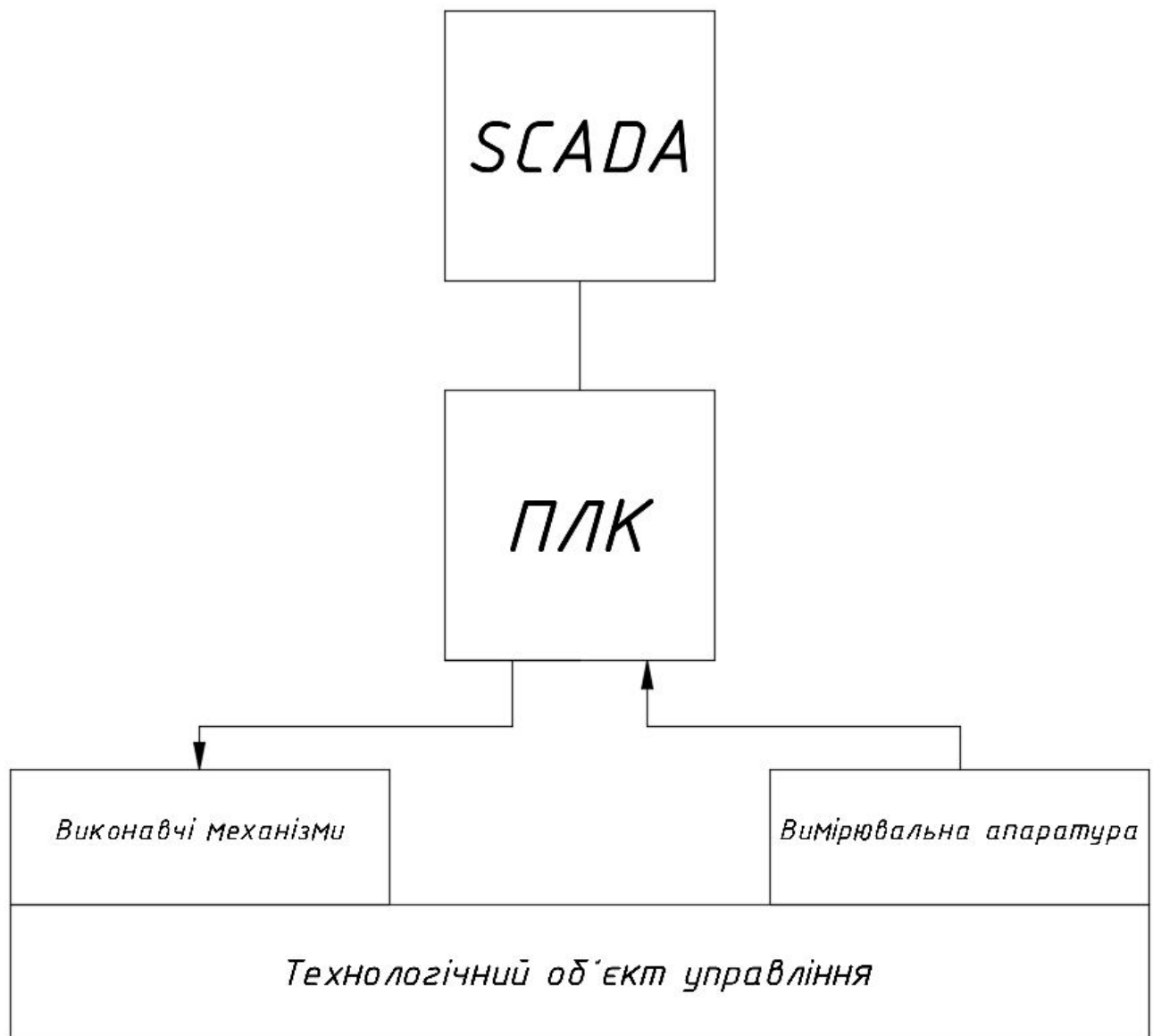


Рисунок 1.3 – Схема структурна ПТК

1.7 Перелік і аналіз джерел техніко-економічної ефективності АТК ТОВ

Щоб забезпечити техніко-економічну ефективність АТК ТОВ потрібно використовувати в системі наступні джерела:

- **Ефективні алгоритми управління.** Використання ефективних алгоритмів дозволяє швидко реагувати на зміни в системі та точно регулювати режимні параметри.
- **Високопродуктивні регулятори та пристрої автоматизації.** Використання таких регуляторів і пристроїв дозволяє максимально точно вимірювати параметри. В результаті це дає точну інформацію оператору, а в системі параметри регулюються настільки точно, наскільки це можливо.

Аналіз джерел техніко-економічної ефективності АТК ТОВ дозволяє знайти оптимальні рішення для досягнення ефективного функціонування системи з урахуванням управляючих, захисних та інформаційних функцій АСУТП.

					ТА-92441.0016.001.АТХ.П	Арк.
						21
	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2 ІНЖЕНЕРНИЙ РОЗРАХУНОК САР

2.1 Інженерний розрахунок вимірювальних каналів САР

2.1.1 Перелік вимірювальних каналів (ВК)

У складі АСУТП ТООУ використовуються наступні вимірювальні канали:

- ВК тиску перегрітої пари на виході з барабану котла.
- ВК рівня в барабані котла.
- ВК температури води в барабані котла.
- ВК тиску пари в барабані котла.
- ВК температури перегрітої пари в пароперегрівачі 1 ступеню.
- ВК температури перегрітої пари в пароперегрівачі 2 ступеню.
- ВК тиску перегрітої пари в пароперегрівачі 1 ступеню.
- ВК тиску перегрітої пари в пароперегрівачі 2 ступеню.
- ВК температури перегрітої пари перед подачею на турбіну.
- ВК тиску перегрітої пари перед подачею на турбіну.
- ВК рівня в конденсаторі.
- ВК температури води в конденсаторі.
- ВК тиску пари в конденсаторі.
- ВК рівня в деаераторі.
- ВК температури води в деаераторі.
- ВК тиску пари в деаераторі.
- ВК температури води на виході з конденсатора.
- ВК рівня в баці ХВО.
- ВК тиску води після живильних насосів.
- ВК тиску сирої води перед баком ХВО.

					ТА-92441.0016.001.АТХ.П	Арк.
						22
	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- ВК температури води перед подачею на водяний економайзер.
- ВК тиску води перед подачею на водяний економайзер.

Використання цих вимірювальних каналів забезпечує точний контроль за станом перегрітої пари на протязі всього пароводяного тракту, що дозволяє системі точно керувати процесом перегрівання пари і подачі пари на турбіну. Також завдяки цим вимірювальним каналам у оператора є точні дані з системи, що дозволяє йому оперативно втрутитись у випадку непередбачуваних ситуацій.

2.1.2 Схеми структурні вимірювальних каналів

Структурна схема ВК САР температури води:

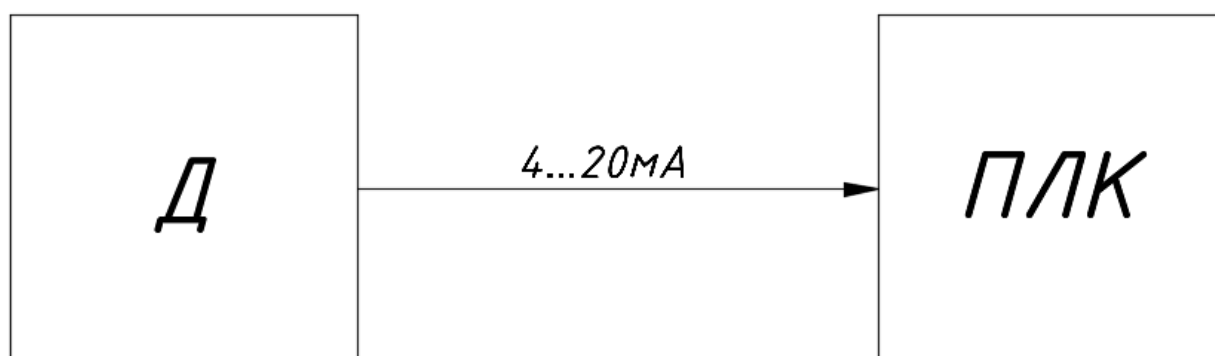


Рисунок 2.1 – Структурна схема ВК САР температури води

Д – давач температури SITRANS TF2 з уніфікованим вихідним сигналом 4...20мА.

ПЛК – програмований логічний контролер.

Одиниці виміру: градус Цельсія (°C).

Структурна схема ВК САР температури перегрітої пари:

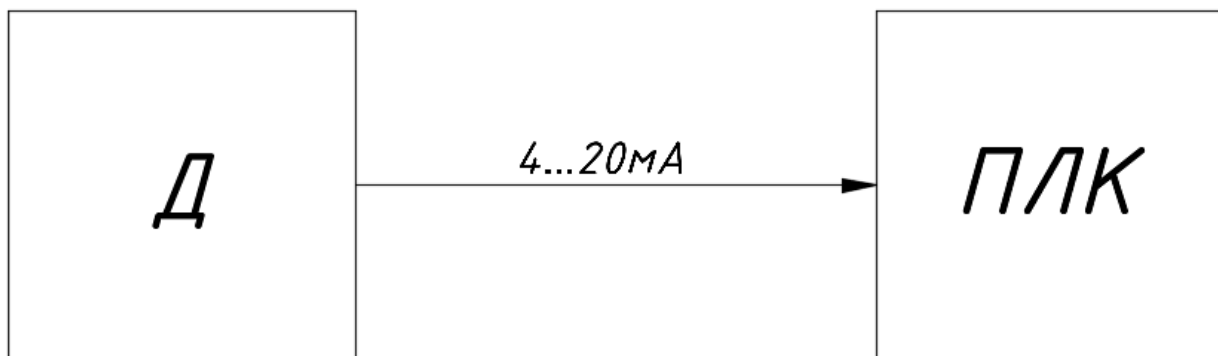


Рисунок 2.2 – Структурна схема ВК САР температури перегрітої пари

Д – давач температури SITRANS TS500 з уніфікованим вихідним сигналом 4...20мА.

ПЛК – програмований логічний контролер.

Одиниці виміру: градус Цельсія (°C).

Структурна схема ВК САР тиску:

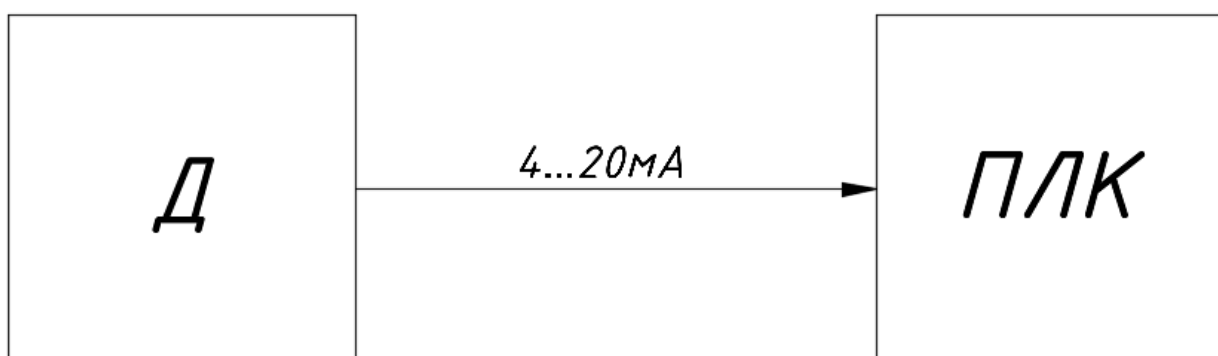


Рисунок 2.3 – Структурна схема ВК САР тиску

Д – давач тиску SITRANS P200 з уніфікованим вихідним сигналом 4...20мА.

ПЛК – програмований логічний контролер.

Одиниці виміру: Бар.

Структурна схема ВК САР рівня:

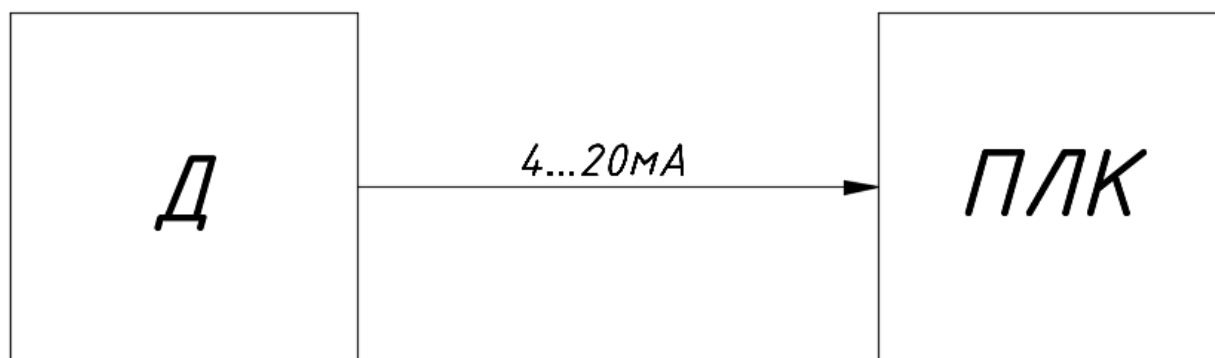


Рисунок 2.4 – Структурна схема ВК САР рівня

Д – давач тиску SITRANS LC300 з уніфікованим вихідним сигналом 4...20мА.

ПЛК – програмований логічний контролер.

Одиниці виміру: м.

2.1.3 Особливості електричних підключень давачів вимірювальних каналів

Усі аналогові датчики мають вихідний уніфікований сигнал 4...20мА і підключаються за наступною схемою:

- Контакт «+» з давача підключається до контакта «+» ПЛК.
- Контакт «-» з давача підключається до контакта «-» ПЛК.
- Контакт «РЕ», за його наявності заземлюється

Дискретні реле рівня підключаються за наступною схемою:

- Контакт «А1» підключається до фази.
- Контакт «А2» підключається на нейтраль.
- До дискретного входу ПЛК підключається джгут з клем 11 і 14, у випадку якщо це нормально відкритий контакт, або джгут з клем 11 і 12 у випадку якщо це нормально відкритий контакт. До клем MIN, MAX, COM підключаються електроди.

2.1.4 Монтаж технічних засобів вимірювальних каналів

Для забезпечення найбільшої стабільності і точності ВК в системі використовуються наступні засоби монтажу технічних засобів:

Давачі:

Підключення датчиків відбувається напряму до ПЛК екранованим кабелем. Екранований кабель необхідно використовувати щоб запобігти промисловим перешкодам, які можуть призвести до передачі некоректного значення сигналу. Також підключення датчиків напряму до ПЛК має найбільшу точність, оскільки відсутні будь-які елементи, що здатні змінити рівень переданого сигналу.

Виконавчі механізми:

Монтаж клапанів відбувається в парі з електроприводами для забезпечення високої стабільності і швидкості роботи, оскільки в системі пара має високий тиск, і використання клапанів з власними електроприводами, які мають малу потужність не дало б змогу швидко реагувати на зміни в системі.

Насоси:

До основних трьох живильних насосів потужність 160кВт кожен підключений частотний перетворювач для ефективного керування насосами. Використання частотного перетворювача дозволяє регулювати потужність насоса, і тим самим, використовувати насос більш ефективно в моменти, коли його не потрібно використовувати на повну продуктивність.

До пари насосів потужністю 30кВт, які подають воду з конденсатора, а також до пари насосів, потужністю 15кВт, що подають воду з бака ХВО під'єднаний пристрій плавного пуску. Пристрій плавного пуску, під'єднаний до насоса дозволяє сильно продовжити строк його служби,

					ТА-92441.0016.001.АТХ.П	Арк.
						26
	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

оскільки він захищає від різких скачів напруги, гідроударів і механічних перенавантажень.

2.1.5 Захист технічних засобів вимірювальних каналів від перешкод

У вимірювальних каналах, що використовуються для збирання технічних даних, виникають різні типи перешкод, які можуть впливати на точність та надійність вимірювань. Перешкоди можуть бути як зовнішніми (наприклад, електромагнітні перешкоди), так і внутрішніми (наприклад, шуми внутрішніх елементів каналу). Отже, розробка методів та засобів захисту вимірювальних каналів від перешкод стає актуальною задачею для забезпечення надійності та точності вимірювань.

