

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

Теплоенергетичний

Навчально-науковий інститут атомної та теплової енергетики

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 піччю для випалювання цегли»

Виконав (-ла):

студент (-ка) IV курсу, групи ТА-92

Герасимов Олександр Олександрович _____

Керівник:

асистент,

Гікало Павло Валерійович _____

Консультант з «Охорона праці»:

доцент, к. т. н.

Каштанов Сергій Федорович _____

Рецензент:

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

Студент (-ка) _____

Київ – 2023 року

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

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

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Володимир ВОЛОЩУК

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Герасимов Олександр Олександрович

1. Тема проєкту «Автоматизована система керування піччю для випалювання цегли», керівник проєкту Гікало Павло Валерійович, асистент, затверджені наказом по університету від «29» травня 2023 р. №2039-с
2. Термін подання студентом проєкту 16 червня 2023 р.
3. Вихідні дані до проєкту: Інтернет-джерела
4. Зміст пояснювальної записки

ВСТУП, ПРОЄКТУВАННЯ АСУТП, ІНЖЕНЕРНИЙ РОЗРАХУНОК САР, ОПИС ГРАФІЧНОЇ ЧАСТИНИ ПРОЄКТУ, ПРОГРАМУВАННЯ ПТКЗА, ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АТК, ОХОРОНА ПРАЦІ, ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК, РЕЗУЛЬТАТИ І ВИСНОВК

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

Функціональна схема автоматизації, Специфікація обладнання, Схема електрична принципова, Креслення загального виду щита, Схема монтажна щита керування, Схема зовнішніх з'єднань

6. Консультанти розділів проєкту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Каштанов Сергій Федорович, доцент		

7. Дата видачі завдання 22 квітня 2023 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Постановка задачі ТОУ	2 тиждень	
2	Проектування АСУ ТОУ	2-6 тиждень	
3	Інженерні розрахунки САР	4-5 тиждень	
4	Імітаційне моделювання і аналіз функціональності АТК	6-7 тиждень	
5	Охорона праці і техніко-економічна ефективність АСУ	7 тиждень	
6	Попередній захист ДПБ	8 тиждень	
7	Захист ДПБ		

Студент

Герасимов Олександр Олександрович

Керівник

Гікало Павло Валерійович

АНОТАЦІЯ

Дипломний проєкт виконаний на тему "Автоматизована система керування піччю для випалювання цегли". Розроблена система управління призначена для контролю та оптимізації процесу випалу цегли.

Виконання всіх поставлених на початку роботи завдань було успішно завершено. Особливу увагу було приділено огляду та аналізу об'єкта управління з метою визначення основних технологічних параметрів і засобів для автоматизації. Були розроблені функціональна схема автоматизації, розширена електрична схема підключень і креслення загального виду щита. Для всіх наявних регуляторних контурів були обрані відповідні методи та системи регулювання.

З урахуванням особливостей об'єкта була створена програма для програмованого логічного контролера (ПЛК) у середовищі CODESYS. Щоб перевірити правильність роботи програми, було проведено імітаційне моделювання.

Наступним кроком було виконано розрахунки техніко-економічних показників, які підтвердили економічну доцільність системи. Крім того, в розділі, що стосується охорони праці, було продемонстровано, що розроблена система є абсолютно безпечною і готовою до впровадження.

Ключові слова: автоматизована система управління, процес випалювання цегли.

ANNOTATION

The diploma project on "Automated Control System for Brick Firing" has been completed. The developed control system is designed to monitor and optimize the brick firing process.

The execution of all the tasks set at the beginning of the project has been successfully accomplished. Special attention was given to the inspection and analysis of the control object in order to determine the key technological parameters and automation tools. Functional automation diagrams, expanded electrical connection schemes, and overall panel drawings were developed. Suitable methods and control systems were selected for all existing regulatory circuits.

Taking into account the specific features of the object, a program for a programmable logic controller (PLC) was created using CODESYS environment. To verify the correctness of the program's operation, simulation modeling was conducted.

The next step involved performing calculations of the technical and economic indicators, which confirmed the economic feasibility of the system. Additionally, in the section related to occupational safety, it was demonstrated that the developed system is completely safe and ready for implementation.

Keywords: automated control system, brick firing process.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АСК – автоматична система керування;

САР – система автоматичного регулювання;

РО – регулюючий орган;

ВМ – виконавчий механізм;

$W(p)$ – передавальна функція;

РАФХ – метод розширеної амплітудно - фазової характеристики;

ПЛК – програмно-логічний контролер;

SCADA – Supervisory Control and Data Acquisitio

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Автоматизована система керування піччю для
випалювання цегли»**

Київ – 2023 року

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1 ПРОЄКТУВАННЯ АСУТП.....	9
1.1 Загальний опис технологічного об'єкту.....	9
1.2 Технологічних параметри АСУТП ТОВ	18
1.3 Функції АСУТП.....	19
1.4 Схема автоматизації функціональна	21
1.5 Опис схеми структурної ПТК АСУТП піччі	25
1.6 Перелік і аналіз джерел техніко-економічної ефективності АТК ТОВ ..	26
РОЗДІЛ 2 ІНЖЕНЕРНИЙ РОЗРАХУНОК САР	27
2.1 Інженерний розрахунок вимірювальних каналів САР	27
2.1.1 Перелік вимірювальних каналів (ВК)	27
2.1.2 Схеми структурні вимірювальних каналів	27
2.1.3 Опис схем функціональних ВК САР.....	31
2.1.4 Особливості електричних підключень давачів вимірювальних каналів	33
2.1.5 Монтаж технічних засобів вимірювальних каналів	34
2.1.6 Схеми структурні надійності вимірювальних каналів	36
2.1.7 Метрологічний розрахунок вимірювальних каналів	36
2.1.8 Розрахунок надійності вимірювальних каналів	42
2.1.9 Функції первинної обробки даних вимірювання в ПЛК.....	45
2.1.10 Висновок щодо роботоздатності вимірювальних каналів САР	46
2.2 Інженерний розрахунок регульовально-виконавчих каналів САР	47
2.2.1 Перелік систем автоматичного регулювання.....	47
2.2.2 Структурна схема САР температури у зоні випалювання.....	48
2.2.3 Схема структурна регульовально-виконавчого каналу САР	49

					ТА92423.0006.001 АТХ.П		
					АСК піччю для випалювання цегли		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Пояснювальна записка		
Розробив	Герасимов О.О.						
Перевірив	Гікало П.В.						
Н. Контроль	Гікало П.В.						
Затвердив	Волощук В.А.						
					Стадія	Аркуш	Аркушів
					ДП	6	
					КПІ ім.І.Сікорського, ТЕФ, гр.ТА-92		

2.2.4	Схема структурна програмно-технічних засобів САР температури в зоні випалювання	50
2.2.5	Розрахунок надійності реалізації управляючої функції САР	52
2.2.6	Ідентифікація об'єкта управління	53
2.2.7	Розрахунок регуляторів САР	54
2.2.8	Функціональне моделювання САР	62
2.2.9	Висновки щодо роботоздатності РВК САР	65
РОЗДІЛ 3 ОПИС ГРАФІЧНОЇ ЧАСТИНИ ПРОЄКТУ		66
3.1	Схема функціональна автоматизації ТОУ	66
3.2	Схема структурна ПТК	66
3.3	Схема принципова електрична АСР	66
3.4	Креслення загального виду щита	67
3.5	Схема монтажна щита (таблиця з'єднань)	68
3.6	Схема зовнішніх з'єднань	69
3.7	Специфікація обладнання	71
РОЗДІЛ 4 ПРОГРАМУВАННЯ ПТКЗА		73
4.1	Програмування функціональності ПЛК	73
4.2	Програмування функціональності SCADA-системи	75
РОЗДІЛ 5 ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АТК		82
5.1	Схема структурна полігону імітаційного моделювання АТК ТОУ	82
5.2	Функціональне моделювання ОУ в СКМ Matlab Simulink	83
5.3	Реалізація контролерної функціональності САР в софтПЛК CoDeSys	83
5.4	Реалізація супервізорної HMI-Standard функціональності в HMI/SCADA системі WebStudio	84
5.5	Реалізація супервізорної MES-Lite функціональності в HMI/SCADA-системі WebStudio	85
5.6	Структурне моделювання АТК в програмно-технічному симулятор	87
РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ		89
РОЗДІЛ 7 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК		105
ВИСНОВКИ		109
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ		110

ВСТУП

Цегла - один із найпоширеніших матеріалів, що використовується для зведення будівель і споруд. Завдяки тисячолітній практиці застосування, цегла займає лідерські позиції в рейтингу найбільш довговічних будівельних матеріалів. Технологія цегляного кладіння дозволяє архітекторам і дизайнерам втілювати найсміливіші творчі задуми. Цегляні будівлі і споруди володіють високою вогнестійкістю і порівняно низькою теплопровідністю, що забезпечує високий рівень комфорту та безпеки для житлових і промислових об'єктів.