Підключення всіх датчиків до ПЛК відбувається екранованим кабелем. Використання екранованих кабелів допомагає зменшити зовнішні електромагнітні перешкоди, такі як електромагнітні поля або радіочастотні завади. Екранування забезпечує електромагнітний бар'єр між вимірювальними каналами та зовнішніми джерелами перешкод.

Також можна використовувати методи фільтрації сигналів і пригнічення перешкод:

- Фільтрація сигналу використовується для виділення корисного сигналу та приглушення небажаних перешкод. Застосування аналогових або цифрових фільтрів дозволяє виключити частоти, що змінюють вимірювальний сигнал або його спектр.
- Компенсація перешкод полягає в використанні додаткових засобів для компенсації впливу перешкод на вимірювальний сигнал. Наприклад, шумозагасителі можуть використовуватися для зменшення шумів та інтерференції, що виникають в каналі передачі даних.

Використання цих методів в комбінації дозволяє забезпечити ефективний захист технічних засобів вимірювальних каналів від перешкод, що в результаті дозволяє більш точно передавати і регулювати параметри.

2.1.6 Схеми структурні надійності вимірювальних каналів

Схема структурна надійності ВК температури перегрітої пари:

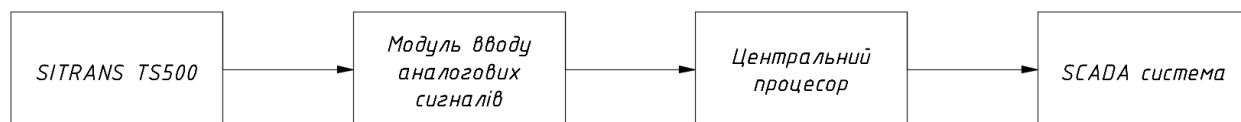


Рисунок 2.5 – Структурна схема надійності ВК САР температури перегрітої пари

Схема структурна надійності ВК температури води:



Рисунок 2.6 – Структурна схема надійності ВК САР температури води

Схема структурна надійності ВК рівня:

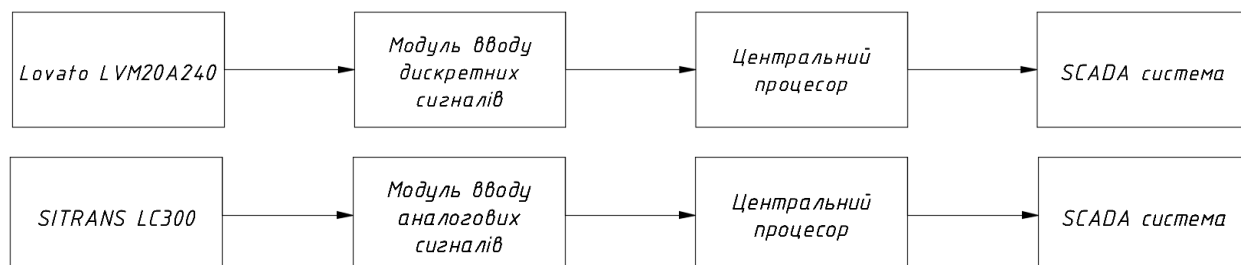


Рисунок 2.7 – Структурна схема надійності ВК САР температури рівня

Схема структурна надійності ВК тиску:

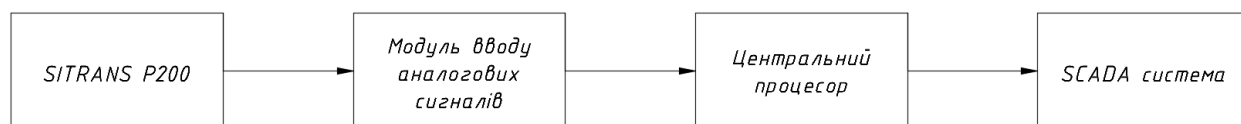


Рисунок 2.8 – Структурна схема надійності ВК САР тиску

2.1.7 Метрологічний розрахунок вимірювальних каналів

Для вимірювального каналу тиску визначимо клас точності для кожного елемента в ній.

Таблиця 2.1 – Клас точності елементів ВК тиску

Елемент	Клас точності	Діапазон вимірювання
Датчик тиску Siemens SITRANS P200	0,25	0...60 Бар
АЦП Siemens SIMATIC S7-1500	0.3	0...60 Бар

Розрахуємо абсолютні та відносні похибки ВК.

- Розрахунок абсолютної похибки ВК визначається за формулою (2.1):

$$\Delta_{BK} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\Delta_i)^2}; \quad (2.1)$$

де Δ_{BK} – абсолютна похибка ВК, Δ_i – абсолютна похибка i -го елемента ВК, n – кількість елементів ВК.

- Розрахунок відносної похибки ВК визначається за формулою (2.2):

$$\eta_{BK} = \frac{\Delta_{BK}}{X} 100\%; \quad (2.2)$$

де $\eta_{\text{ВК}}$ – відносна похибка ВК, $\Delta_{\text{ВК}}$ – абсолютна похибка ВК, X – діапазон вимірюваного значення параметру.

- Розрахунок абсолютних похибок елементів вимірювального каналу по класу точності робимо за формулою (2.3):

$$\Delta_i = \frac{\varepsilon_i(X_{\max} - X_{\min})}{100} \quad (2.3)$$

де ε_i – клас точності i -го елемента; $(X_{\max} - X_{\min})$ – діапазон вимірювання

Розрахуємо абсолютні похибки елементів ВК за формулою (2.3):

Датчик тиску Siemens Sitrans P200:

$$\Delta_1 = \frac{\varepsilon_1(X_{\max} - X_{\min})}{100} = \frac{0,25(60 - 0)}{100} = 0,15 \text{ Бар};$$

АЦП Siemens SIMATIC S7-1500:

$$\Delta_2 = \frac{\varepsilon_2(X_{\max} - X_{\min})}{100} = \frac{0,3(60 - 0)}{100} = 0,18 \text{ Бар};$$

Розраховуємо абсолютну похибку вимірювального каналу:

$$\Delta_{\text{ВК}} = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2} = \sqrt{0,15^2 + 0,18^2} = 0,234 \text{ Бар}$$

Визначення відносної похибки вимірювального каналу:

$$\eta_{\text{ВК}} = \frac{\Delta_{\text{ВК}}}{X} = \frac{0,234}{60} 100\% = 0,39\%$$

Після аналізу даних про похибку вимірювального каналу тиску можна сказати, що абсолютна похибка вимірювального каналу знаходиться в межах допустимих значень. По отриманим результатам можна сказати, що вимірювальний канал придатний до використання. Завдяки сучасному обладнанню похибка вимірювання є незначна. Можна зробити висновок що комплектація вимірювальних каналів відповідає технічним вимогам.

					ТА-92441.0016.001.АТХ.П	Арк.
						30
	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2.1.8 Розрахунок надійності вимірювальних каналів

Всі елементи в структурній схемі надійності характеризуються середнім часом напрацювання на відмову $T_{сер} = \frac{1}{\lambda}, год$ і інтенсивністю відмов $\lambda, 1/год$.

Наведемо ці дані в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Час напрацювання на відмову елементів ВК

Елемент	$\lambda \cdot 10^{-6}, 1/год$	$T_{сер}, год$
Датчик тиску Siemens Sitrans P200	0,3802	2629746
Датчик температури Siemens SITRANS TS500	0,3802	2629746
CPU Siemens Simatic S7 – 1500	1,292	773508
Модуль аналогових входів SIMATIC S7 – 1500	1,18	849720
Auma SAEx 14.6	0,57	1,753,164
ПК	19	52560

Надійність виконання інформаційної функції характеризується параметром $T_{сер}$. Цей параметр розраховується за наступною формулою (2.4).

$$T_{сер} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \quad (2.4)$$

Ймовірність безвідмовної роботи за час τ розраховується за формулою (2.5).

$$P(\tau) = e^{-\lambda\tau} = e^{-\frac{\tau}{T_{сер}}} \quad (2.5)$$

Для регулюючої функції розраховується імовірність безвідмовної роботи за час τ з урахуванням відновлення за формулою (2.6).

$$P_c(\tau) = P(\tau) + [1 - P(\tau)] \cdot P_B(\tau) \quad (2.6)$$

Ймовірність відновлення працездатності (2.7):

$$P_B(\tau) = 1 - e^{-\frac{T_{\text{дон}}}{T_B}} \quad (2.7)$$

$T_{\text{дон}}$ —допустимий час функціонування об'єкта при невиконанні цієї функції АСУ ТП.

Захисна функція характеризується коефіцієнтом готовності, який розраховується за формулою (2.8)

$$K_{\text{зот}} = \frac{T_{\text{сп}}}{T_{\text{сп}} + T_B} \quad (2.8)$$

Для захисної функції розраховується імовірність безвідмовної роботи при виконанні очікуваної задачі $P_{\text{оч}}(\tau)$ за формулою (2.9).

$$P_{\text{оч}}(\tau) = K_{\text{зот}} \cdot P(\tau) \quad (2.9)$$

Розрахуємо загальну інтенсивність відмов, середній час напрацювання на відмову та ймовірність безвідмовної роботи за формулами (2.4), (2.5) та (2.6):

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 0,3802 + 1,18 + 2,48 + 19 = 23,0402 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год}$$

Розрахуємо $T_{\text{сер}}$ за формулою (2.10)

$$T_{\text{сер}} = \frac{1}{\lambda} \quad (2.10)$$

$$T_{\text{сер}} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{23,0402 \cdot 10^{-6}} = 43402,401 \text{ год}$$

Розрахуємо ймовірність безвідмовної роботи за час τ за формулою (2.11):

$$P(\tau) = e^{-\lambda\tau} = e^{-\frac{\tau}{T_{\text{сер}}}} \quad (2.11)$$

Задамо $\tau = 1000$ год:

					ТА-92441.0016.001.АТХ.П	Арк.
						32
	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P(\tau) = e^{-\lambda\tau} = e^{-23,0402 \cdot 10^{-6} \cdot 1000} = 0,9772$$

Розрахуємо ймовірність відновлення працездатності:

Візьмемо $T_{\text{прин}} = 5$ год; $T_{\text{в}} = 4$ год

$$P_{\text{в}} = 1 - e^{\frac{-T_{\text{прин}}}{T_{\text{в}}}} = 1 - e^{\frac{-5}{4}} = 0,713$$

$$P_{\text{с}}(\tau) = P(\tau) + (1 - P(\tau)) \cdot P_{\text{в}} = 0,9772 + (1 - 0,9772) \cdot 0,713 = 0,993$$

Порахуємо коефіцієнт готовності:

$$K_{\text{гот}} = \frac{T_{\text{ср}}}{T_{\text{ср}} + T_{\text{в}}} = \frac{43402,401}{43402,401 + 4} = 0,99991$$

Порахуємо мовірність безвідмовної роботи при виконанні очікуваної задачі $P_{\text{оч}}(\tau)$:

$$P_{\text{оч}}(\tau) = K_{\text{гот}} \cdot P(\tau) = 0,99991 \cdot 0,9772 = 0,9771$$

Можна побачити, що результати є дуже гарними, і ВК має високу надійність. Але результат не є максимально точним, оскільки в цих розрахунках не враховується зношення деталей кріпильних механізмів.

2.1.9 Функції первинної обробки даних вимірювання в ПЛК

Функції первинної обробки даних вимірювання в ПЛК є наступні:

- Фільтрація
- Масштабування

Фільтрація потрібна для того, щоб фільтрувати вхідний сигнал, оскільки на промисловому об'єкті є промислові завади, завдяки яким сигнал не є точним.

Масштабування потрібне для перетворення вхідного сигналу в інженерні одиниці.

2.1.10 Висновок щодо роботоздатності вимірювальних каналів

Проаналізувавши отримані дані щодо надійності ВК, можна зробити висновок, що вони мають високу роботоздатність. Отримані результати надійності свідчать про те, що на об'єкті використовується обладнання високої якості, оскільки воно має високий час роботи на відмову і малу ймовірність відмови. Також обладнання має високий клас точності, що дає змогу отримувати точні дані з об'єкта.

2.2 Розрахунок регулювально-виконавчих каналів САР

2.2.1 Перелік систем автоматичного регулювання

В системі реалізовані наступні системи автоматичного регулювання:

- Каскадна САР регулювання температури перегрітої пари;
- Одноконтурна САР регулювання рівня води в барабані котла;
- Одноконтурна САР регулювання тиску пари перед турбіною;
- Одноконтурна САР регулювання рівня в конденсаторі
- Одноконтурна САР регулювання рівня в деаераторі
- Одноконтурна САР регулювання температури пари перед конденсатором

Завдяки використанню такої кількості САР система є гнучкою у використанні і надійною, оскільки мінімізується ризик виходу значень параметрів за уставку, і внаслідок цього – відмови якоїсь частини системи.

2.2.2 Функціональна і структурна схеми САР

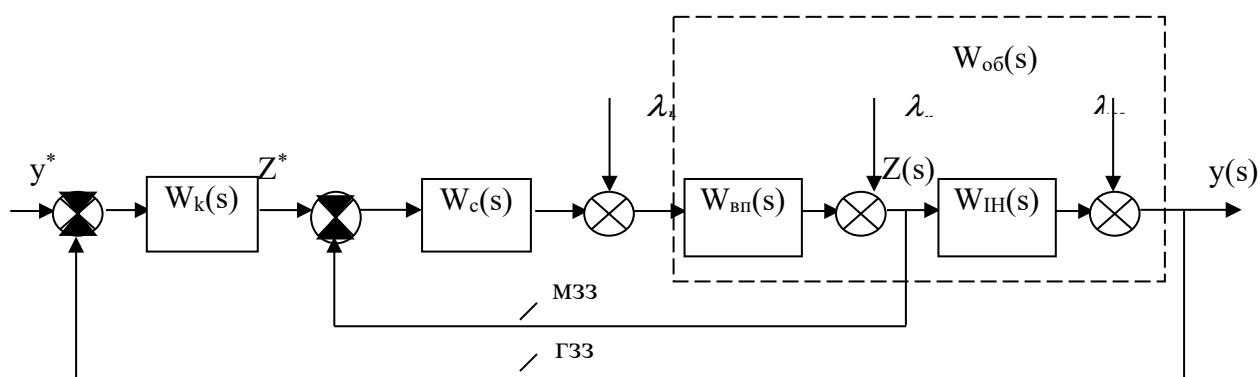


Рисунок 2.9 – Каскадна схема структурна регулювання температури перегрітої пари

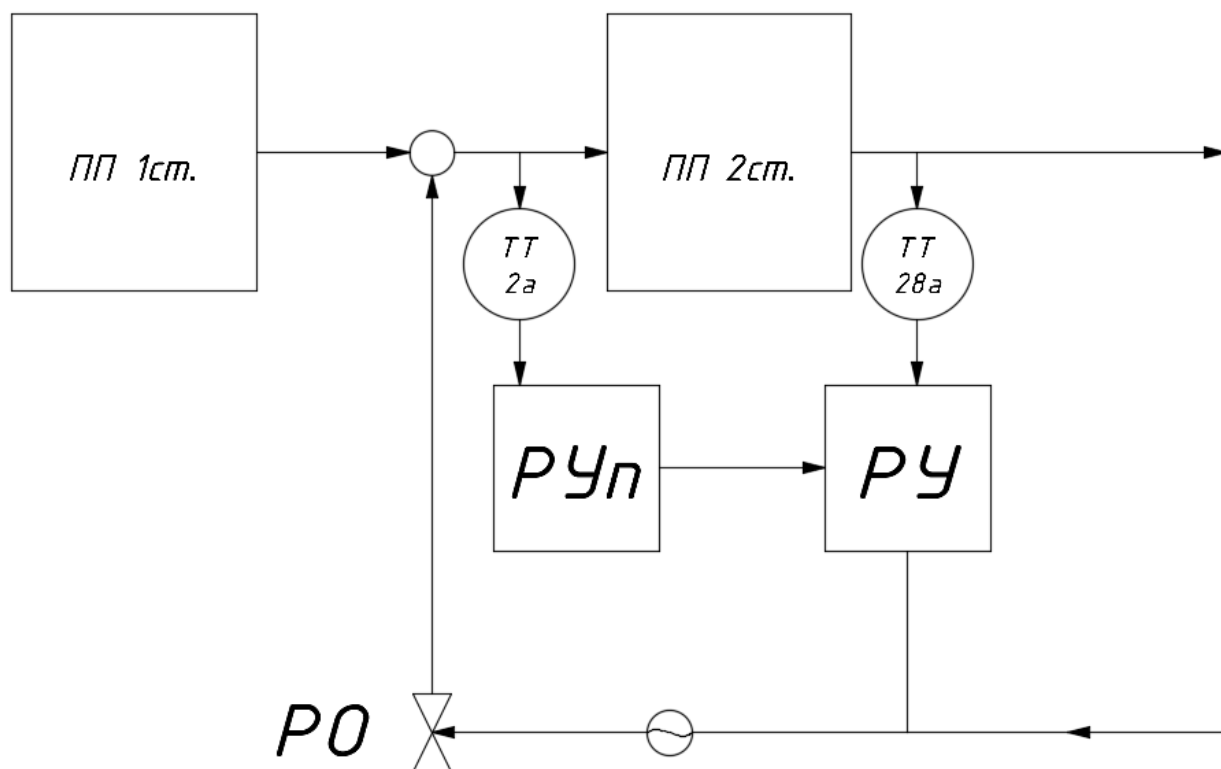


Рисунок 2.10 – Структурна схема функціональна регулювання температури перегрітої пари