Україна є однією з провідних країн у виробництві цегли, і вона має декілька відомих виробників цегли. Компанія "Літос" є однією з найбільших компаній у цегельній промисловості в Україні. Ця компанія спеціалізується на виробництві як глиняної, так і силікатної цегли. Друга відома компанія - "ДЗБМ" - є однією з провідних компаній у сфері виробництва силікатної цегли. Крім того, існує також компанія "Кераміка-Будівельний Світ", яка спеціалізується на виробництві глиняної цегли та керамічної черепиці. Усі ці компанії мають відмінну репутацію та довголітній досвід у виробництві високоякісної цегли.

					ТА92423.0006.001 АТХ.П	Лист
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1 ПРОЄКТУВАННЯ АСУТП

1.1 Загальний опис технологічного об'єкту

Технологія виготовлення цегли складається з кількох етапів, кожен з яких відіграє важливу роль у забезпеченні якості та ефективності виробництва. Перший етап - підготовка сировини. На цьому етапі здійснюється збір необхідних компонентів, таких як глина, пісок, вапно та інші домішки. Ці матеріали змішуються з водою для створення пластичної маси, яка буде використовуватися для формування цегли.

Другий етап - формування цегли. На цьому етапі пластична маса вставляється в форми для цегли або проходить через екструдер, що формує цегли заданого розміру та форми. Екструдер пропускає сировину через шнековий механізм, який стискає і виштовхує її через отвори у встановленій формі цегли.

Третій етап - сушіння. Сформована цегла проходить через сушильний тунель, де відбувається процес видалення вологи. У тунелі розташовані спеціальні камери з контрольованою температурою та вентиляцією, які допомагають знизити вологість цегли до оптимального рівня.

Останні етапи - обпал і охолодження. Після сушіння цегла направляється до тунельної, камерної або кільцевої печі для обпалу. У процесі обпалу цегла нагрівається до високих температур, що сприяє зміцненню її структури та формуванню потрібних фізичних та хімічних властивостей. Після обпалу цегла охолоджується до прийнятної температури, щоб забезпечити стабільність та якість продукту.[1]

Кожний з цих етапів вимагає точного контролю та дотримання заданих параметрів, оскільки навіть невеликі відхилення можуть призвести до

					ТА92423.0006.001 АТХ.П	Лист
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дефектів або неприйнятної якості цегли. Технологія виготовлення цегли є складним процесом, але дотримання всіх етапів та контролю параметрів дозволяє отримати високоякісний продукт, який використовується в будівельній індустрії.

В різних галузях промисловості тунельні печі стали дуже популярними завдяки багатьом перевагам, зокрема неперервній роботі, високій продуктивності, ефективності використання палива, довговічності та можливості механізації та автоматизації процесу. Тунельні печі замінили менш ефективні камерні, кільцеві та газо-камерні печі. Хоча перші спроби створення тунельних печей були неуспішними, на початку 20 століття були розроблені нові моделі, що мали більшу надійність та продуктивність, наприклад, фірма Fougeron з Франції збудувала печі з пісочним затвором та бічними топками, що дозволило досягти успіху в їх застосуванні.

У подальшому розвитку тунельні печі стали більш універсальними і широко застосовуються в різних галузях промисловості, таких як виробництво кераміки, скла, цегли, плитки, металургії, харчової та лісопереробної промисловості та інших. Застосування тунельних печей дозволяє значно знизити витрати на виробництво продукції і покращити якість виробів завдяки більш точному контролю температури та процесу обпалу. Крім того, автоматизація тунельних печей забезпечує зниження ризику помилок в процесі виробництва та збільшення продуктивності. Таким чином, тунельні печі продовжують залишатися одними з найбільш ефективних та популярних засобів для обпалу різноманітних матеріалів.

Тунельна піч - це пристрій для випалу глинистих будівельних матеріалів, що працює неперервно. У цій печі продукти переміщуються вздовж прямого каналу, де вони зустрічаються з димовими газами. У каналі печі прокладена залізнична колія, по якій вагонетки з виробами переміщуються в піч через певний проміжок часу. Штовхачі вагонеток можуть бути механічними або гідравлічними, і працюють в режимі подавальників або періодичної дії.

					ТА92423.0006.001 АТХ.П	Лист
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Постійне штовхання збільшує термін експлуатації вагонеток, покращує рівномірність режиму випалювання та якість виробів, і знижує витрати на паливо. Після проходження всієї довжини тунелю, вагонетки виходять з печі на іншому кінці при кожному поштовхуванні. Випал глинистих будівельних матеріалів в тунельній печі - це останній етап виробництва цегляних блоків, який додає їм підвищену міцність і стійкість до різних механічних та хімічних впливів. Зображення тунельної печі на Рисунок 1.1.



Рисунок 1.1 - Тунельна піч

Тунельні печі є одними з найбільш ефективних і популярних типів промислових печей, що використовуються для випалу цегли. Вони забезпечують масове виробництво цегли шляхом пересування виробів через довгий канал, який складається з прямого каналу з залізничною колією. Процес випалу в тунельній печі складається з кількох етапів.

Перший етап - розігрівання: Початкова частина каналу використовується для розігрівання цегли. Цегла поміщається на вагонетки або спеціальні піддони, які поступово ведуться через піч. У цьому етапі цегла підігрівається до приблизно 120 градусів Цельсія, що дозволяє випарувати вологу, яка залишилася після сушіння.

Другий етап - основний випал: Після розігрівання цегла продовжує свій шлях через печ. Температура повільно підвищується до близько 600 градусів Цельсія. У цьому етапі відбувається видалення органічних домішок, рідини та інших легкозаймистих речовин, які містяться у цеглі. Також відбувається зв'язування глини, що призводить до набуття цеглою міцності і стійкості до зовнішніх впливів.

Третій етап - закінчення випалу і охолодження: Після досягнення необхідної температури випалу (зазвичай в межах 920-980 градусів Цельсія), цегла продовжує свій шлях через печ, де вона утримується протягом певного періоду часу, щоб досягти бажаної міцності і підготуватися до охолодження. Після закінчення випалу, печ повільно охолоджується або відбувається швидке охолодження за допомогою вентиляторів або інших систем охолодження. Цей процес дозволяє цеглі закріпити свою структуру та забезпечити однорідність та міцність.

Важливо зазначити, що процес випалу може бути різним для різних типів цегли, в залежності від їхнього складу, розміру та призначення. Деякі цегляні вироби можуть вимагати більш складних і тривалих процесів випалу з використанням спеціальних режимів нагрівання, охолодження або газового середовища.

В результаті випалу цегла отримує свою кінцеву міцність, структуру та властивості, що залежать від процесу випалу. Готові вироби можуть мати різний колір, текстуру та зовнішній вигляд залежно від використаної сировини та умов випалу.

Після випалу цегла готова до подальшого використання в будівництві, де вона використовується для створення стін, фасадів, перегородок та інших конструкцій. В разі необхідності глазурованої цегли, яка має гладку або блискучу поверхню, може здійснюватися додатковий процес випалу з використанням спеціальних глазурей та емалей.

					ТА92423.0006.001 АТХ.П	Лист
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загалом, технологія випалу цегли у тунельній печі є ефективним та масовим способом отримання високоякісних цегляних виробів з необхідними міцністю та стійкістю до навколишнього середовища властивостями.

Конструкція печі розділена на три зони:

- Підготовча зона прогріву;
- Основна зона випалу;
- Завершальна зона охолодження.

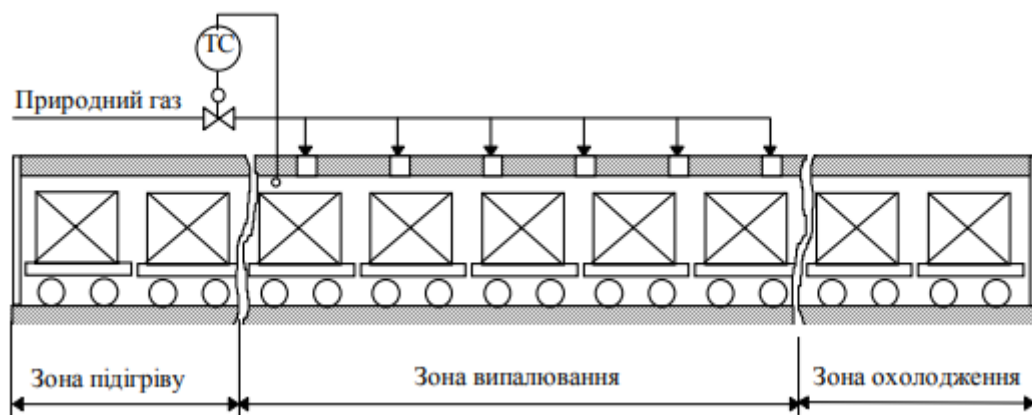


Рисунок 1.2 - Спрощений малюнок тунельної печі

Головна мета автоматизації тунельної печі для випалу цегли полягає у забезпеченні якісного протікання процесу випалу шляхом регулювання технологічних параметрів, що забезпечують плавне обпалювання цегляних виробів. Система автоматичного керування тунельною піччю повинна також бути оптимізована для підвищення якості та ефективності процесу.

Система автоматичного керування тунельною піччю для випалу цегли складається з двох рівнів. Нижній рівень відповідає за виконання рішень і включає компоненти автоматизації, такі як контролери, датчики, регулюючі пристрої, виконавчі механізми та інші. Верхній рівень представлений SCADA-системою, яка відповідає за моніторинг, архівування та відображення помилок та виключних ситуацій, а також надає інформацію про поточний стан системи[3].

Ця автоматична система керування дозволяє точно регулювати температуру, швидкість руху садків з цеглою, час випалу та інші параметри, необхідні для досягнення високої якості випалу цегли. Вона дозволяє забезпечити стабільність процесу, уникнути неправильного випалу цегли і зменшити відхилення в якості виробу. Вона також забезпечує збір даних, архівування і моніторинг процесу випалу, що дозволяє операторам контролювати та аналізувати дані, виявляти аномалії та вчасно реагувати на них. Вона допомагає забезпечити ефективне використання енергії та матеріалів, підвищити ефективність виробництва і зменшити витрати. Оператори можуть відстежувати і контролювати процес в режимі реального часу, а також аналізувати зібрані дані для вдосконалення процесу випалу цегли.

В цілому, система автоматичного управління тунельною піччю випалу цегли дозволяє досягнути стабільного та якісного процесу випалу, забезпечує оптимальне використання ресурсів та енергії, а також забезпечує зручний моніторинг та контроль за процесом. Це покращує продуктивність та ефективність виробництва цегли.

Крім автоматизації, важливим аспектом процесу випалу цегли є забезпечення відповідного контролю якості. У цей процес входить перевірка різних параметрів, таких як розміри, міцність, водопоглинання, морозостійкість та інші характеристики цегли. Для цього використовуються спеціалізовані лабораторні випробування та методи аналізу.

Також, з метою покращення якості випалу цегли в тунельній печі, можуть використовуватися додаткові технології та методи. Наприклад, впровадження системи рециркуляції газу дозволяє зменшити втрату тепла та забезпечити більш однорідний процес випалу. Також можуть використовуватися спеціальні покриття або просочення для підвищення міцності та захисту цегли від негативних впливів.

					ТА92423.0006.001 АТХ.П	Лист
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У сучасних тунельних печах для випалу цегли також можуть застосовуватися інноваційні матеріали, які сприяють поліпшенню процесу випалу та якості продукції. Наприклад, використання спеціальних вогнетривких матеріалів для внутрішнього покриття печі дозволяє зменшити вплив агресивних середовищ на піч та покращити її тривалість служби.

Важливо також враховувати екологічний аспект процесу випалу цегли. Розвиток екологічно чистих технологій та використання енергоефективних рішень дозволяють знизити вплив виробництва на навколишнє середовище. Впровадження систем очищення викидів та контролю за рівнем викидів шкідливих речовин допомагає зменшити забруднення повітря і зберегти природні ресурси. Наприклад, можуть використовуватися системи фільтрації та очищення газів, які знижують вміст шкідливих речовин у викидах. Також можуть застосовуватися енергоефективні технології, які дозволяють знизити споживання енергії та емісію викидів парникових газів.

Постійне вдосконалення технологій випалу цегли в тунельних печах відбувається через науково-дослідну роботу та впровадження інновацій. Це може включати в себе використання нових матеріалів, оптимізацію процесів, розробку нових методів контролю якості та автоматизації.

Наприклад, дослідження в галузі наноматеріалів можуть привести до розробки цегли з покращеними властивостями, такими як висока міцність та термостійкість. Також, впровадження сучасних методів моделювання та аналізу дозволяє точніше прогнозувати процеси випалу і покращити ефективність виробництва.

Усі ці інновації спрямовані на покращення процесу випалу цегли, забезпечення високої якості продукції, економії ресурсів та енергії, а також зниження негативного впливу на довкілля. Вони допомагають підвищити ефективність та конкурентоспроможність виробництва цегли, що є важливим аспектом в сучасній будівельній промисловості.

					ТА92423.0006.001 АТХ.П	Лист
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загалом, розвиток технологій випалу цегли в тунельних печах продовжується з метою поліпшення якості продукції, з окремим акцентом на підвищення автоматизації та оптимізації процесу. Це включає в себе використання передових систем керування та моніторингу, використання сенсорів та датчиків для збору даних, аналітичні інструменти для аналізу та оптимізації параметрів випалу, а також впровадження штучного інтелекту та машинного навчання для автоматичного прийняття рішень та адаптації процесу під змінні умови.

Наприклад, система машинного навчання може аналізувати великі обсяги даних про процес випалу, включаючи температуру, швидкість руху садків з цеглою, рівень газів та інші параметри. На основі цих даних система може самостійно виявляти паттерни, оптимізувати параметри випалу та робити прогнози для поліпшення якості виробу.

Також, зростає використання "інтернету речей" (Internet of Things, IoT) у тунельних печах. Це означає, що різні пристрої, сенсори та компоненти печі можуть бути підключені до мережі, обмінюватись даними та взаємодіяти між собою. Наприклад, сенсори можуть передавати дані про температуру, вологість, якість газу тощо до центральної системи керування, що дозволяє операторам миттєво відстежувати стан печі та приймати відповідні рішення.

Крім того, забезпечення безпеки та аварійного управління є важливим аспектом автоматизації тунельної печі. Системи безпеки можуть бути встановлені для виявлення небезпечних ситуацій, таких як перевищення температури, пожежа, прорив тиску чи інших непередбачуваних подій. Вони можуть автоматично спрацьовувати для відключення печі, активування системи пожежогасіння, повідомлення операторам про аварійні ситуації та надання вказівок для подальших дій.

Окрім автоматичного керування тунельною піччю, також можуть використовуватися інші технології для підвищення ефективності та якості процесу випалу цегли. Наприклад, впровадження системи рециркуляції тепла

					ТА92423.0006.001 АТХ.П	Лист
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дозволяє використовувати відходи тепла від печі для підігріву повітря або води, що зменшує споживання енергії та покращує економічну ефективність процесу.

Також важливим елементом автоматизації є використання роботизованих систем для завантаження та розвантаження цегли в піч. Роботи або автоматичні механізми можуть бути використані для ефективного та точного переміщення цегляних виробів всередині печі, забезпечуючи однорідний процес випалу та уникнення пошкоджень виробів.

У майбутньому можливими напрямками розвитку автоматизації тунельної печі для випалу цегли є використання штучного інтелекту для автоматичного аналізу та оптимізації параметрів процесу, використання більш прогресивних матеріалів для поліпшення якості продукції, а також впровадження розумних систем управління, які можуть працювати в режимі самонавчання та адаптуватись до змінних умов виробництва.