- ТТ 2а – датчик температури стабілізуючого контуру
- ТТ 28а – датчик температури регулюючого контуру
- ПП 1ст. – пароперегрівач 1 ступеню
- ПП 2ст. – пароперегрівач 2 ступеню
- РУп – ПІ регулятор стабілізуючого контуру
- РУ – ПІ регулятор регулюючого контуру
- РО – регулюючий орган

2.2.3 Схема структурна регулювально-виконавчого каналу САР

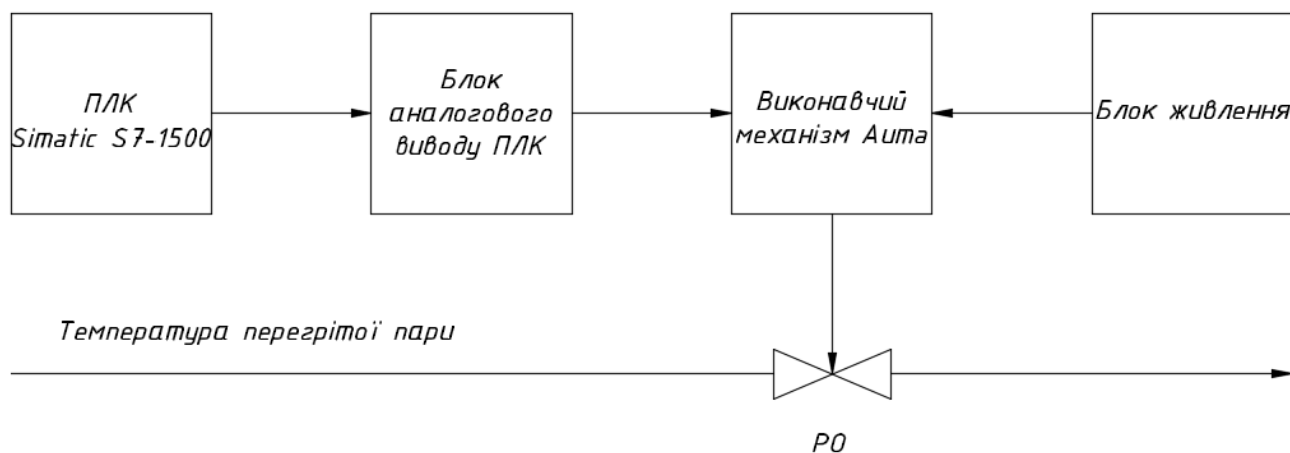


Рисунок 2.11 – Схема структурна регулювально-виконавчого каналу САР

2.2.4 Схема структурна програмно-технічних засобів САР

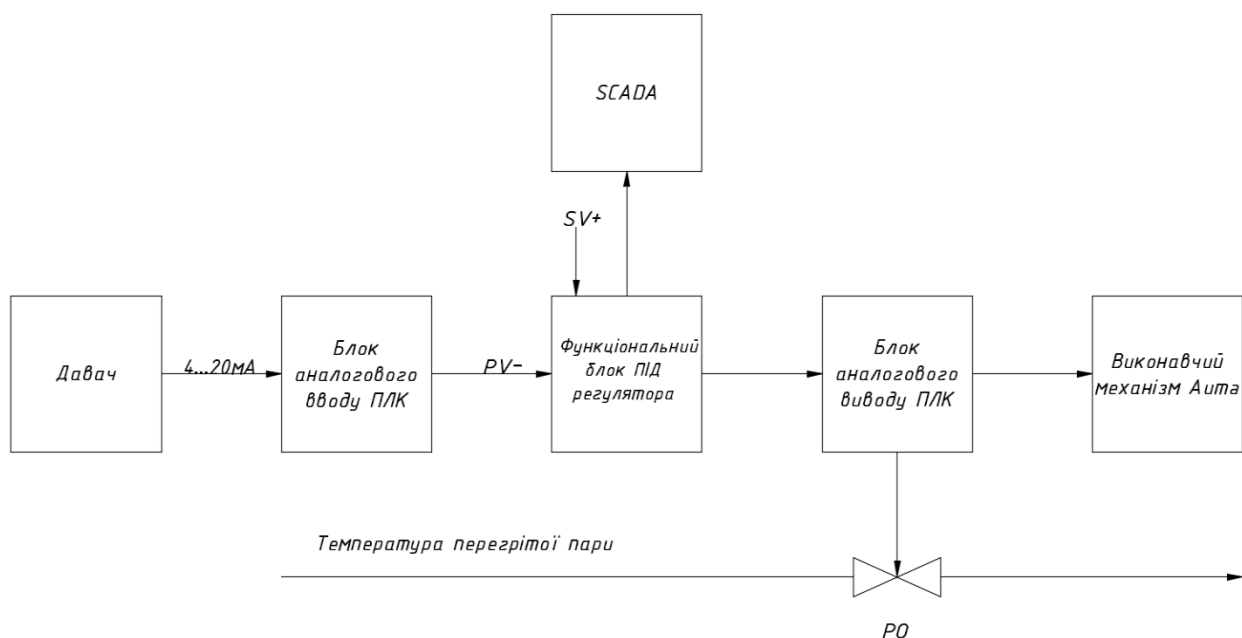


Рисунок 2.12 – Схема структурна програмно-технічних засобів САР

- SV (Set Value) – уставка температури перегрітої пари;
- PV (Process Value) – поточне значення температури перегрітої пари;

2.2.5 Схема структурна надійності реалізації управляючої функції САР



Рисунок 2.13 – Схема структурна надійності реалізації управляючої функції САР

2.2.6 Розрахунок надійності реалізації управляючої функції САР

Таблиця 2.3 – Інтенсивність потоку відмовлень елементів управляючої функції

Тип елементу	Найменування елемента	Середній час на відмову	Інтенсивність потоку відмовлень
Датчик	SITRANS TS500	2629746	$0,3802 * 10^{-6}$
ПЛК	SITRANS S7-1500	773508	$1,292 * 10^{-6}$
ВМ	AUMA SAEх 14.6	1753164	$1,57 * 10^{-6}$

Розрахуємо ймовірність відмови одного з елементів РВК:

$$\lambda = \lambda_{\text{Д}} + \lambda_{\text{ПЛК}} + \lambda_{\text{ВМ}} = (0.3802 + 1.292 + 1.57) * 10^{-6} = 3.2422 * 10^{-6}$$

Розрахуємо ймовірність безвідмовної роботи за місяць:

$$P(744) = e^{-\lambda \tau} = e^{-3.2422 * 10^{-6} * 744} = 0,9976$$

Проаналізувавши отриманий результат, можна зробити висновок, що РВК температури перегрітої пари має високу надійність.

2.2.7 Ідентифікація об'єкта управління

Цей об'єкт належить до об'єктів з самовирівнюванням. Такий об'єкт апроксимується послідовним з'єднанням двох аперіодичних ланок 1 порядку і двох ланок транспортного запізнення. Даний об'єкт має два контури: випереджальний і інерційний. Треба врахувати, що обчислення будуть проводитись з позитивним Коб задля більшої зручності і наглядності. На реальному об'єкті Коб негативний.

Використовуючи літературу динамічні характеристики об'єкту візьмемо наступні:

Випереджальний контур:

- $K_{об} = 1.2$
- $T_{об} = 17$
- $\tau = 3$

Інерційний контур:

- $K_{об} = 0.8$
- $T_{об} = 170$
- $\tau = 27$

Спочатку буде розглядатись лише випереджальний контур як одноконтурна система, а далі вже каскадна система в цілому.

2.2.8 Розрахунок налаштувань регуляторів САР

Так як для цього об'єкту потрібно найменше перерегулювання, яке тільки можливо, то самим оптимальним вважається аперіодичний процес.

Розглянемо окремо випереджальний контур:



Рисунок 2.14 – Структурна схема розгону випереджаючого об'єкту

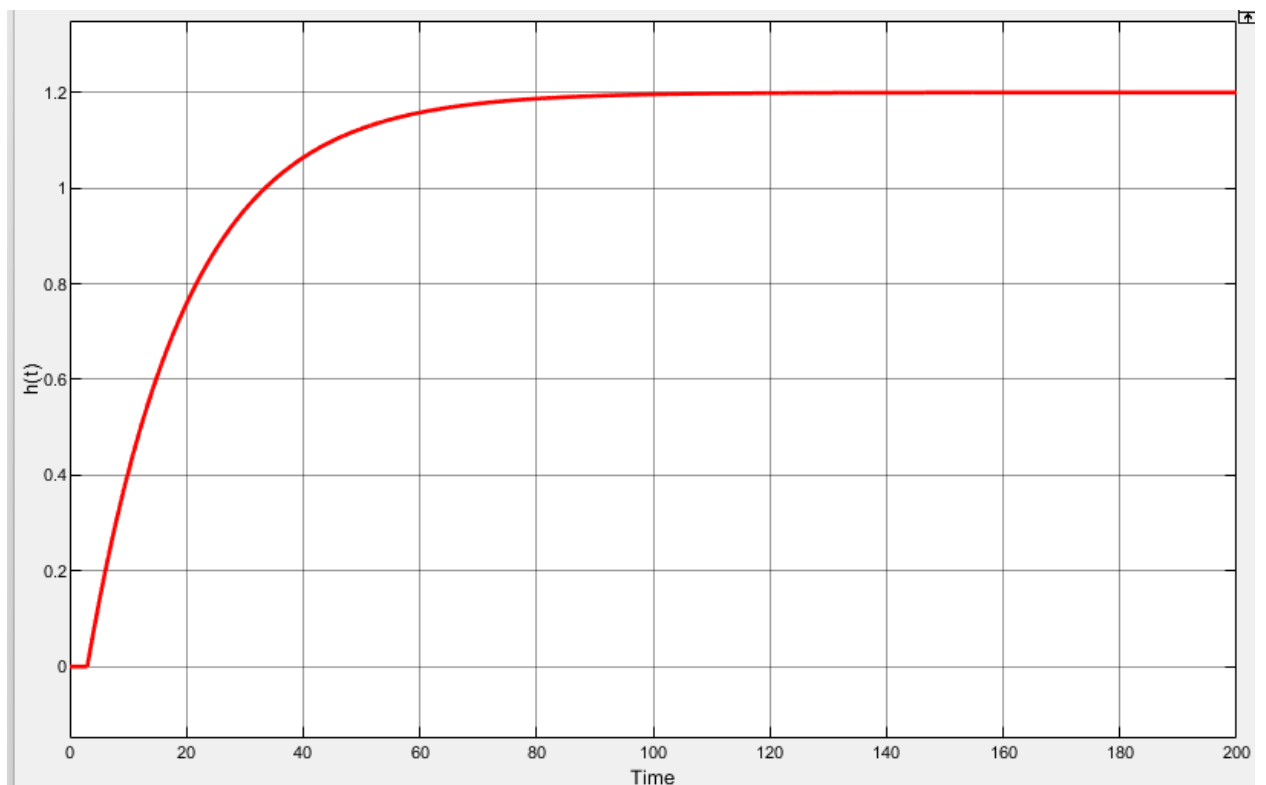


Рисунок 2.15 – Крива розгону випереджаючого об'єкту

Метод РАФХ для одноконтурної САР:

Побудуємо РАФХ для системи:

Код m-файлу:

```
w=0:0.0001:0.35;  
m=1;  
W=(1.2.*exp(-3*(-m*w+1j*w)))./(17*(-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;
```

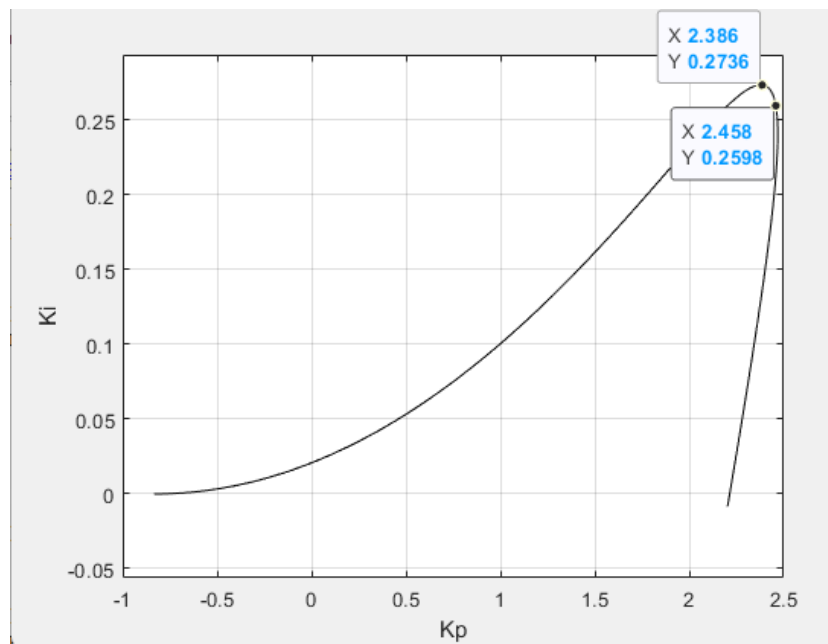


Рисунок 2.16 – Графік залежності K_p та K_i

Для ПІ-регулятора обираємо точку при 0.95 від максимального K_i , оскільки у цій точці приблизно знаходиться інтегральний квадратичний показник якості.