Загалом, автоматизація тунельної печі для випалу цегли має на меті покращення якості продукції, ефективності виробництва, безпеки та економічної ефективності. Вона дозволяє забезпечити стабільний та контрольований процес випалу цегли, зменшити відхилення в якості виробів і підвищити їхню якість.

Одним з можливих напрямків розвитку автоматизації тунельних печей є використання аналітики даних та штучного інтелекту для покращення процесу випалу цегли. Штучний інтелект може використовуватися для аналізу великих обсягів даних, зібраних під час випалу, з метою виявлення патернів, залежностей та оптимальних параметрів. Це дозволяє встановити оптимальні значення температури, швидкості руху садків з цеглою, тривалості випалу та інших параметрів, що сприяє досягненню найвищої якості продукції.

Крім того, розумні системи керування можуть використовувати передові алгоритми для прогнозування та управління процесом випалу цегли. Вони можуть враховувати зовнішні фактори, такі як погода або властивості

					ТА92423.0006.001 АТХ.П	Лист
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сировини, а також оптимізувати параметри випалу в реальному часі. Наприклад, система може автоматично адаптувати температуру або час випалу в залежності від зміни умов, що дозволяє забезпечити стабільний процес випалу навіть при змінних умовах.

1.2 Технологічних параметри АСУТП ТОУ

Таблиця 1.1 - Інформаційні функції

№	Назва параметру для виведення	Діапазон вимірювань у номінальному режимі	Допустиме відхилення
1	Температура у зоні підігріву	300÷600 °C	± 1%
2	Температура у зоні випалювання	700÷980 °C	± 1%
3	Температура у зоні охолодження	300÷600 °C	± 1%
4	Розрідження в зоні сушки	-20÷-10 кПа	± 2%
5	Витрата газу	17÷40 м ³ /год	± 2%
6	Тиск газу в трубопроводі	1.6÷2 МПа	± 3%
7	Тиск живильного повітря	1000÷1500 кПа	± 2%
8	Температура живильного повітря	5÷25 °C	± 2%
9	Температура повітря з зони підігріву	120÷150 °C	± 2%

Таблиця 1.2 - Перелік режимних параметрів

№	Назва параметру	Діапазон вимірювань у номінальному режимі	Допустиме відхилення
1	Температура у зоні випалювання	700÷980 °C	± 1%
2	Температура у зоні охолодження	300÷600 °C	± 1%
3	Температура в зоні сушки	120÷150 °C	± 1%
4	Розрідження в зоні сушки	-20÷-10кПа	± 2%

1.3 Функції АСУТП

Автоматична система управління реалізовує в собі наступні функції:

Управляючі функції:

- Одноконтурна стабілізація температури у зоні випалювання шляхом зміни витрати газу у зону випалювання
- Одноконтурна стабілізація температури у зоні охолодження шляхом надходження повітря у зону охолодження
- Одноконтурна стабілізація температури у зоні сушки шляхом відведення гарячого повітря з зони підігріву
- Одноконтурна стабілізація розрідження в зоні сушки шляхом обертання ротором димососу

Захисні функції:

- Сигналізація при перевищенні витрати природного газу
- Сигналізація при відмові димососу
- Сигналізація при відхиленні температури у зоні випалювання за межі допустимих значень

Інформаційні функції:

- Вимірювання температури у зоні підігріву
- Вимірювання температури у зоні випалювання
- Вимірювання температури у зоні охолодження
- Вимірювання розрідження в зоні сушки
- Вимірювання витрати газу
- Вимірювання витрати газу
- Вимірювання тиску газу у трубопроводі
- Вимірювання тиску живильного повітря
- Вимірювання температури живильного повітря
- Вимірювання температури з зони підігріву

					ТА92423.0006.001 АТХ.П	Лист
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.4 Схема автоматизації функціональна

Схематична функціональна схема АСУ піччю для випалювання цегли

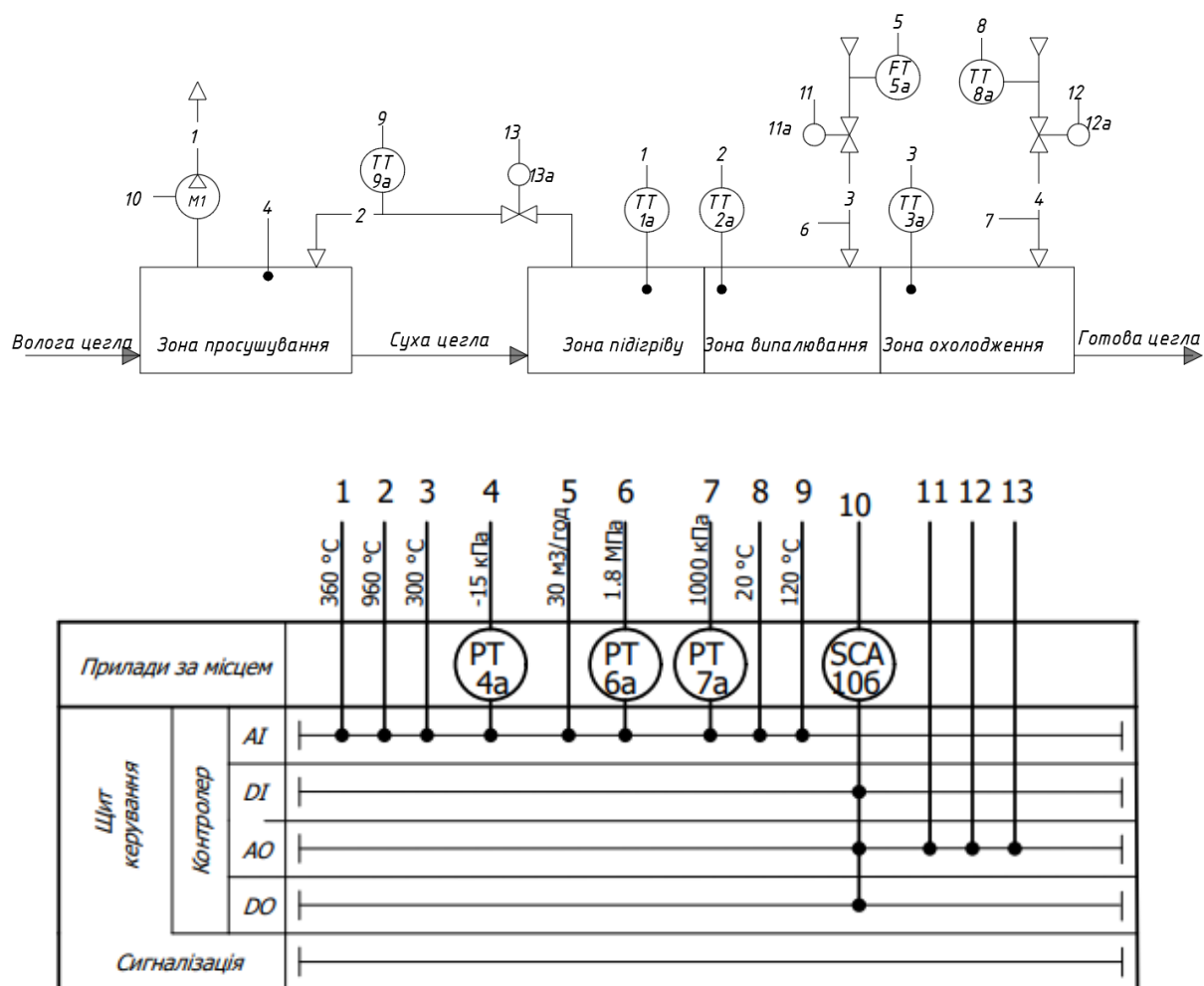


Рисунок 1.3 - Функціональна схема АСУ піччю для випалювання цегли

Під час дослідження технологічного об'єкту була побудована функціональна схема тунельної печі для випалювання цегли. На цій схемі схематично зображена тунельна піч і позначено усі елементи, що використовується в цій печі, а саме – виконавчі механізми і датчики.

Піч для випалу глиняних виробів, яка була розроблена, складається зі складових, взаємозалежних блоків, що гарантують оптимальну продуктивність і якість процесу. Перший блок - сушильна камера, залежить від роботи печі, оскільки гаряче повітря, що надходить з печі, використовується для просушування вологої цегли перед подальшим випалом.

Після проходження процесу сушіння, цегла потрапляє в тунельну піч для випалу.