- $K_p = 2.458$
- $K_i = 0.2598$
- $T_i = 9.46$

Змодулюємо систему з новими параметрами регулятора і побудуємо перехідні процеси:

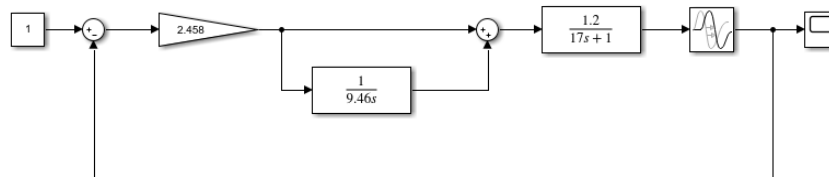


Рисунок 2.17 – Структурна схема каналу завдання-вихід

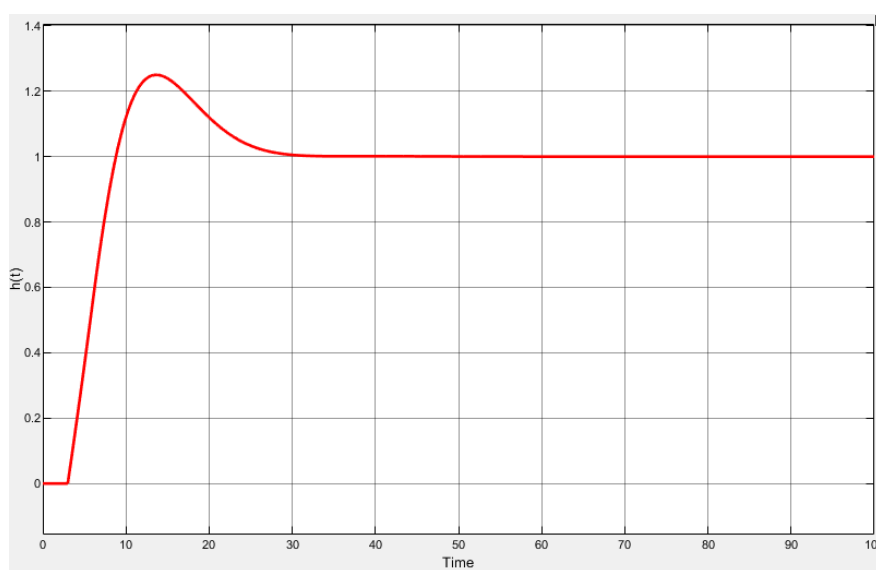


Рисунок 2.18 – Перехідний процес по каналу завдання-вихід

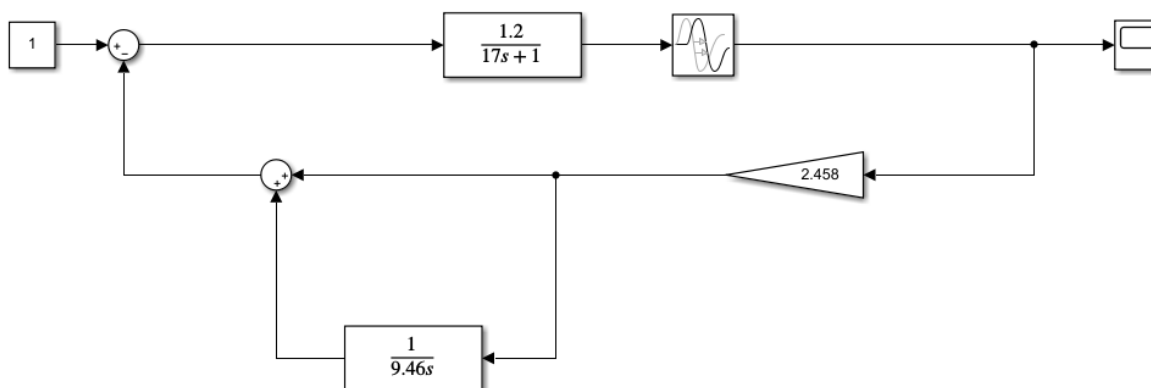


Рисунок 2.19 – Структурна схема каналу збурення-вихід

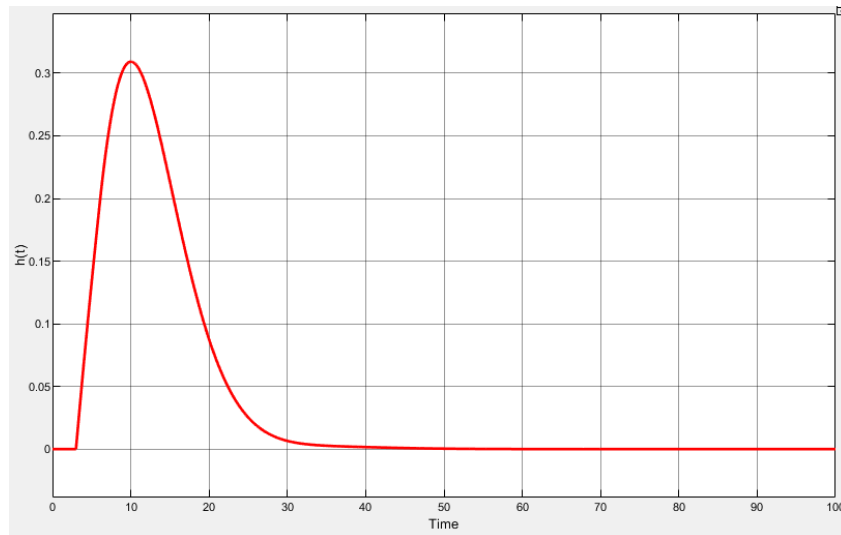


Рисунок 2.20 – Перехідний процес по каналу збурення-вихід

Таблиця 2.4 – Показники якості для методу РАФХ одноконтурної системи

Показник	Завд.-вих.	Збур.-вих.
Статична похибка $\Delta_{ст}$	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0,25	0,31
Степінь затухання ψ	1	1
Час регулювання $t_{рег}$	23.17	22.2
Перерегулювання $\sigma, \%$	0	0

Експрес метод CHR для одноконтурної системи:

Розрахуємо параметри регулятора для системи експрес методом CHR:

$$K_p = 0.35 * T_o / (K_o * \tau_{o0})$$

$$T_i = 4 * \tau_{o0}$$

$$K_o = 1.2; T_o = 17; \tau_{o0} = 3c$$

$$K_p = 0.35 * 17 / (1.2 * 3) = 1.65$$

$$T_i = 12$$

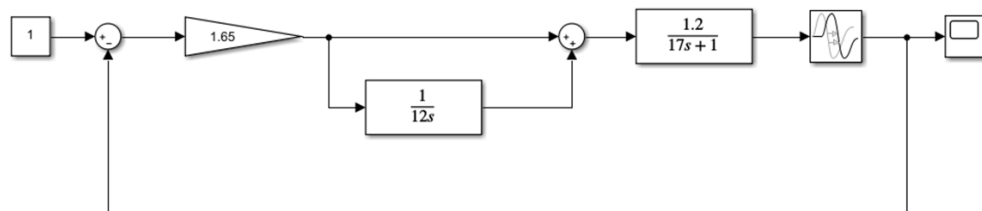


Рисунок 2.21 – Структурна схема каналу завдання-вихід

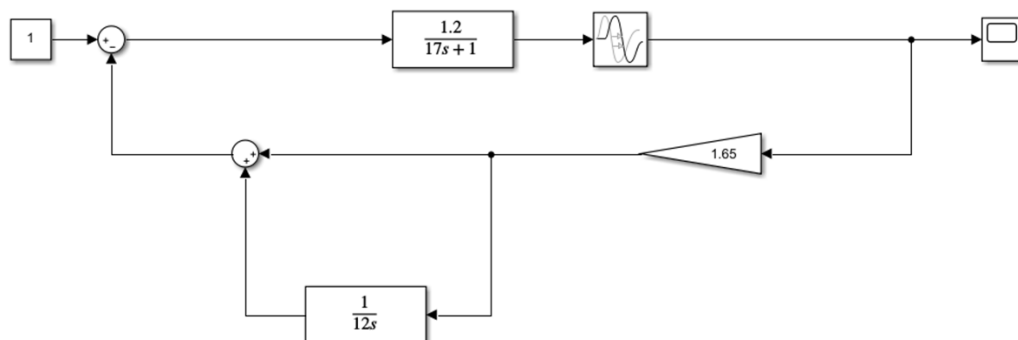


Рисунок 2.22 – Структурна схема каналу збурення-вихід

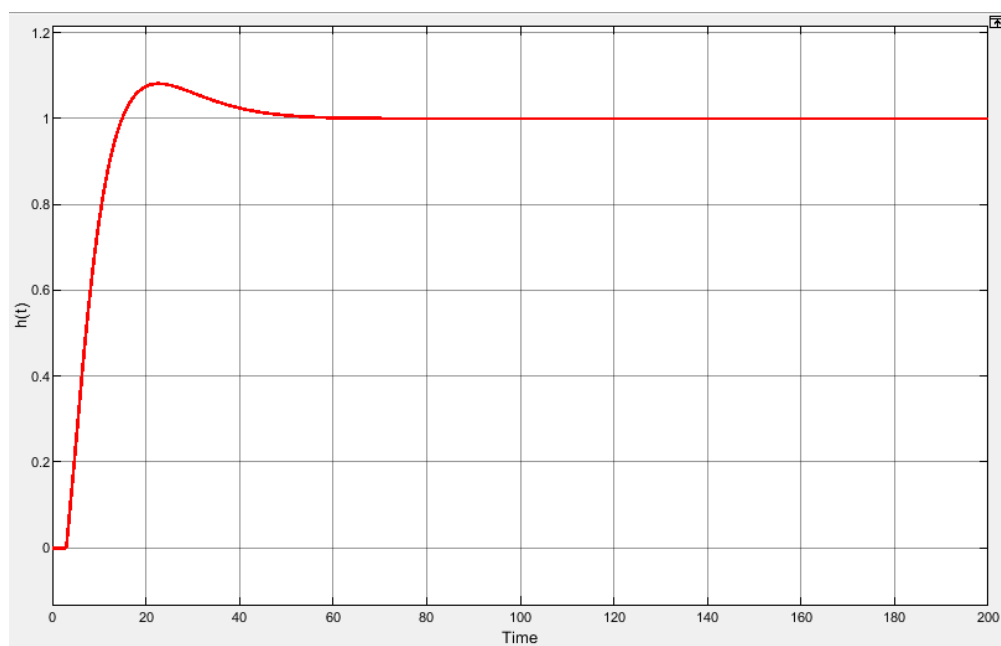


Рисунок 2.23 – Перехідний процес каналу завдання-вихід

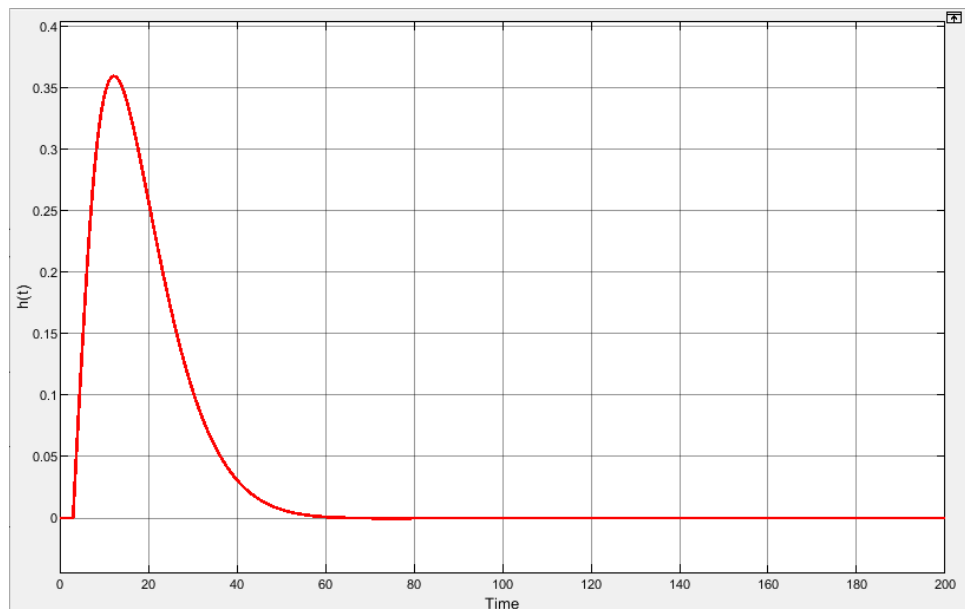


Рисунок 2.24 – Перехідний процес каналу збурення-вихід

Таблиця 2.5 – Показники якості для експрес методу одноконтурної системи

Показник	Завд.-вих.	Збур.-вих.
Статична похибка $\Delta_{ст}$	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0,081	0,36
Степінь затування ψ	1	1
Час регулювання $t_{рег}$	31,5	36,42
Перерегулювання $\sigma, \%$	0	0

Метод РАФХ для каскадної САР:

Побудуємо РАФХ для системи:

Код m-файлу:

```
w=0.01:0.0001:0.1;
m=1;
s=w.*(-m+1j);
Kp=2.458;
Ti=9.46;
Wvo=(1.2.*exp(-3.*s))./(17.*s+1);
Wob(0.8.*exp(-27.*s))./(170.*s+1);
```

```

Wvnt=Kp*(1+1./(Ti.*s));
We=(Wvnt.*Wob)./(1+Wvnt.*Wvo);
Re=real(We);
Im=imag(We);
A=Re.^2+Im.^2;
Kp=-(m.*Im+Re)./A;
Ki=-w.*(m^2+1).*Im./A;
plot(Kp,Ki)
xlabel('Kp')
ylabel('Ki')
grid on;

```

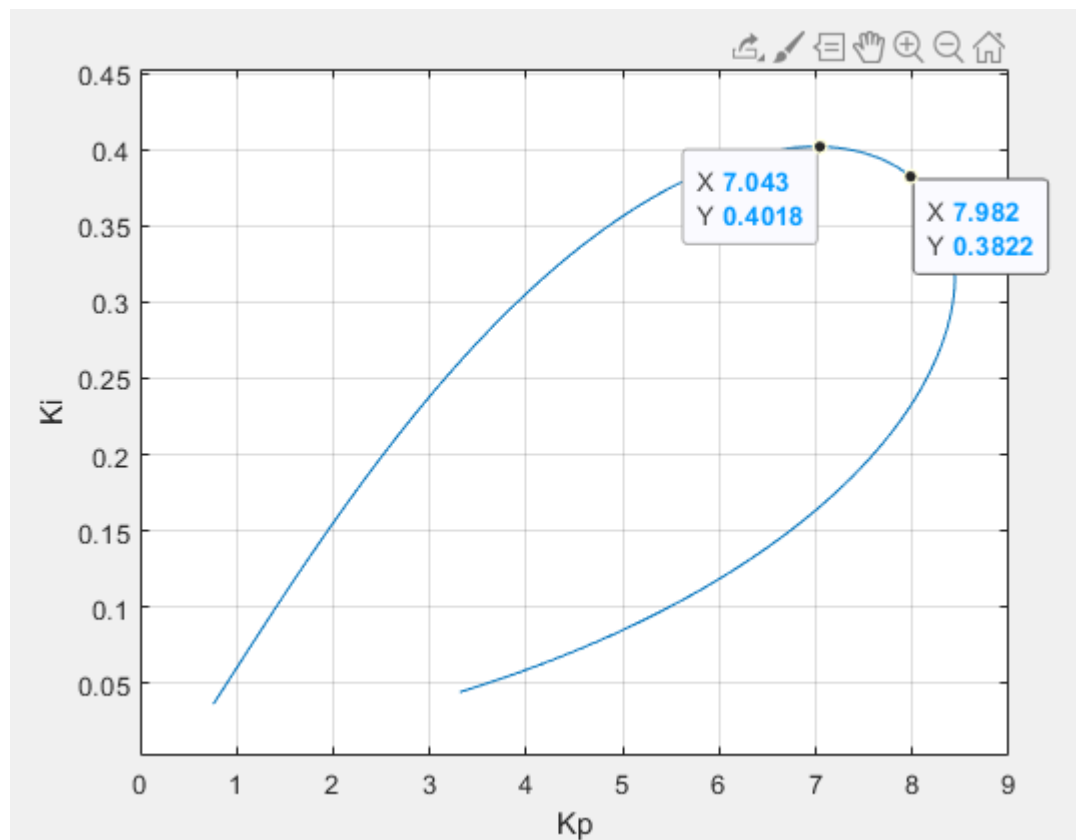


Рисунок 2.25 – Графік залежності K_p та K_i

Для ПІ-регулятора обираємо точку при 0.95 від максимального K_i , оскільки у цій точці приблизно знаходиться інтегральний квадратичний показник якості.