Сама піч складається з трьох секцій, кожна з яких відіграє важливу роль у формуванні якісної продукції. Перша секція - підігрів, відповідає за рівномірне і поступове нагрівання цегли перед випалом. Цей етап дозволяє уникнути раптових змін температури, що можуть призвести до пошкоджень цегли.

Друга секція - випалювання, є основною частиною процесу. В цій зоні цегла піддається високим температурам, що сприяють відпалу глини та утворенню стійкої твердої структури. Наявність правильного температурного режиму та контрольованого періоду часу гарантує досягнення необхідних властивостей глиняних виробів.

Остання секція - охолодження, відповідає за поступове зниження температури цегли після випалу. Цей етап важливий, оскільки він дозволяє уникнути деформацій та розколів, що можуть виникнути при швидкому охолодженні.

Загальна робота і взаємозв'язок усіх трьох зон печі забезпечують якісний процес випалу глиняних виробів. Суха цегла, яка пройшла через сушильну камеру та тунельну піч, отримує необхідну міцність, стійкість та естетичний вигляд завдяки докладному виконанню кожного етапу.

Контрольований процес підігріву дозволяє плавно підготувати цеглу до високих температур, що забезпечує її рівномірне нагрівання та уникнення недоліків у структурі. Важливо забезпечити оптимальну температуру під час випалювання, щоб забезпечити повну реакцію глини та вироблення потрібних хімічних зв'язків. Після випалу, етап охолодження відіграє важливу роль у забезпеченні контрольованого зниження температури, що дозволяє уникнути дефектів та забезпечити стабільність форми.

Уважне планування та виконання кожного етапу печі для випалу глиняних виробів забезпечує високу якість продукції. Дана функціональна схема, яка

					ТА92423.0006.001 АТХ.П	Лист
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

включає всі виконавчі елементи та датчики, дозволяє забезпечити точний контроль над процесом та ефективно виконати необхідні функції. Зроблена робота вирішує ключові завдання, пов'язані з випалом глиняних виробів, і є важливим кроком у досягненні високої якості та довговічності цих виробів.

Для забезпечення контролю над температурою та іншими параметрами в різних зонах печі для випалу глиняних виробів використовуються різні типи датчиків та прилади. Температура в кожній зоні пічі, такі як зона підігріву, зона випалювання та зона охолодження, вимірюється за допомогою термопар типу ТХА, які мають діапазон виміру від -40°C до 1200°C (позиції: 1а, 2а і 3а). Також вимірюються температури у повітропроводах за допомогою термопар типу ТХК з діапазоном виміру від -40°C до 600°C (8а, 9а).

Окрім вимірювання температури, також важливо контролювати інші параметри. Витрата газу вимірюється за допомогою вихрового витратоміра (5а). Розрідження у зоні сушки вимірюється давачем РТ (4а). Тиск у газопроводі контролюється за допомогою манометра (6а), а тиск у повітропроводі вимірюється монометром (7а).

Усі давачі, крім давачів термопар 1а, 2а і 3а, мають уніфікований вихідний сигнал 4-20 мА. Це означає, що вони віддають сигнал зі стандартизованим діапазоном значень, що варіюються від 4 до 20 мА, який може бути інтерпретований контролером. Для перетворення вихідного сигналу давачів термопар 1а, 2а і 3а в уніфікований сигнал використовується нормуючий перетворювач з уніфікованим вихідним сигналом 4-20 мА.

Усі виходи давачів підключаються до аналогових входів контролера, що дозволяє збирати та обробляти дані з кожного датчика для подальшого контролю та керування процесом випалу глиняних виробів. Контролер отримує сигнали від датчиків і аналізує їх значення, дозволяючи реагувати на будь-які зміни у параметрах печі та вживати відповідних заходів.

За допомогою термопар, вимірювачів витрати газу та давачів тиску, система контролю забезпечує точну інформацію про температуру, витрату

					ТА92423.0006.001 АТХ.П	Лист
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

газу та розрідження у зоні сушки. Це дозволяє підтримувати оптимальні умови для процесу випалу глиняних виробів і уникнути потенційних проблем.

Уніфіковані вихідні сигнали давачів спрощують процес збору даних, оскільки вони можуть бути однаково інтерпретовані контролером. Це спрощує налаштування системи контролю та полегшує збір та обробку даних з різних датчиків.

Завдяки використанню цієї функціональної схеми зі збором даних від різних датчиків, можливо досягти високої автоматизації процесу випалу глиняних виробів. Контролер забезпечує постійний моніторинг та реагує на зміни, забезпечуючи оптимальні умови для досягнення якісної продукції.

Дана схема була виконана у форматі А3 та прикріплена до даного дипломного проекту.

					ТА92423.0006.001 АТХ.П	Лист
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.5 Опис схеми структурної ПТК АСУТП піччі

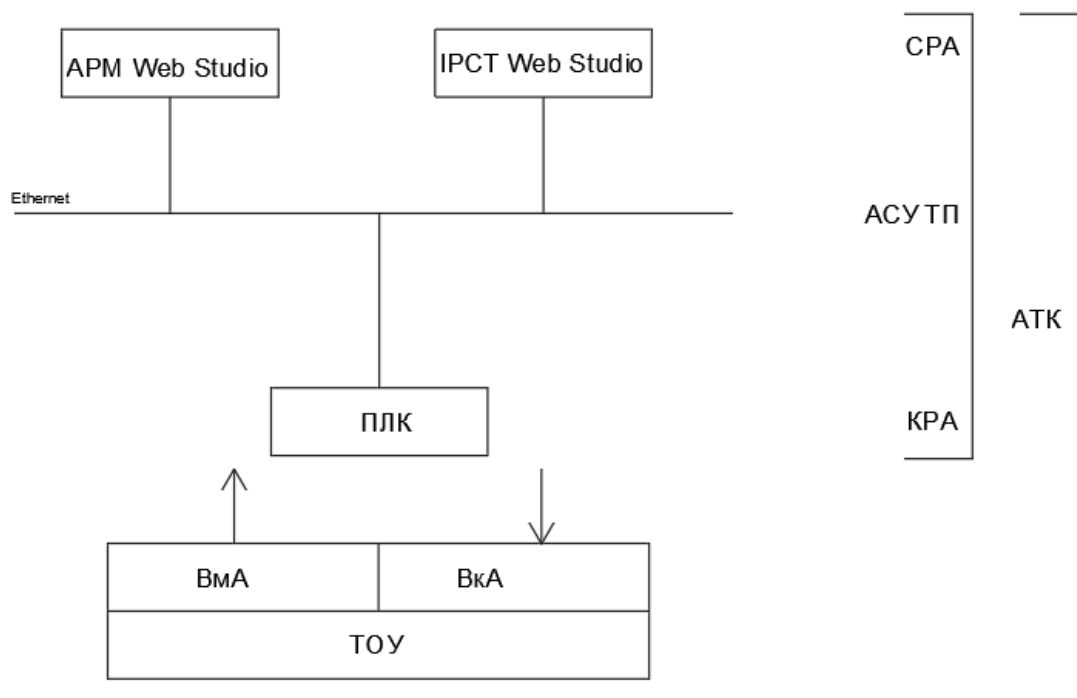


Рисунок 1.4 – Схема структурна

- ТОУ – технологічний об'єкт управління (піч для випалення цегли)
- ВмА – вимірювальна апаратура
- ВкА – виконавча апаратура
- ПЛК – програмований логічний контролер
- АРМ – автоматизоване робоче місце
- ІРСТ – інженерна робоча станція
- СРА – supervisory рівень автоматизації
- АСУ ТП – автоматизована система управління технологічними процесами
- КРА – контролерний рівень автоматизації
- АТК – автоматизований технічний комплекс

1.6 Перелік і аналіз джерел техніко-економічної ефективності АТК ТОУ

Економічна ефективність АТК пічних систем досягається шляхом зниження витрат енергоносіїв (зокрема палива в полумєневих печах) на одиницю виробленої продукції. Це досягається завдяки поліпшенню якості стабілізації теплового (температурного і гідравлічного) режиму печей за допомогою високоточного вимірювання технологічних параметрів, точного та недостатньо чутливого до збурень параметрів регулювання режимних параметрів, а також надійної реалізації інформаційних та управляючих функцій автоматизованої системи управління технологічним процесом (АСУТП).