- $K_p = 7.982$
- $K_i = 0.3822$
- $T_i = 20.88$

Змодулюємо систему з новими параметрами регулятора і побудуємо перехідні процеси:

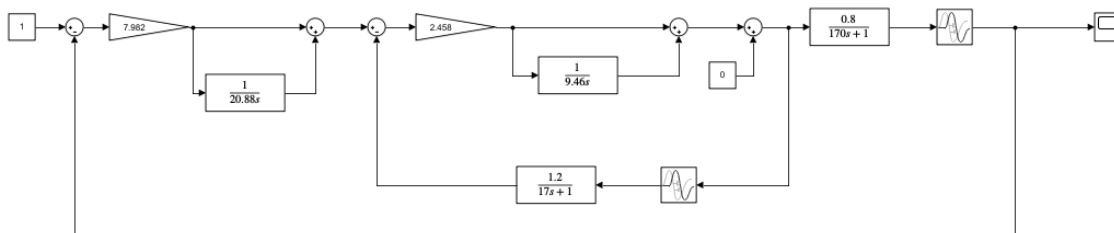


Рисунок 2.26 – Структурна схема каналу завдання-вихід

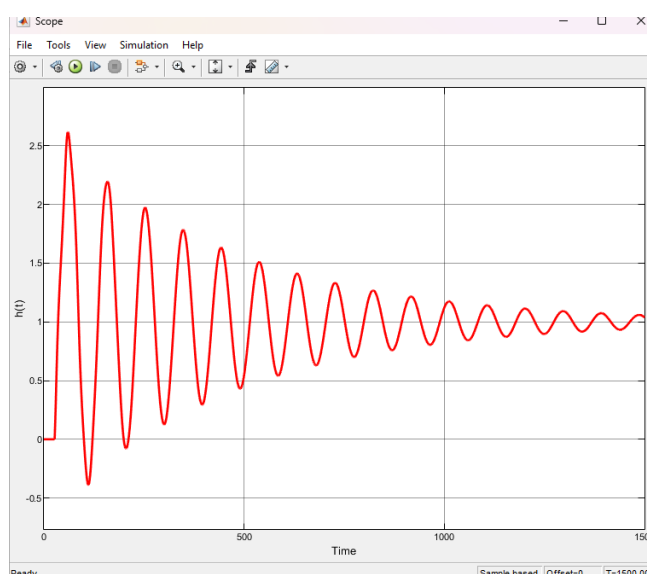


Рисунок 2.27 – Перехідний процес по каналу завдання-вихід

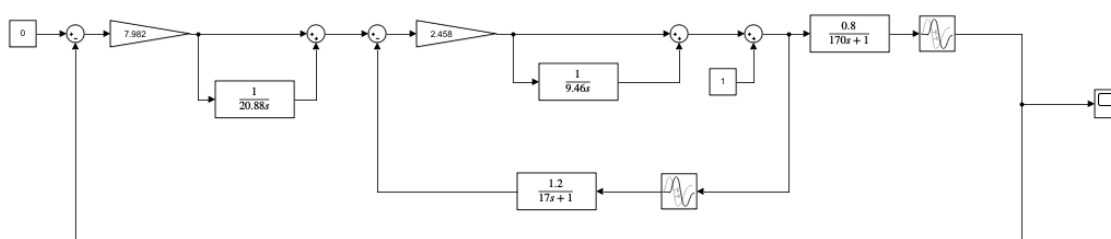


Рисунок 2.28 – Структурна схема каналу збурення-вихід

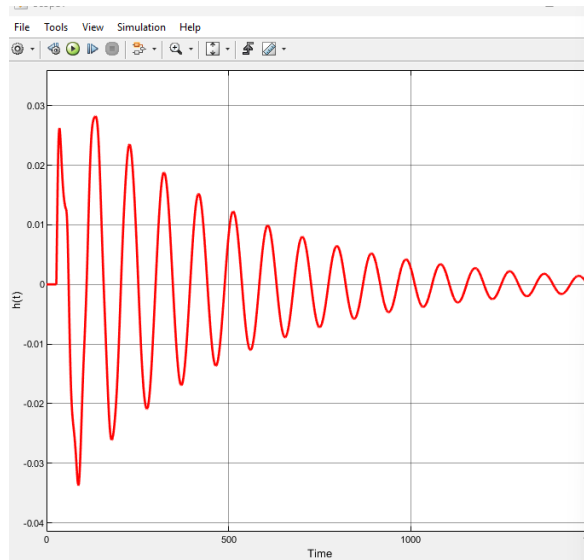


Рисунок 2.29 – Перехідний процес по каналу збурення-вихід

Таблиця 2.6 – Показники якості методу РАФХ для каскадної системи

Показник	Завд.-вих.	Збур.-вих.
Статична похибка $\Delta_{ст}$	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	1,603	0,033
Степінь затухання ψ	0,25	0,225
Час регулювання $t_{рег}$	>1500с	278,9
Перерегулювання σ , %	-	-

Експрес метод CHR для каскадної системи:

Розрахуємо параметри регулятора для системи експрес методом CHR:

$$K_p = 0.35 * T_o / (K_o * \tau_{o_0})$$

$$T_i = 4 * \tau_{o_0}$$

$$K_o = 0.8; T_o = 170; \tau_{o_0} = 27с$$

$$K_p = 0.35 * 170 / (0.8 * 27) = 3,94$$

$$T_i = 108$$

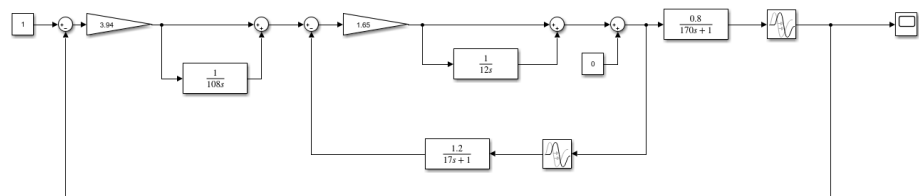


Рисунок 2.30 – Структурна схема каналу завдання-вихід

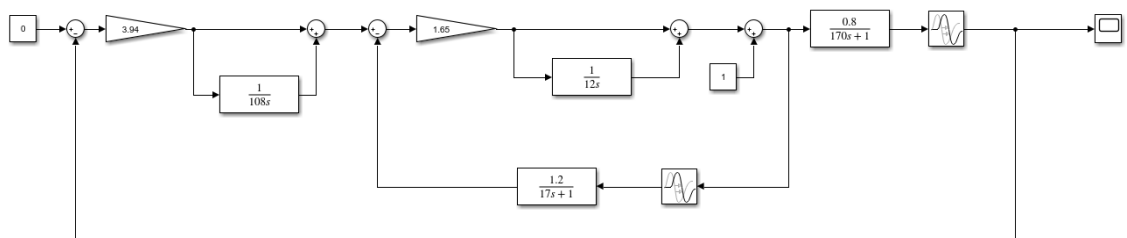


Рисунок 2.31 – Структурна схема каналу збурення-вихід

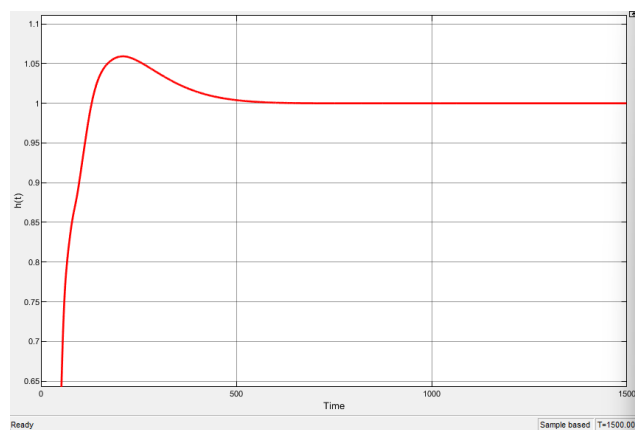


Рисунок 2.32 – Перехідний процес каналу завдання-вихід

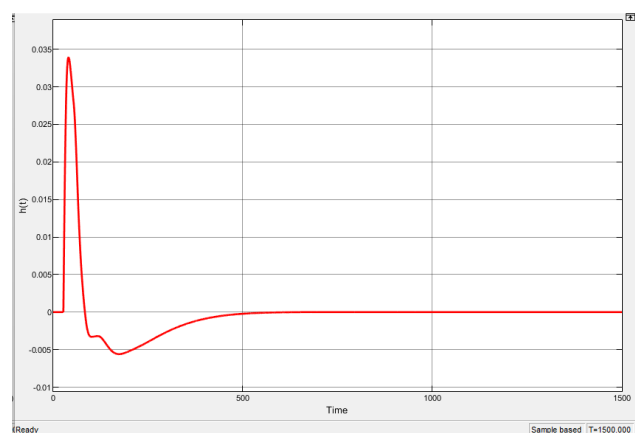


Рисунок 2.33 – Перехідний процес каналу збурення-вихід

Таблиця 2.7 – Показники якості експрес методу для каскадної системи

Показник	Завд.-вих.	Збур.-вих.
Статична похибка $\Delta_{ст}$	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0,059	0,034
Степінь затування ψ	1	1
Час регулювання $t_{рег}$	210,4	61,9
Перерегулювання $\sigma, \%$	5,9	0

2.2.9 Моделювання САР

Для цієї системи буде розглядатись канал збурення-вихід, оскільки на цьому об'єкті завдання буде залишатись постійно на сталому значенні.

Розглянемо окремо випереджаючий і інерційний контур:

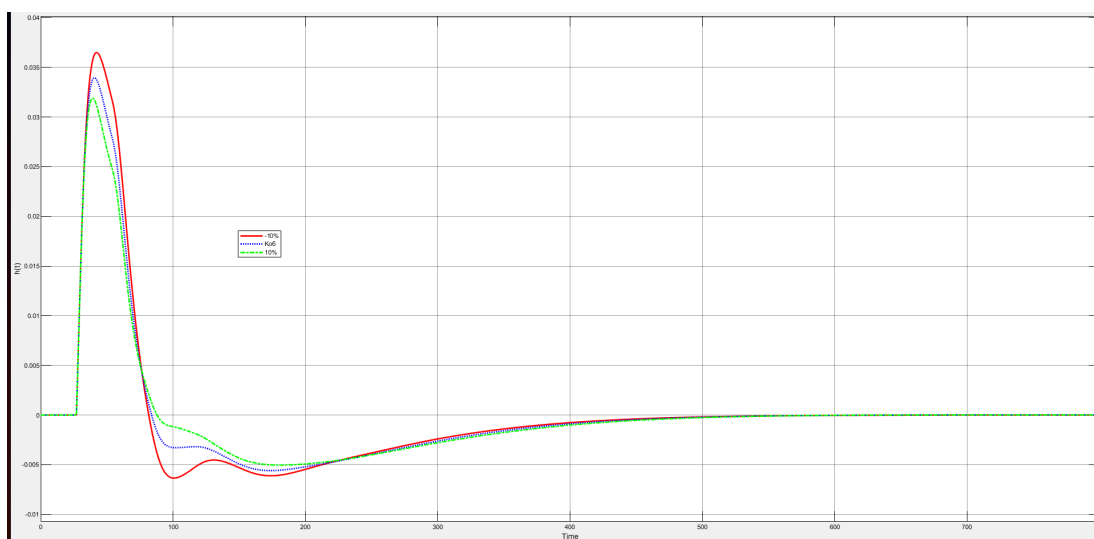


Рисунок 2.34 – Графік каналу збурення-вихід для параметричного збурення Коб внутрішнього контуру

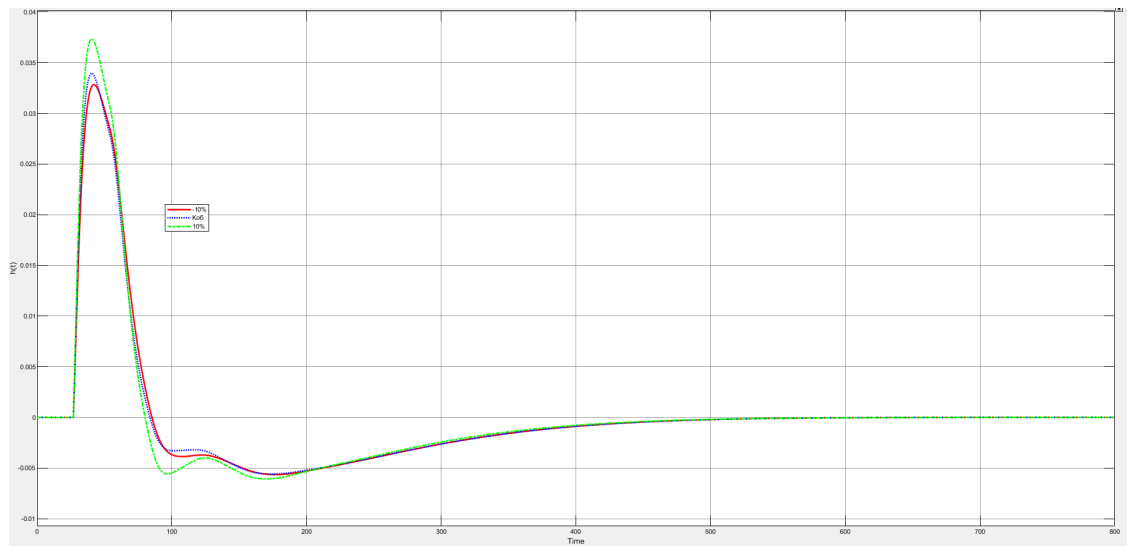


Рисунок 2.35 – Графік каналу збурення-вихід для параметричного збурення Коб зовнішнього контуру

Таблиця 2.8 – Показники якості каналу збурення-вихід для параметричного збурення Коб внутрішнього контуру.

Показник якості	Коб		
	-10%	Коб	+10%
Статична помилка	0	0	0
Макс. Динамічне відхилення	0,036	0,034	0,032
Степінь затухання	0,8735	1	1
Час перехідного процесу, с	59,6	61,9	64.175
Перерегулювання,%	0,11	0	0,1

Таблиця 2.9 – Показники якості каналу збурення-вихід для параметричного збурення Коб зовнішнього контуру.

Показник якості			
	-10%	Коб	+10%
Статична помилка	0	0	0
Макс. Динамічне відхилення	0,0329	0,034	0,037
Степінь затухання	1	1	0,8735
Час перехідного процесу, с	62,7	61,9	63
Перерегулювання,%	0,17	0	0,15

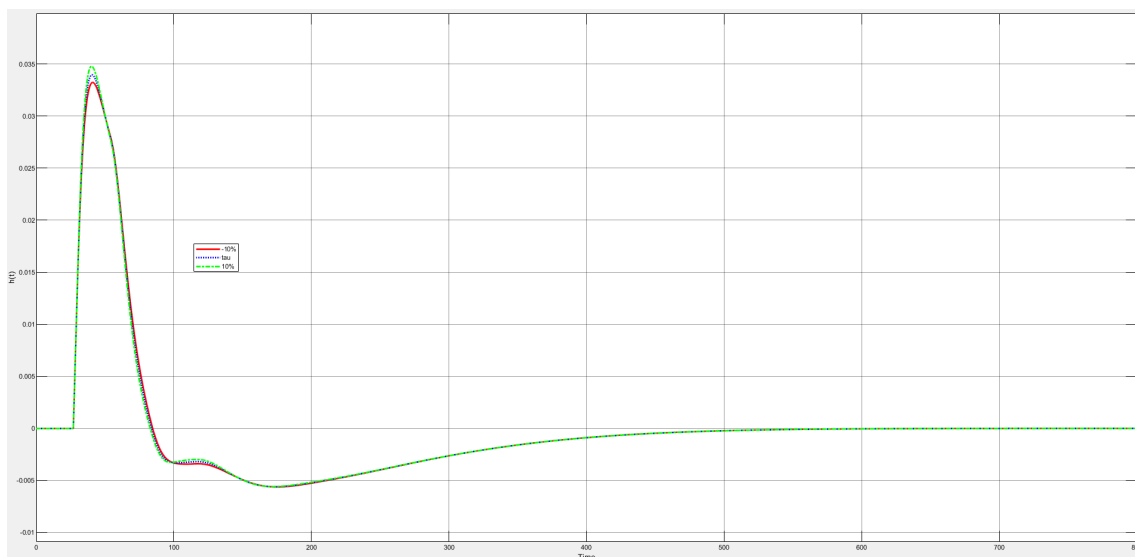


Рисунок 2.36 – Графік каналу збурення-вихід для параметричного збурення Таиоб внутрішнього контуру

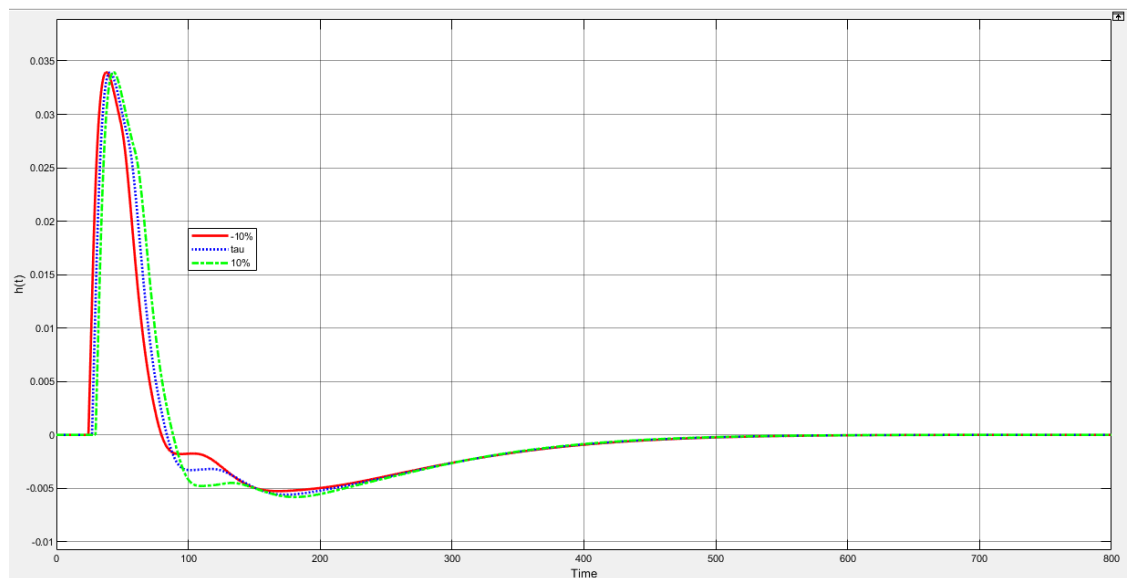


Рисунок 2.37 – Графік каналу збурення-вихід для параметричного збурення Таиоб зовнішнього контуру

Таблиця 2.10 – Показники якості канала збурення-вихід для параметричного збурення Тауб внутрішнього контуру.

Показник якості			
	-10%	тауб	+10%
Статична помилка	0	0	0
Макс. Динамічне відхилення	0,033	0,034	0,0347
Степінь затухання	1	1	1
Час перехідного процесу, с	51,6	61,9	62,1
Перерегулювання,%	0	0	0

Таблиця 2.11 – Показники якості канала збурення-вихід для параметричного збурення Тауб зовнішнього контуру.

Показник якості			
	-10%	тауб	+10%
Статична помилка	0	0	0
Макс. Динамічне відхилення	0,034	0,034	0,034
Степінь затухання	1	1	1
Час перехідного процесу, с	57	61,9	66,7
Перерегулювання,%	0	0	0

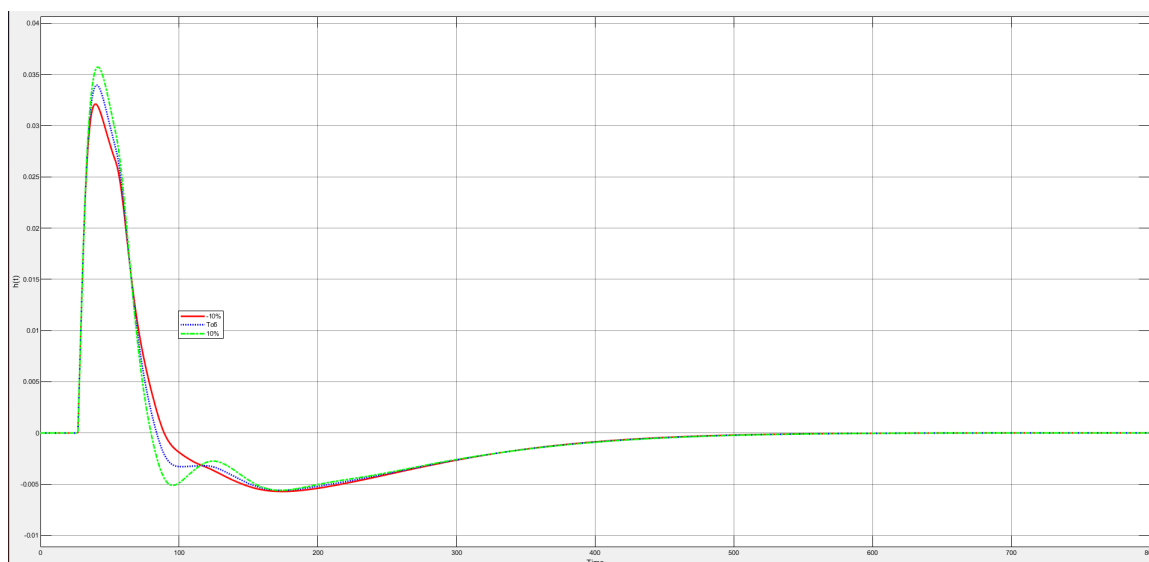


Рисунок 2.38 – Графік каналу збурення-вихід для параметричного збурення Таб внутрішнього контуру

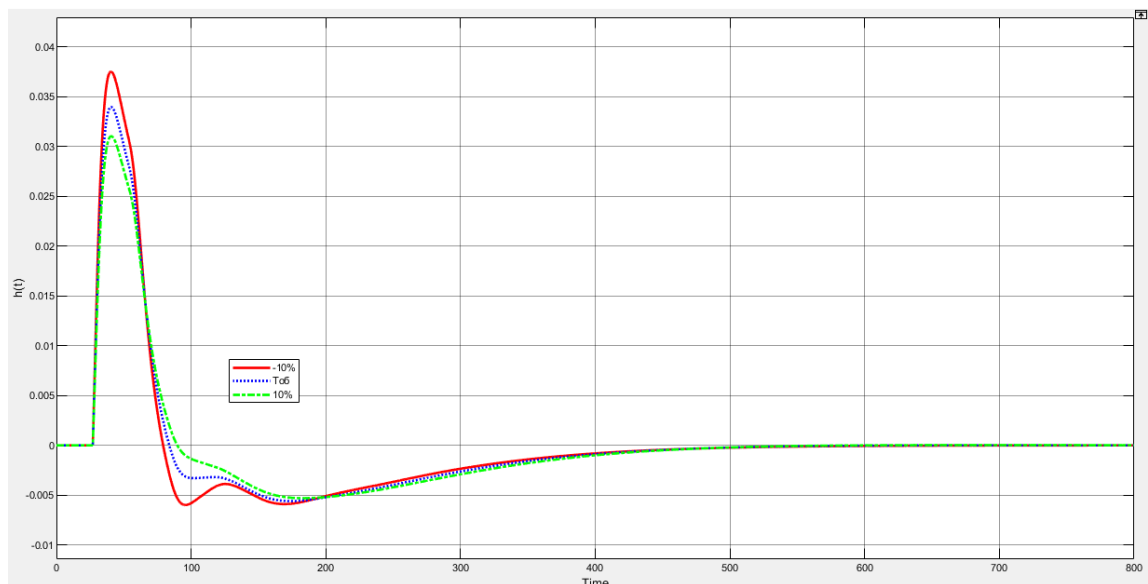


Рисунок 2.39 – Графік каналу збурення-вихід для параметричного збурення $T_{об}$ зовнішнього контуру

Таблиця 2.12 – Показники якості каналу збурення-вихід для параметричного збурення $T_{об}$ внутрішнього контуру.

Показник якості	-10%	$T_{об}$	+10%
Статична помилка	0	0	0
Макс. Динамічне відхилення	0,032	0,034	0,0357
Степінь затухання	1	1	1
Час перехідного процесу, с	61,9	61,9	61,9
Перерегулювання, %	0	0	1,43

Таблиця 2.13 – Показники якості каналу збурення-вихід для параметричного збурення $T_{аоб}$ зовнішнього контуру.

Показник якості	-10%	$T_{об}$	+10%
Статична помилка	0	0	0
Макс. Динамічне відхилення	0,0357	0,034	0,031
Степінь затухання	0,986	1	1
Час перехідного процесу, с	61,9	61,9	61,9
Перерегулювання, %	1,67	0	0

2.2.10 Висновки щодо роботоздатності РВК САР

Проаналізувавши отримані графіки і показники якості можна зробити висновок, що для цієї системи найкращим методом для розрахунку регуляторів можна вважати експрес метод, тому що він має найменше перерегулювання по каналу збурення-вихід для каскадної системи. Також після проведених розрахунків чутливості САР, бачимо, що система є стабільною і грубою, так як параметричні збурення не сильно на неї впливають.

РОЗДІЛ 3 ОПИС ГРАФІЧНОЇ ЧАСТИНИ ПРОЄКТУ

3.1 Схема функціональна автоматизації ТОУ

Опис функціональної схеми автоматизації наведений в розділі 1.5 дипломного проєкту бакалавра.

3.2 Схема структурна ПТК

Опис структурної схеми наведений в розділі 1.6 дипломного проєкту бакалавра.

3.3 Схема принципова електрична АСР

На принциповій електричній схемі наведено електричне підключення датчиків, виконавчих механізмів, програмуємого логічного контролера і модулів до нього. Дана схема допомагає зрозуміти які клеми у яких приладів задіяні, для коректного їх підключення до ПЛК. Схема електрична складається з 4 листів: 3 листа це принципова електрична схема, а 4 лист це структурна схема.

На першому листі ПЕС знаходиться блок живлення на позиції A1, ПЛК Siemens Simatic S7-1500 на позиції A2, та модулі аналогових входів на 16 елементів на позиції A3 та A4. На позиції B1-B10 розташовані датчики тиску Siemens SITRANS P200 з межами вимірювання 0...60 Бар, вихідним уніфікованим сигналом 4...20мА, і живленням 24В. На позиції B11-B16 розташовані датчики температури SITRANS TF2 з межами виміру -50...200°C, вихідним уніфікованим сигналом 4...20мА, і живленням 24В. На позиції B17-B19 розташовані аналогові датчики рівня SITRANS LC300 з межами виміру 0...5м, вихідним уніфікованим сигналом 4...20мА, і живленням 24В.

					ТА-92441.0016.001.АТХ.П	Арк.
						57
	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

На другому листі ПЕС розташовані виконавчі механізми: чотири насоси Wilo на 15кВт потужності, два насоси Wilo на 30кВт потужності і 3 насоси Wilo на 160кВт потужності. На позиціях U1-U6 розташовані пристрої плавного пуску SIRIUS 3RW30/31. На позиції U7-U9 розташований частотний перетворювач Siemens SIMATIC G120P з підключеним до нього силовим модулем Siemens PM230 і керуючим модулем Siemens CU230P-2. На позиції A8-A11 розташовані електроприводи Auma SAEx 14.6 для відкриття клапанів.

На третьому листі ПЕС на позиції A6 розташований модуль дискретних виходів SM1522 на 16 виходів. На позиції A7 розташований модуль дискретних входів SM1521 на 16 входів. На позиції A12-A14 розташовані електроприводи Auma SAEx14.6 для відкриття клапанів. На позиції B25-B32 розташовані дискретні реле рівня Lovato LVM20A240.

На структурній схемі показане схематичне підключення датчиків, виконавчих механізмів, модулів до ПЛК.

3.4 Креслення загального виду щита

На кресленні загального виду щита показане схематичне розміщення приладів в щиті і додаткове обладнання. На схемі присутній сам щит, DIN рейки, шина Profibus, датчики, ПЛК, модулі вводу-виводу(як аналогові так і дискретні), автоматичні вимикачі і силові клеми. Це креслення дає уявлення про те, як обладнання в щиті буде розташоване. Також в деяких випадках на щит може встановлюватись панель оператора, але в даному випадку панель оператора буде відсутня на щиті.

					ТА-92441.0016.001.АТХ.П	Арк.
						58
	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

3.5 Схема зовнішніх з'єднань

На схемі зовнішніх з'єднань міститься інформація про елементи, що підключені за місцем, такі як: датчики, виконавчі механізми, частотні перетворювачі та насоси. Також містить детальну інформацію про кількість та типи кабелів, що використані на схемі.

3.6 Специфікація обладнання

Специфікація обладнання містить в собі інформацію про все обладнання, що використовується на об'єкті.

Список основного обладнання на об'єкті:

1. Насоси Wilo на 160кВт
2. Насоси Wilo на 30кВт
3. Насоси Wilo на 15кВт
4. Датчики температури SITRANS TS500
5. Датчики температури SITRANS TF2
6. Датчики рівня SITRANS LC300
7. Датчики тиску SITRANS P200
8. Реле рівня Lovato LVM20A240
9. ПЛК Siemens SIMATIC S7-1500
10. Електропривід Auma SAEx 14.6
11. Вимикач автоматичний SIRIUS 3P 63A

Більш детальна інформація знаходиться на специфікації.

					ТА-92441.0016.001.АТХ.П	Арк.
						59
	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4 ПРОГРАМУВАННЯ ПТКЗА

4.1 Програмування функціональності ПЛК

Реалізація функціональності ПЛК для контуру регулювання перегрітої пари буде відбуватись в середовищі розробки Codesys на мові CFC.

Мова CFC була обрана з огляду на те, що на ній просто писати, і вона зрозуміла, оскільки легко читається. Також цей контур регулювання не має якоїсь специфіки, для того щоб була необхідність використовувати іншу мову(наприклад, SFC).

PID_0	PID		PID Regulator functional block
PID_1	PID		PID Regulator functional block
MatlabCV	REAL		Matlab current value (outer contour)
Y_Min	REAL	0	PID regulator minimal value
Y_Max	REAL	100	PID regulator maximal value
MatlabPV	REAL		Matlab Process value
MatlabCV2	REAL		Matlab current value (inner contour)
PID_Manual	BOOL		Enable/Disable manual mode(Default: Disabled)
Y_Manual	REAL		Value for PID regulator in manual mode

Рисунок 4.1 – Таблиця змінних програми

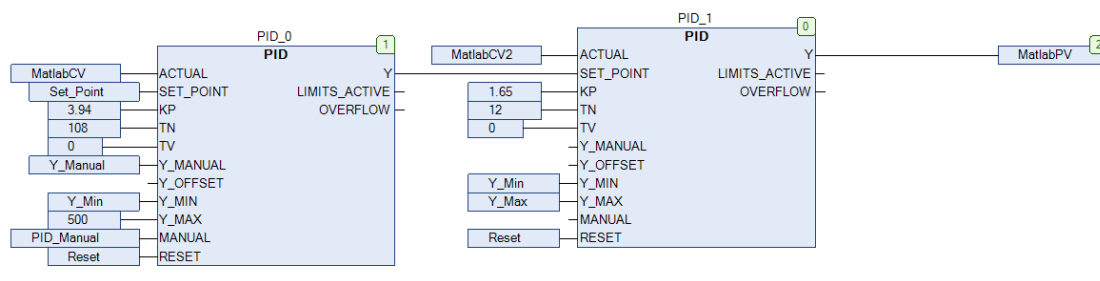


Рисунок 4.2 – Реалізація контуру регулювання в CodeSys

Для реалізації об'єкту і контуру регулювання використовується Codesys, Matlab Simulink і Matrikon OPC Server. Сама реалізація об'єкту знаходиться в Matlab Simulink, а Codesys містить в собі реалізацію регуляторів, виконавчих механізмів(за необхідності), додаткових перевірок чи обробку помилок(теж за необхідності).

Оскільки для регулювання температури перегрітої пари використовується каскадна САР, то для того щоб коректно реалізувати регулювання в системі використовується два регулятори: один для випереджаючого контуру, другий для інерційного. PID-регулятори реалізовані функціональним блоком PID з бібліотеки Util від Schneider Electric. Також в програмі реалізована симуляція відкриття виконавчого механізму завдяки блоку RAMP_REAL також з бібліотеки Util. Завдяки використанню вже готових рішень програмна реалізація в Codesys не принесла проблем.

Комунікація між Codesys та Matlab відбувається за допомогою Matrikon OPC Server, а саме через OPC.Codesys.DA сервер. Що в Simulink, що в Codesys є нативна підтримка OPC серверів, тому після мінімальної конфігурації Codesys'а обмін даними був реалізований. Коли змінюється якась змінна в Codesys, це одразу відображається в Matrikon OPC Explorer. І потім, коли якась програма звертається до OPC серверу, щоб зчитати цю змінну, вона вже забирає собі актуальне значення. Це працює і в іншу сторону, наприклад, в Simulink ми можемо писати в якусь змінну, і це буде відображатись в Codesys. Щоб зробити можливим обмін даними в Codesys потрібно створити символну конфігурацію(Symbol Configuration), а в Simulink потрібно додати об'єкти OPC Read, OPC Write і OPC Configuration.

4.2 Програмування функціональності SCADA-системи

Для програмування функціональності SCADA системи було обрано середовище WebStudio від виробника Indusoft. Це середовище ідеально підходить для дипломного проєкту бакалавра, оскільки воно зручне, просте в розумінні і підтримує всі потрібні функції.

Основна ціль SCADA системи – зручний моніторинг і зручне керування процесами системи.

На рисунку 4.3 наведена мнемосхема контуру регулювання температури перегрітої пари в котлі.

					ТА-92441.0016.001.АТХ.П	Арк.
						61
	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

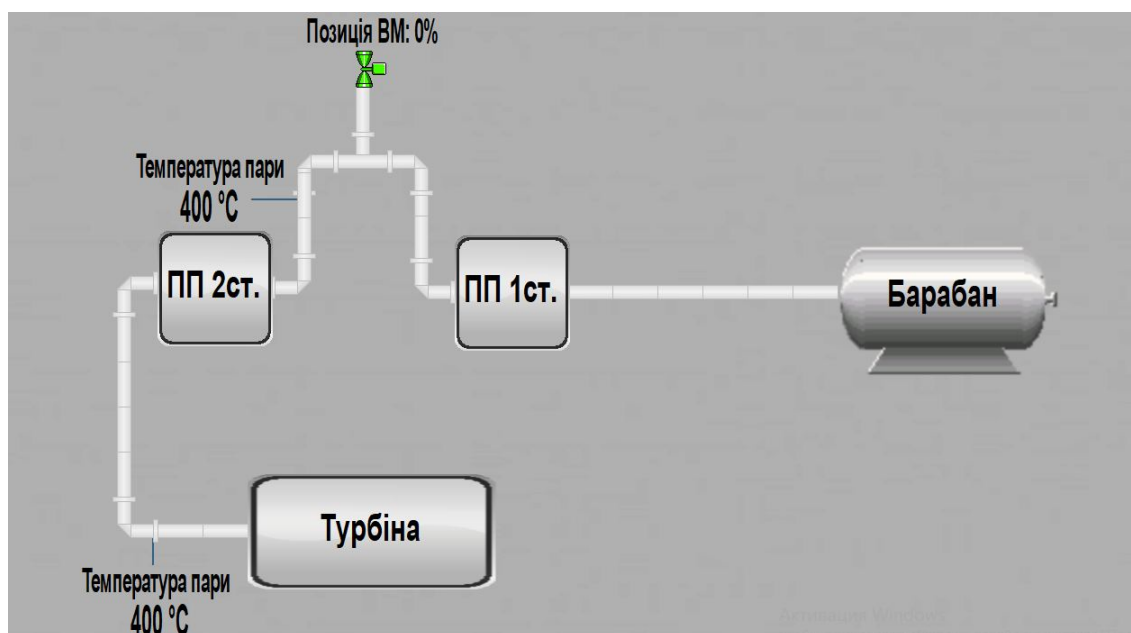


Рисунок 4.3 – Мнемосхема контуру регуювання в WebStudio

Температура пари, тиск пари і положення виконавчого механізму, що відображаються в цій SCADA системі приходять у WebStudio завдяки Matrikon OPC. Також SCADA система є інтерактивною, і якщо задати уставку на мнемосхемі, дані будуть відправлені до сервера, де до них можуть звернутись інші програми.

РОЗДІЛ 5 ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АТК

5.1 Схема структурна полігону імітаційного моделювання АТК ТОУ

Структурна схема імітаційного моделювання АТК ТОУ складається з наступних елементів: Codesys, WebStudio, Matlab Simulink.

Codesys виступає в ролі SoftPLC в якому пишеться програма для контролера.

Matlab Simulink потрібен для моделювання об'єкта.

WebStudio потрібен для візуалізації і керування процесами.

5.2 Функціональне моделювання ОУ в СКМ Matlab Simulink

Моделювання в Simulink потрібне для імітації об'єкта керування. На рисунку нижче наведена схема об'єкта в Simulink.

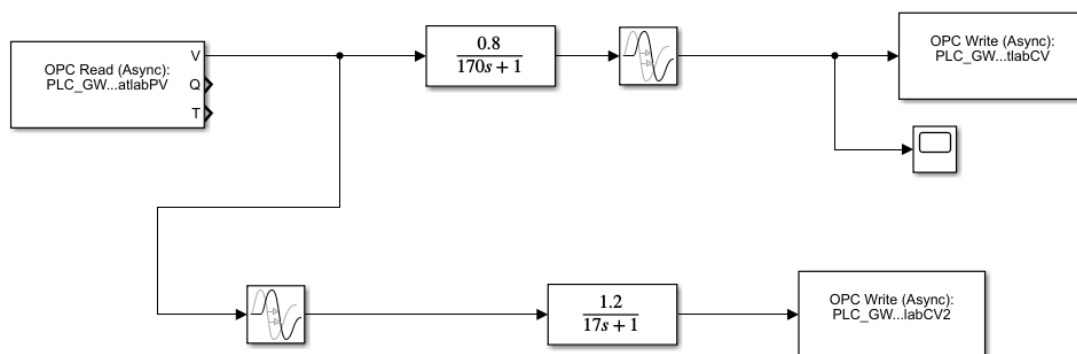


Рисунок 5.1 – Модель об'єкта в MatLab Simulink

Об'єкт складається з двох аперіодичних ланок 1 порядку і двох ланок транспортного запізнення. Також тут використані блоки OPC Read і OPC Write для зчитування і передавання даних на OPC сервер.

5.3 Реалізація контролерної функціональності САР в софтПЛК CoDeSys

Реалізація контролерної функціональності САР в софтПЛК CoDeSys реалізована в розділі 4.1 дипломного проєкту бакалавра.

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

Для даної SCADA системи були реалізовані наступні вікна HMI-Standard функціональності:

Вікно Menus: дане вікно відображає всі доступні меню доступні в SCADA системі для зручного переходу до них.

Вікно Mimics: дане вікно містить мнемосхему контура регулювання. В цьому вікні розташовані барабан, пароперегрівачі 1 та 2 ступеню і регулюючий клапан. Також цей екран містить актуальні значення параметрів.

5.5 Структурне моделювання АТК в програмно-технічному симуляторі

Структурне моделювання АТК було розроблено в розділі 4 дипломного проєкту бакалавра.

					ТА-92441.0016.001.АТХ.П	Арк.
						64
	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці – це система законодавчих актів, соціально-економічних, організаційних, технічних, гігієнічних та лікувально-профілактичних заходів і засобів, які забезпечують безпеку праці та збереження здоров'я людини під час трудового процесу.

Охорона праці спрямована на утворення гідних умов праці на робочих місцях; запобігає зменшенню або повній нейтралізації дії небезпечних та шкідливих виробничих факторів, що негативно впливають на організм людини; гарантує безпечну експлуатацію обладнання; зменшення професійних захворювань та травм на виробництві.

Тема дипломної роботи – «Автоматизована система керування котлом на деревній трісці». Завданням створення даної системи є збільшення продуктивності і оптимізація роботи котла.

В даному розділі дипломного проекту представлені пропозиції щодо технічних рішень та організаційних заходів, спрямованих на виконання вимог з охорони праці під час експлуатації АСК та технологічного обладнання котла. Також визначені основні заходи, пов'язані з виробничою санітарією, гігієною праці, пожежною безпекою та профілактикою.

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

Виробниче приміщення щитової та операторської має площу 15 м². Для контролю технологічного процесу там встановлено пульт керування та щитове обладнання, а також засоби сигналізації та зв'язку. Робоче місце оператора відповідає діючим вимогам з ергономіки.

Графік робочого дня оператора, складає 8 годин за зміну, оскільки його робота потребує великої уваги спостереження за технологічним процесом.

					ТА-92441.0016.001.АТХ.П	Арк.
						65
	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Операторна має бути зроблена за наступними вимогами: підлога рівна та неслизька. Висота – 2.7 м. Стіни операторної мають світлий, не яскравий колір, аби не відволікати увагу оператора від роботи. Враховується розташування пульта керування процесом пароутворення. Під час робочого дня на оператора об'єкту впливають наступні виробничі фактори: можливість ураження електричним струмом, отримання механічних травм від рухомих частин об'єкту, недостатнє освітлення операторської, підвищені рівні вібрації та шум.

Відносна вологість в приміщенні операторської та щитової не повинна бути більше 60%.

Для обслуговування котлового обладнання використовуються сходи, які повинні мати перила, висота яких становить не менше 1 метра.

Щоб контролювати технологічні параметри об'єкту, в АСК використовуються датчики рівня, тиску та температури.

Для безпечної експлуатації засобів автоматизації необхідно забезпечити виконання наступних вимог:

- Кнопки, вимикачі (аварійні пристрої управління), повинні мати червоний колір та відрізнятися своїм зовнішнім виглядом, а також виключати можливість самовільного перезапуску технологічного обладнання у разі його аварійної зупинки.
- Можливість аварійного відключення.
- На робочих місцях повинні бути проходи шириною не менше 0,8 метра.

6.1.1 Електробезпека

Основні нормативні документи, що регламентують вимоги з електробезпеки, це ПУЕ-2017, НПАОП 40.1-1.21-98, НПАОП 40.1-1.01-97, НПАОП-40.1-1.32-01, ДСТУ 7237:2011 та Технічний регламент з безпеки низьковольтного електричного обладнання (постанова Каб. Міністрів України №1149 від

					ТА-92441.0016.001.АТХ.П	Арк.
						66
	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

23.10.2009 р.), а також ДСТУ Б В.2.5-82:2016. «Інженерне обладнання будинків і споруд. Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд».

Виробничі приміщення, в яких розташоване котлове обладнання відносяться за електротравматизмом до категорії «особливо небезпечних», а приміщення операторської та щитової до категорії приміщень «з підвищеним рівнем безпеки».

В якості джерела живлення технологічного устаткування та АСК застосовується трьохфазна електромережа змінного струму з заземленою нейтраллю та напругою 220/380В з частотою 50 Гц. Використовується система захисного заземлення TN (підсистема TN-C-S). Живлення ПЛК АСК відбувається від мережі постійного струму напругою 24В від зовнішнього блоку живлення, на який іде напруга 220В частотою 50Гц через пакетний вимикач. До рейки клемових затискачів під'єднується напруга 24 В, та через неї іде розподіл на пристрої. Кришка закриває рейку, яка перешкоджає дотику людини до струмовідних частин.

Так як в операторській наявні пристрої для керування технологічним процесом, які працюють безперервно, повинні бути передбачені джерела автоматичного резервного живлення при вимиканні основного джерела.

Розетки в приміщенні операторської встановлені на пластинах, що не горять. Вони мають 3-х контактну конструкцію. Захисний контакт у розеток зроблений у формі бічних контактів, що працюють першими при ввімкненні вилки в розетку і вимикаються останніми при вийманні вилки з розетки, що відповідає сучасним стандартам.

Для виконання діючих вимог з електробезпеки, все технологічне електроустаткування 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, II та III класи.

					ТА-92441.0016.001.АТХ.П	Арк.
						67
	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Для захисту людей від помилкових дій та випадкового дотику до струмовідних частин ЕУ при їх монтажі, обслуговуванні та експлуатації 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 БЩУ, таблички та написи з позначенням робочих напруг, попереджувальні знаки.

Для безпечної експлуатації електротехнічного устаткування додатково використовуються наступні засоби захисту:

- Рукавички діелектричні.
- Показчики напруги.
- Діелектричне взуття.
- Захисні огороження.
- Переносні заземлюючі пристрої тощо.

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

До основних виробничих факторів, що визначають санітарно-гігієнічні умови праці, відносяться:

1. мікроклімат та склад повітря робочої зони;
2. виробниче освітлення;
3. виробничий шум та вібрації.

6.2.1 Мікроклімат та склад повітря робочої зони

					ТА-92441.0016.001.АТХ.П	Арк.
						68
	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Параметри мікроклімату робочої зони нормуються згідно з вимогами ДСН 3.3.6.042- 99 (санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень) в залежності від складності робіт та періоду року. Основними показниками повітря в робочій зоні приміщень є: температура, вологість і рухливість повітря. В таблиці 6.1 наведені оптимальні та допустимі параметри мікроклімату робочої зони для операторського та щитового приміщення.

Таблиця 6.1 – Параметри мікроклімату у щитовому приміщенні

Період року	Оптимальні			Допустимі		
	t °C	W, %	V, м/с	t °C	W, %	V, м/с
Теплий	22-24	40-60	0,2	21-28	до 75	0,3
Холодний	21-23	40-60	0,1	20-24	до 75	0,2

Для забезпечення наведених вище параметрів мікроклімату, приміщення операторської та щитової повинно бути обладнано системами опалення, вентиляції та кондиціювання повітря відповідно до вимог ДБН В.2.5 – 67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування». Також, у разі необхідності можуть бути застосовані прилади зволоження та штучної іонізації повітря.

Забруднення повітря робочої зони регламентується гранично допустимими концентраціями (ГДК) в мг/ м³ шкідливих речовин згідно з ГОСТ 12.1.005–88.

У приміщенні операторської та щитової відсутні джерела шкідливих речовин, а концентрація пилу значно менше за ГДК.

6.2.3.Виробниче освітлення

На об'єкті використовується природне та штучне освітлення. Згідно вимог ДНБ В 25.28–2006 роботу, що здійснює оператор (зняття показань з системи), відносять до третього розряду зорових робіт (підрозряд б).

Значення коефіцієнта природнього освітлення для даного розряду та під розряду зорової роботи становить 8% при застосуванні комбінованої системи освітлення.

Штучне освітлення має бути забезпечене системою рівномірного робочого освітлення. Щоб забезпечити нормоване значення освітленості робочого місця оператора, використовують світлодіодні лампи ІЕК НР потужністю $W=50$ Вт, діаметром 123 мм та терміном роботи 30000 годин.

6.2.4.Виробничий шум

Нормування шумів у виробничих приміщеннях здійснюється відповідно до ДСН 3.3.6.037–99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку».

Виробничий шум – це шум, що виникає завдяки роботи механізмів. Шум викликає у працівників підвищення втоми, пониження розумової активності, неврозів, погіршення зору. Постійний гучний шум може бути подразником нервової системи та викликати її перевантаження.

На робочих місцях та на території підприємства встановлено ГДР шуму 85–95дБА, що унеможливорює ризики до втрачання слуху та не перешкоджає працездатності людини протягом дня.

Зниження рівнів шуму забезпечується завдяки встановлення додаткового звукопоглинаючого покриття у працюючих двигунах.

Застосовані як індивідуальні, так і колективні методи та засоби захисту персоналу від виробничого шуму.

Застосовані наступні методи:

- Зниження шуму в джерелі виникнення;
- Глушіння шуму;
- Екранування джерел шуму;
- Поглинання шуму на шляхах розповсюдження.

					ТА-92441.0016.001.АТХ.П	Арк.
						70
	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Індивідуальні засоби захисту дають можливість знизити рівень шуму на 10 – 45 дБ)

Індивідуальні засоби захисту поділяють на:

- вкладиші протишумові (вушна раковина закривається зовні);
- навушники проти шуму (закривають слуховий прохід);
- шоломи та каски проти шуму (одягають на голову разом з навушниками);
- захисні пристрої проти шуму з електронним приймачем.

6.3 Пожежна безпека та профілактика

Протипожежна система спрямована на обмеження виникнення та поширення пожежі, захист людей і матеріальних цінностей.

Причинами загорання на виробництві можуть бути: коротке замикання, перевантаження електричних мереж, несправність освітлювальних пристроїв, неправильна робота працівників.

Щоб запобігти пожежам використовуються заходи:

- Використовуються запобіжники та автомати максимального струмового захисту для захищення від короткого замикання та струмових перевантажень.
- Системи освітлення піддаються частому огляду: відбувається очищення освітлювальних пристроїв, міняються відпрацьовані лампи
- Контролюється стан електропроводки.
- Дотримується температурний режим при якому поширення пожежі не допускається.
- Автоматизація виробничих технологічних процесів.
- Застосовуються засоби, які швидко відключають аварійне технологічне устаткування;

- Використовуються інструменти, спецодяг, що не спричиняють утворення іскор під час роботи.
- Дотримуються нормативних стандартів, та правил пожежної безпеки.
- Застосовуються системи автоматичної пожежної сигналізації та пожежогасіння;
- У робочих приміщеннях розташовані первинні засоби пожежогасіння.

На підприємстві по виготовленню пари, де встановлено технологічне обладнання мають бути евакуаційні проходи до сходів згідно з нормами. На шляху евакуації, двері повинні відчинятися в напрямку виходу з підприємства.

Не дозволяється:

- На шляху евакуації встановлювати турнікети, виступи, пороги, двері, що обертаються та інші пристосування, які унеможливають евакуацію людей.
- Заставляти шляхи евакуації різними матеріалами.
- Евакуаційні зовнішні двері будівель не можна забивати, заварювати.

На виробництві має бути встановлена пожежна сигналізація, що відповідає вимогам переліку однакових за використанням об'єктів.

Організація, яка займається встановленням та обслуговуванням сигналізації, має мати ліцензію та відповідати за виконання своєї роботи. Засоби протипожежного захисту повинні відповідати вимогам ДНАОП 0.01–1.01–95 та ДБН В.2.5–56–2014 «Системи протипожежного захисту».

Передбачено застосування систем протидимного захисту, оповіщення людей про пожежу і керування евакуацією та засобами зв'язку, протипожежному водопостачанню, по пожежній техніці і первинним засобам пожежогасіння (ДСТУ 3675–98).

Пожежні сповіщувачі системи автоматичної пожежної сигналізації вибираються залежно від характеру приміщення, виробництва, технологічних процесів згідно з ДБН В 2.5-56-2014 «Системи протипожежного захисту».

					ТА-92441.0016.001.АТХ.П	Арк.
						72
	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Між пожежними сповіщувачами має бути відстань не більше 9 м. Відстань від сповіщувача до стіни не більше 4,5 м. При виникненні задимлення включається звукове сповіщення.

Об'єкт повинен бути забезпечений вогнегасниками – 2 штуки на кожні 20 м² з врахуванням концентрації вогнегасної рідини, згідно вимог ДСТУ 3675-98 та ISO 3941-2007.

У легкодоступних місцях(коридори, входи або виходи з приміщення) розміщують вогнегасники, які не мають створювати перешкод при евакуації.

Переносні вогнегасники встановлюють – шляхом навішування на вертикальні конструкції на висоті біля 1,5 м від нижньої кромки рівня підлоги.

Первинні засоби пожежогасіння, визначаються з додатку ДНАОП 0.01-1.01-95.

Періодичному огляду підлягає ручний пожежний інвентар, що міститься на пожежному стенді:

- Чистка від бруду та пилу, корозії.
- Фарбування.

РОЗДІЛ 7 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК

Розрахуємо вартість (кошторис) встановлення АСК котлом, що працює на деревній трісці.

Таблиця 7.1 – Кошторис створеної АСР

№ п/п	Найменування обладнання	Од. вим.	К- сть	Вартість одиниці, грн			Загальна вартість, грн		
				Облад- нання	Монтажних робіт		Обла д- нання	Монтажних робіт	
					Усього	Заробітня плата		Усього	Заробітня плата
1	Центральний процесор Siemens SIMATIC 1516-3 PN/DP	шт.	1	12977 9	25956	12978	1297 79	25956	12978
2	Модуль введення аналогових сигналів Siemens SM 1531, 16AI	шт.	2	17696	3539	1770	3539 2	7 078	3540

Продовження таблиці 7.1

№ п/п	Найменування обладнання	Од. вим.	К- сть	Вартість одиниці, грн			Загальна вартість, грн		
				Облад- нання	Монтажних робіт		Обла д- нання	Монтажних робіт	
					Усього	Заробітня плата		Усього	Заробітня плата
3	Модуль виведення аналогових сигналів Siemens SM 1532, 8AO	шт.	1	22639	4527	2263	22639	4527	2263
4	Модуль виведення дискретних сигналів Siemens SM 1522, 16DO	шт.	1	17859	3571	1785	17859	3571	1785
5	Блок живлення SITOP	шт.	1	8558	1712	855	8558	1712	855
6	Модуль введення дискретних сигналів Siemens SM1521, 16DI	шт.	1	16776	3355	1677	16776	3355	1677
7	Модуль введення аналогових сигналів Siemens SM 1531, 8AI	шт.	1	50691	10138	5069	50691	10138	5069
8	Датчик рівня Siemens LC 300	шт.	3	34558	6912	3456	103674	20736	10368
9	Датчик тиску Siemens Sitrans P200	шт.	10	9653	1930	965	96530	19300	9650
10	Датчик температури Siemens Sitrans TS500	шт.	5	21340	4268	2134	106700	21340	10670
11	Датчик температури Sitrans TF2	шт.	6	16005	3201	1600	96030	19206	9603
12	Дискретне реле рівня Lovato LVM20A240	шт.	8	3312	662	331	26496	5299	2649
13	Автоматичний вимикач двохполюсний Sirius 1P/N 10A	шт.	1	2787	557	278	2787	557	278
14	DIN-Рейка Drail	шт.	4	220	44	22	880	176	88
15	Профільна шина Siemens Profibus	шт.	1	5685	1137	569	5685	1137	569

Продовження таблиці 7.1

№ п/п	Найменування обладнання	Од. вим.	К- сть	Вартість одиниці, грн			Загальна вартість, грн		
				Облад- нання	Монтажних робіт		Облад- нання	Монтажних робіт	
					Усього	Заробітня плата		Усього	Заробітня плата
16	Короб кабельний 30х30	шт.	3	171	34	17	513	102	51
17	Клема силова Woehner 4-35мм ²	шт.	37	54	27	13	1998	399	199
18	Клема Wago 280- 901, 2.5 мм ²	шт.	64	Обла- д- нання	Монта- жних робіт	Облад- нання	Монт ажни х робіт	1126	563
19	Клема Wago 281- 901, 2.5 мм ²	шт.	46	96	Усього	Заробітн я плата	4416	Усього	Заробітня плата
20	Щит 800х1000х400 мм Rittal	шт.	1	28000	5600	2800	2800	5600	2800
21	Кабель силовий екранований ВВГЕ 10х1.5	м.	50	90	18	9	4500	2250	1125
22	Кабель контрольний КВВГ 4х1.5	м.	50	33	7	3	705	450	70,5
23	Кабель силовий ВВГ 5х6	м.	50	172	34	17	8600	1720	860
24	Кабель контрольний екранований КВВГЕ 4х1.5	м.	19 00	45	9	4	85500	17100	8550
25	Виконавчий механізм Auma	м.	7	84888	16978	8489	59421 6	118843	59241
26	Силовий модуль PM230	шт.	3	39175	7835	3917	11752 5	23505	11752
27	Пристрій плавного пуску SIRIUS 3RW30/3	шт.	6	4557	911	456	27342	5468	2734
28	Насос Wilo Cronoline-IL-E 100/150-15/2-R1	шт.	4	43657	8731	4365	17462 8	34925	17462

Кінець таблиці 7.1

№ п/п	Найменування обладнання	Од. вим.	К- сть	Вартість одиниці, грн			Загальна вартість, грн		
				Облад- нання	Монтажних робіт		Облад- нання	Монтажних робіт	
					Усього	Заробітня плата		Усього	Заробітня плата
29	Насос Wilo Cronoline-IL 100/170-30/2	шт.	2	13856 4	27712	13856	27712 8	55425	27712
30	Насос Wilo CronoNorm-NLG 250/400-160/4	шт.	3	23514 2	47028	23514	70542 6	141085	70542
31	Керуючий модуль CU230P-2	шт.	3	18743	3748	1874	56229	11245	5622
32	Частотний перетворювач Simatics G120P	шт.	3	93813	18762	9381	28143 9	56287	28143
33	Контактор Siemens 5TT5831- 0 230B	шт.	2	2123	424	212	4246	848	424
34	Модуль реле Phoenix Contact PLC_RSC- 24DC/21	шт.	8	267	53	26	2136	427	213

Отже, загальна вартість обладнання становить 3075455 грн, монтажних робіт – 616023 грн і загальна вартість САР – 3691478 грн.

Розрахуємо економічну ефективність встановлення АСК. В результаті розрахунку економічної ефективності визначаються такі показники:

Річний економічний ефект:

$$E_{\phi} = \Delta U - E_n \cdot \Delta K_{\text{авт}}, \text{ грн/рік} \quad (7.1)$$

де $E_n = 0.15$ – коефіцієнт ефективності, є нормативною величиною;

ΔU – економія експлуатаційних витрат по управлінню об'єктом при наявності САР, грн/рік;

$\Delta K_{\text{авт}}$ – одноразові капіталовкладення на створення АСР, грн.

Термін окупності: $T_{ок} = \Delta K_{авт} / \Delta U$, рік (7.2)

$\Delta K_{авт} = 3691478$ грн.

АСР вважається економічно ефективною, якщо $T_{ок} < T_{ок}^*$.

Приймаємо:

$T_{ок}^* = 4$ роки.

Економія витрат ΔU розраховується за формулою (7.3):

$$\Delta U = E_k - \Delta V_{авт} \quad (7.3)$$

де $\Delta V_{авт}$ – додаткові витрати на обслуговування системи;

E_k – економія від введення автоматизації.

$E_k = 3180000$ грн/рік.

Величина $\Delta V_{авт}$ розраховується за формулою (7.4)

$$\Delta V_{авт} = V_e + V_a + V_p + V_z \quad (7.4)$$

де V_e – додаткові витрати на електроенергію, грн/рік;

V_a – амортизаційні відчислення, грн/рік;

V_p – витрати на ремонт та обслуговування системи, грн/рік;

V_z – витрати на заробітну платню, грн/рік.

$$V_a = 0.12 \cdot \Delta K_{авт} \quad (7.5)$$

$$V_p = 0.15 \cdot \Delta K_{авт} \quad (7.6)$$

$$V_z = n \cdot T \cdot ЗП \quad (7.7)$$

де n – кількість робітників ($n = 1$ чол.);

T – час роботи в місяцях ($T = 1$ місяців);

$ЗП$ – заробітна плата робітника ($ЗП = 18000$ грн/міс.).

$$V_e = C_e \cdot N \cdot T \quad (7.8)$$

де C_e – тариф на електроенергію ($C_e = 2.56$ грн/кВт·ч);

N – сумарна потужність приладів ($N = 395$ кВт·ч);

T – час роботи системи за рік ($T = 8760$ год/рік).

Згідно з формулами (7.4 – 7.8) маємо:

$V_a = 0.12 \cdot 3691478 = 442977$ грн/рік

$$B_p = 0.15 \cdot 3691478 = 553721 \text{ грн/рік}$$

$$B_e = 2,56 \cdot 20 \cdot 8700 = 445440 \text{ грн/рік}$$

$$B_z = 2 \cdot 6 \cdot 18000 = 216000 \text{ грн/рік}$$

За формулою (7.4) маємо:

$$\Delta B_{авт} = 442977 + 553721 + 445440 + 216000 = 1658138 \text{ грн/рік}$$

За формулою (7.3) маємо:

$$\Delta U = 3180000 - 1658138 = 1521862 \text{ грн/рік}$$

За формулою (7.1) маємо:

$$E_f = 1521862 - 0,15 \cdot 3691478 = 968099 \text{ грн/рік}$$

За формулою (7.2) маємо:

$$T_{ок} = 3691478 / 968099 = 3,81 \text{ роки}$$

Тобто маємо :

$$E_f = 968099 \text{ грн/рік}$$

$$T_{ок} = 3,81 \text{ роки}$$

Порівнюючи прийнятий термін окупності $T_{ок}^*$ з отриманим $T_{ок}$, маємо, що $T_{ок} < T_{ок}^*$ ($3,81 < 4$).

Таким чином, розрахунок показав, що введення АСК котла на деревній трісці за проектом є доцільним. Період окупності АСП – 3,81 роки.

					ТА-92441.0016.001.АТХ.П	Арк.
						78
	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У ході реалізації даного дипломного проєкту було розроблено варіант автоматичної системи керування котлом на деревній трісці.

Були розроблені наступні схеми: функціональна, електрична, зовнішніх проводок, і креслення шафи автоматизації. Для автоматизації використовувались пристрої такі як датчики, виконавчі механізми, насоси, пристрої плавного пуску і так далі.

Були проведені розрахунки по похибкам і надійності вимірювальних каналів, а також розрахунки регулятора для каскадної системи двома методами: Експрес-методом CHR і методом РАФХ.

Для програмування ПЛК від Siemens використовувалось середовище Codesys в зв'язці з Matlab Simulink. SCADA система була реалізована в Indusoft Web Studio.

Був проведений економічний розрахунок, і можемо бачити, що система окупається за 3.8 роки.

Результати даного дипломного проєкту показують що система буде корисною, і що є сенс її впроваджувати. Окрім генерації енергії, ця система ще допомагає переробляти залишки дерева, що є корисним для суспільства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ 7237:2011 Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту.
2. ПУЕ-2017 Правила улаштування електроустановок.
3. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
4. ГОСТ 12.1.005-88 Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітряної робочої зони.
5. ДСТУ Б.В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх споруд за вибухопожежною та пожежною небезпекою.
6. ДСТУ Б В.2.5-56:2014. Системи протипожежного захисту. Загальні вимоги.
7. ДСТУ 3875-98 Необхідна кількість вогнегасників та їх тип.
8. ДСТУ Б А.2.4-10:2009 СПДБ. Правила виконання специфікації обладнання, виробів і матеріалів.
9. ISO 3941-2007 Класифікація пожеж. Засоби пожежної безпеки і боротьби з вогнем.
10. Програмовані контролери S7-1500. URL: <https://eleksun.com.ua/uk/6es7513-1a100-0ab0-centralnyy-processor-cpu-1513-1-pn-seriya-simatic-s7-1500-siemens.html>. (Дата звернення: 26.05.2023)
11. Модуль введення дискретних сигналів SM 1521, серія SIMATIC S7-1500, 16 DI=24В. URL: <https://eleksun.com.ua/uk/6es7521-1bh00-0ab0-modul-vvoda-diskretnyh-signalov-sm-1521-seriya-simatic-s7-1500-16-di24v-3ms-tip-3>. (Дата звернення: 26.05.2023)
12. Електропривід Auma для керування заслінками. URL: <https://electroprivod.info/shop/mnogooborotnye-privody-auma/auma-saex/elektroprivod-auma-saex-14-6-f14-380-50-3-s2-15-500nm-maks-ip68-56kg/>. (Дата звернення: 02.06.2023)

					ТА-92441.0016.001.АТХ.П	Арк.
						80
	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

13. Насоси Wilo для забезпечення кругообігу води в системі. URL:
<https://wilo.com/ru/ru/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F/ru/produkty-i-professionalnyy-opyt>. (Дата звернення: 02.06.2023)

14. Модуль виведення аналогових сигналів SM 1532, серія SIMATIC S7-1500, 8 AO=24В. URL:
https://cache.industry.siemens.com/dl/files/551/59193551/att_825401/v1/s71500_aq_8xu_i_hs_manual_en-US_en-US.pdf. (Дата звернення: 04.06.2023)

15. Модуль введення аналогових сигналів SM 1531, серія SIMATIC S7-1500, 8 AI=24В. URL:
https://cache.industry.siemens.com/dl/files/205/59193205/att_112065/v1/s71500_ai_8xu_i_rtd_tc_st_manual_en-US_en-US.pdf. (Дата звернення: 04.06.2023)

16. Реле рівня дискретне Lovato LVM20A240. URL:
https://catalogue.lovatoelectric.com/gl_en/Level-monitoring-relay-modular-version-single-voltage-Automatic-resetting-220-240VAC/LVM20A240/snp. (Дата звернення: 03.06.2023)

					ТА-92441.0016.001.АТХ.П	Арк.
						81
	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		