Результатом цього покращення є зниження собівартості виробленої продукції, що призводить до отримання підприємством більшого прибутку. Цей прибуток може бути вкладений в розвиток людського потенціалу та матеріально-технічну базу підприємства.

					ТА92423.0006.001 АТХ.П	Лист
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2 ІНЖЕНЕРНИЙ РОЗРАХУНОК САР

2.1 Інженерний розрахунок вимірювальних каналів САР

2.1.1 Перелік вимірювальних каналів (ВК)

- ВК температури в зоні підігріву
- ВК температури в зоні випалювання
- ВК температури в зоні охолодження
- ВК температури повітря з зони підігріву
- ВК температури повітря в трубопроводі
- ВК тиску у газопроводі
- ВК тиску у повітропроводі
- ВК тиску у зоні сушки
- ВК витрати газу на пальниках

2.1.2 Схеми структурні вимірювальних каналів

ВК температури в зоні підігріву, °С

Структурна схема ВК температури в зоні підігріву зображена на рисунку 2.1



Рисунок 2.1 - Структурна схема ВК температури в зоні підігріву

Д – термопара ТХА з природнім вихідним сигналом,

					ТА92423.0006.001 АТХ.П	Лист
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

НП – нормуючий перетворювач, вихідний сигнал 4... 20мА,

ПЛК – програмований логічний контролер;

РП – реєструючий прилад.

ВК температури в зоні випалювання, °С

Структурна схема ВК температури в зоні підігріву зображена на рисунку 2.2



Рисунок 2.2 - Структурна схема ВК температури в зоні підігріву

Д – термопара ТХА з природнім вихідним сигналом,

НП – нормуючий перетворювач, вихідний сигнал 4... 20мА,

ПЛК – програмований логічний контролер;

РП – реєструючий прилад.

ВК температури в зоні охолодження, °С

Структурна схема ВК температури в зоні підігріву зображена на рисунку 2.3



Рисунок 2.3 – Структурна схема ВК температури в зоні підігріву

Д – термопара ТХА з природнім вихідним сигналом,

НП – нормуючий перетворювач, вихідний сигнал 4... 20мА,

ПЛК – програмований логічний контролер;

РП – реєструючий прилад.

ВК температури повітря з зони підігріву, °С

Структурна схема ВК температури в трубопроводі з зони підігріву в зону сушки зображена на рисунку 2.4.

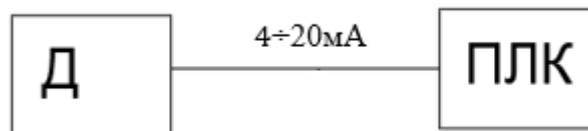


Рисунок 2.4 – Структурна схема ВК температури з зоні підігріву

Д – термопара ТХК з уніфікованим вихідним сигналом 4...20мА

ПЛК – програмований логічний контролер

ВК температури повітря в трубопроводі, °С

Структурна схема ВК температури повітря в трубопроводі зображена на Рисунок 2.5.

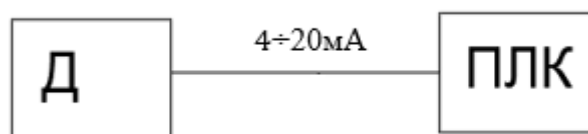


Рисунок 2.5 - Структурна схема ВК температури повітря в трубопроводі

Д – термопара ТХК з уніфікованим вихідним сигналом 4...20мА

ПЛК – програмований логічний контролер

ВК тиску у газопроводі, кПа

Структурна схема ВК тиску у газопроводі зображена на рисунку 2.6.

					ТА92423.0006.001 АТХ.П	Лист
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

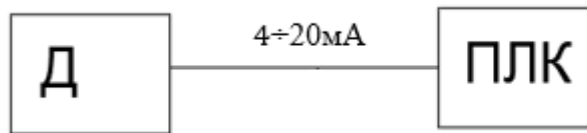


Рисунок 2.6 - Структурна схема ВК тиску у газопроводі

Д – манометр з уніфікованим вихідним сигналом 4...20мА

ПЛК – програмований логічний контролер

ВК тиску у повітропроводі, кПа

Структурна схема ВК тиску у газопроводі зображена на рисунку 2.7.

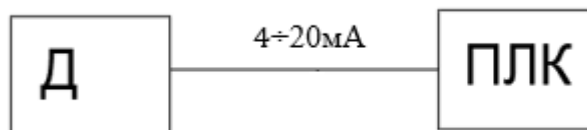


Рисунок 2.7 - Структурна схема ВК тиску у повітропроводі

Д – манометр з уніфікованим вихідним сигналом 4...20мА

ПЛК – програмований логічний контролер

ВК тиску у зоні сушки, кПа

Структурна схема ВК тиску у газопроводі зображена на рисунку 2.8.

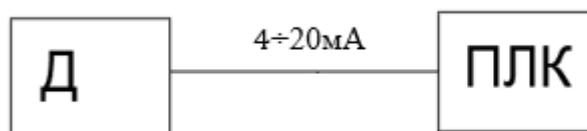


Рисунок 2.8 - Структурна схема ВК тиску у зоні сушки

Д – манометр з уніфікованим вихідним сигналом 4...20мА

ПЛК – програмований логічний контролер

ВК витрати газу на пальниках, $\frac{\text{м}^3}{\text{год}}$

Структурна схема ВК витрати газу на пальниках зображена на рисунку 2.9.

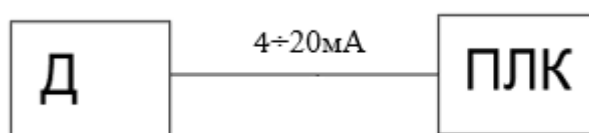


Рисунок 2.9 - Структурна схема ВК витрати газу на пальниках

Д – вихровий витратомір з уніфікованим вихідним сигналом 4...20мА

ПЛК – програмований логічний контролер

2.1.3 Опис схем функціональних ВК САР

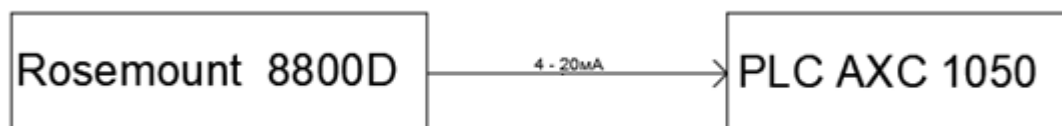


Рисунок 2.10 - Структура ВК витрати газу

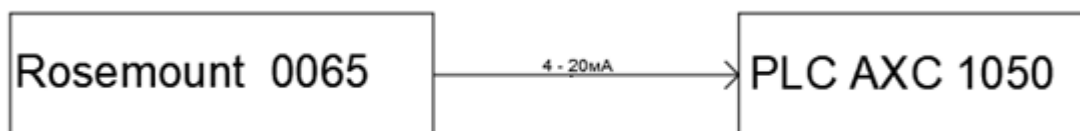


Рисунок 2.11 - Структура ВК температур в трубопроводі і з зони підігріву

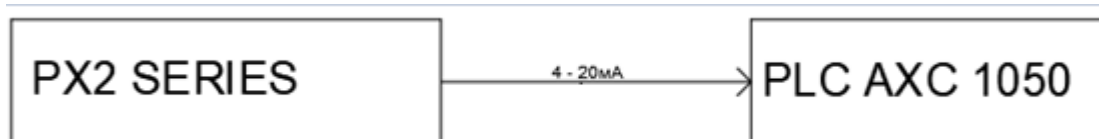


Рисунок 2.12 - Структура ВК тисків у газо- і повітропроводі

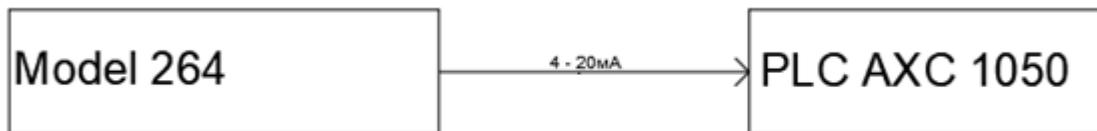


Рисунок 2.13 - Структура ВК розрідження у зоні сушки

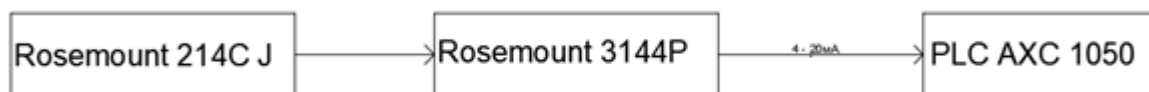


Рисунок 2.14 - Структура ВК температур в зонах підігріву та охолодження

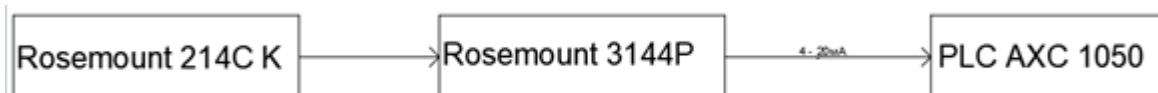


Рисунок 2.15 - Структура ВК температури в зоні випалювання

В якості контролера був обраний АХС 1050 від німецької компанії Phoenix Contact. Він є відмінним вибором для пічних систем з кількох причин:

1. Процесор і продуктивність: Контролер АХС 1050 має потужний процесор, що дозволяє ефективно управляти пічною системою. Він забезпечує швидку обробку даних і виконання розрахунків, що є важливим для оптимального контролю температури та інших параметрів пічної системи.
2. Розширюваність: Контролер АХС 1050 має розширювану архітектуру, що дозволяє підключати додаткові модулі та розширювати його функціональні можливості. Це дозволяє вам налаштовувати контролер під свої потреби і вимоги пічної системи.
3. Комунікаційні можливості: АХС 1050 підтримує різні протоколи зв'язку, такі як Modbus, OPC UA, BACnet і інші, що дозволяє зручно інтегрувати контролер з іншими пристроями та системами. Це важливо для забезпечення комунікації та обміну даними між пічною системою та іншими компонентами автоматизації.
4. Надійність: Контролер АХС 1050 відомий своєю надійністю та стабільністю роботи. Він розроблений з використанням якісних компонентів та має вбудовані заходи для забезпечення безпеки та захисту даних. Це важливо для безперебійної та надійної роботи пічної системи.

5. Простота використання: Контролер АХС 1050 має зручний інтерфейс програмування та конфігурації, що дозволяє легко налаштовувати його та керувати пічною системою. Це забезпечує зручну і просту роботу з контролером для операторів пічної системи.

Використання контролера АХС 1050 для пічних систем дозволяє отримати надійний, ефективний і гнучкий контроль над процесом нагріву та регулювання параметрів пічі для досягнення оптимальних результатів та забезпечення безпеки та продуктивності.

2.1.4 Особливості електричних підключень давачів вимірювальних каналів

Термопара Rosemount 214С по своїй будові мають 2 контакти: + та -, ці контакти підключаються до нормуючого перетворювача Rosemount 3144Р, який в свою чергу має контакти 1,2,+,-, відповідно до контактів + та -, а контакти НП 1 і 2 – до аналогових входів контролера.

Датчик тиску PX2 SERIES має три контакти: А, В, С. Контакт А заземлюється, контакт В призначений для живлення, тому підключаємо до контакту + блоку живлення, а контакт С – до аналогового входу контролера.

Датчик Model 264 по аналогії з PX2 SERIES має три контакти: OUT, EXC, COM. Контакт OUT підключається до аналогового входу контролера, COM заземлюється, а EXC призначений для живлення, тому підключаємо до контакту + блока живлення.

Датчик температури Rosemount 0065 має 4 контакти. Контакти 1 і 3 підключаємо до аналогових входів контролера.

Витратомір Rosemount 8800D має 4 контакти, контакт 1 підключаємо до аналогового входу контролера, 2 – до контакту + блока живлення і 4 – заземлюємо.

					ТА92423.0006.001 АТХ.П	Лист
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.1.5 Монтаж технічних засобів вимірювальних каналів

Термопари Rosemount 214С в зоні печі, а саме в зонах підігріву, випалювання і охолодження, встановлюються за допомогою металевих конструкцій:

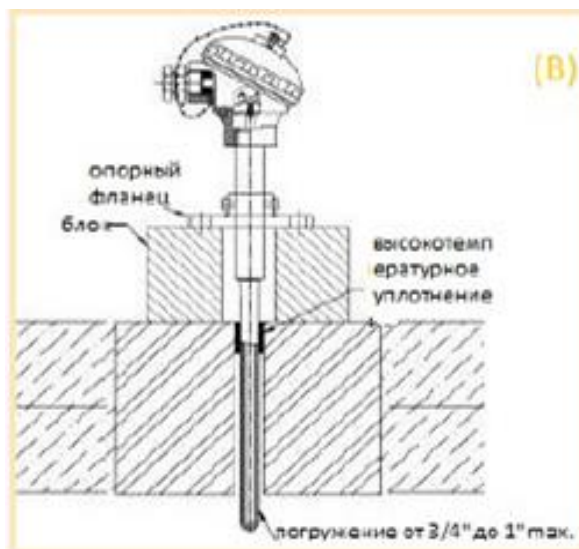


Рисунок 2.16 – Монтаж термопари в піч

Монтаж датчиків температури Rosemount 0065 в трубопроводі здійснюється так:



Рисунок 2.17 – Монтаж датчиків температури в трубопроводі

Монтаж датчиків тиску PX2 SERIES здійснюється за допомогою вкручення датчиків тиску в трубу:

					ТА92423.0006.001 АТХ.П	Лист
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

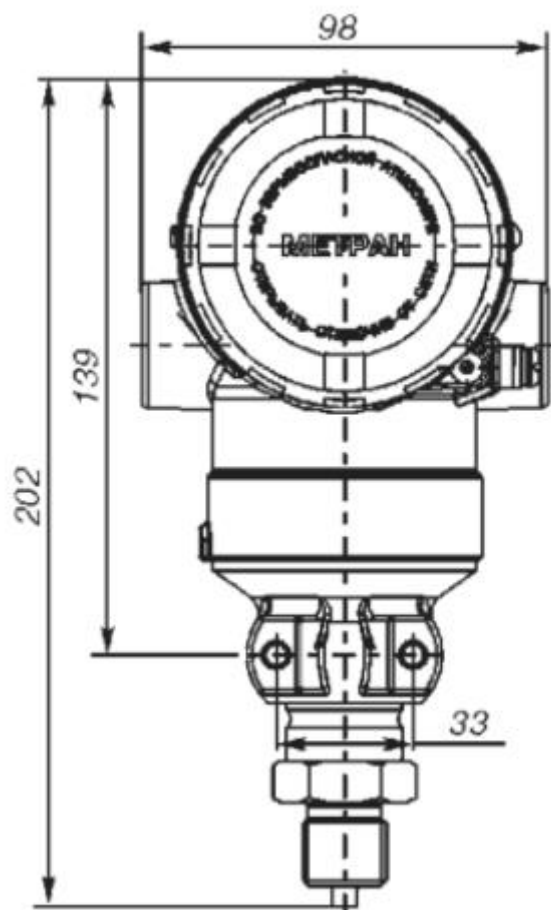


Рисунок 2.18 – Монтаж давачів тиску в трубу

Монтаж витратоміра Rosemount 8800D здійснюється наступним чином:

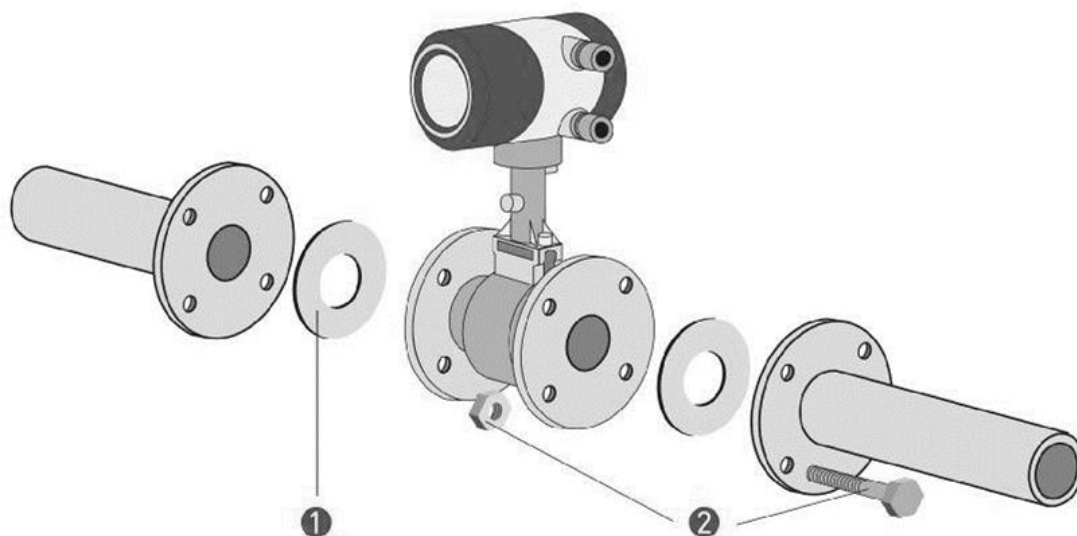


Рисунок 2.19 – Монтаж витратоміра

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ТА92423.0006.001 АТХ.П

Лист

35

2.1.6 Схеми структурні надійності вимірювальних каналів

Схеми структурні надійності вимірювальних каналів зображений на Рисунок



Рисунок 2.20 – структурні схеми надійності вимірювальних параметрів

Д - давач

НП – нормуючий перетворювач

ПЛК – програмований логічний контролер

2.1.7 Метрологічний розрахунок вимірювальних каналів

Розрахунок ВК температури в зоні підігріву

Межа основної приведенної похибки давача:

$$\varepsilon_{\text{д}} = 0,4 \%$$

Межа основної приведенної похибки нормуючого перетворювача:

$$\varepsilon_{\text{нп}} = 0,125 \%$$

Межа основної приведенної похибки контролера:

$$\varepsilon_{\text{плк}} = 0,1\%$$

Межа основної допустимої приведенної похибки каналу давач-контролер:

$$\varepsilon = \sqrt{\sum_i^n \varepsilon_i^2} = \sqrt{\varepsilon_d^2 + \varepsilon_{нп}^2 + \varepsilon_{плк}^2} = \sqrt{0,4^2 + 0,125^2 + 0,1^2} = 0,43\%$$

Межа абсолютної похибки каналу давач-контролер:

$$\Delta = \varepsilon \cdot (X_{max} - X_{min}) \cdot \frac{1}{100} = 0,43 \cdot (760 + 40) \cdot \frac{1}{100} = 3,4^\circ\text{C}$$

Результат розрахунків за каналом давач-контролер:

$$t = t_0 \pm \Delta = t_0 \pm 3,4^\circ\text{C}$$

Розрахунок ВК температури в зоні випалювання

Межа основної приведенної похибки давача:

$$\varepsilon_d = 0,75 \%$$

Межа основної приведенної похибки нормуючого перетворювача:

$$\varepsilon_{нп} = 0,125 \%$$

Межа основної приведенної похибки контролера:

$$\varepsilon_{плк} = 0,1\%$$

Межа основної допустимої приведенної похибки каналу давач-контролер:

$$\varepsilon = \sqrt{\sum_i^n \varepsilon_i^2} = \sqrt{\varepsilon_d^2 + \varepsilon_{нп}^2 + \varepsilon_{плк}^2} = \sqrt{0,75^2 + 0,125^2 + 0,1^2} = 0,767\%$$

Межа абсолютної похибки каналу давач-контролер:

$$\Delta = \varepsilon \cdot (X_{max} - X_{min}) \cdot \frac{1}{100} = 0,767 \cdot (1200 + 40) \cdot \frac{1}{100} = 9,5^\circ\text{C}$$

Результат розрахунків за каналом давач-контролер:

					ТА92423.0006.001 АТХ.П	Лист
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$t = t_0 \pm \Delta = t_0 \pm 9,5^{\circ}\text{C}$$

Розрахунок ВК температури в зоні охолодження

Межа основної приведенної похибки давача:

$$\varepsilon_d = 0,4 \%$$

Межа основної приведенної похибки нормуючого перетворювача:

$$\varepsilon_{\text{нп}} = 0,125 \%$$

Межа основної приведенної похибки контролера:

$$\varepsilon_{\text{плк}} = 0,1\%$$

Межа основної допустимої приведенної похибки каналу давач-контролер:

$$\varepsilon = \sqrt{\sum_i^n \varepsilon_i^2} = \sqrt{\varepsilon_d^2 + \varepsilon_{\text{нп}}^2 + \varepsilon_{\text{плк}}^2} = \sqrt{0,4^2 + 0,125^2 + 0,1^2} = 0,43\%$$

Межа абсолютної похибки каналу давач-контролер:

$$\Delta = \varepsilon \cdot (X_{\text{max}} - X_{\text{min}}) \cdot \frac{1}{100} = 0,43 \cdot (760 + 40) \cdot \frac{1}{100} = 3,4^{\circ}\text{C}$$

Результат розрахунків за каналом давач-контролер:

$$t = t_0 \pm \Delta = t_0 \pm 3,4^{\circ}\text{C}$$

Розрахунок ВК розрідження у зоні сушки

Межа основної приведенної похибки давача:

$$\varepsilon_d = 0,25 \%$$

Межа основної приведенної похибки контролера:

$$\varepsilon_{\text{плк}} = 0,1\%$$

Межа основної допустимої приведенної похибки каналу давач-контролер:

					ТА92423.0006.001 АТХ.П	Лист
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\varepsilon = \sqrt{\sum_i^n \varepsilon_i^2} = \sqrt{\varepsilon_d^2 + \varepsilon_{\text{плк}}^2} = \sqrt{0,25^2 + 0,1^2} = 0,27\%$$

Межа абсолютної похибки каналу давач-контролер:

$$\Delta = \varepsilon \cdot (X_{\text{max}} - X_{\text{min}}) \cdot \frac{1}{100} = 0,27 \cdot (10 + 0) \cdot \frac{1}{100} = 0,027 \text{ кПа}$$

Результат розрахунків за каналом давач-контролер:

$$P = P_0 \pm \Delta = P_0 \pm 0,35 \text{ кПа}$$

Розрахунок ВК витрати газу

Межа основної приведеної похибки давача:

$$\varepsilon_d = 1 \%$$

Межа основної приведеної похибки контролера:

$$\varepsilon_{\text{плк}} = 0,1\%$$

Межа основної допустимої приведеної похибки каналу давач-контролер:

$$\varepsilon = \sqrt{\sum_i^n \varepsilon_i^2} = \sqrt{\varepsilon_d^2 + \varepsilon_{\text{плк}}^2} = \sqrt{1^2 + 0,1^2} = 1,005\%$$

Межа абсолютної похибки каналу давач-контролер:

$$\Delta = \varepsilon \cdot (X_{\text{max}} - X_{\text{min}}) \cdot \frac{1}{100} = 1,005 \cdot (47,3 - 1,41) \cdot \frac{1}{100} = 0,47 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$$

Результат розрахунків за каналом давач-контролер:

$$Q = Q_0 \pm \Delta = Q_0 \pm 0,47 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$$

					ТА92423.0006.001 АТХ.П	Лист
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок ВК тиску у газопроводі

Межа основної приведенної похибки давача:

$$\varepsilon_d = 0,25 \%$$

Межа основної приведенної похибки контролера:

$$\varepsilon_{плк} = 0,1\%$$

Межа основної допустимої приведенної похибки каналу давач-контролер:

$$\varepsilon = \sqrt{\sum_i^n \varepsilon_i^2} = \sqrt{\varepsilon_d^2 + \varepsilon_{рп}^2} = \sqrt{0,25^2 + 0,1^2} = 0,27\%$$

Межа абсолютної похибки каналу давач-контролер:

$$\Delta = \varepsilon \cdot (X_{max} - X_{min}) \cdot \frac{1}{100} = 0,27 \cdot (2000 + 0) \cdot \frac{1}{100} = 5,4 \text{ кПа}$$

Результат розрахунків за каналом давач-контролер:

$$P = P_0 \pm \Delta = P_0 \pm 5,4 \text{ кПа}$$

Розрахунок ВК тиску у повітропроводі

Межа основної приведенної похибки давача:

$$\varepsilon_d = 0,25 \%$$

Межа основної приведенної похибки контролера:

$$\varepsilon_{плк} = 0,1\%$$

Межа основної допустимої приведенної похибки каналу давач-контролер:

$$\varepsilon = \sqrt{\sum_i^n \varepsilon_i^2} = \sqrt{\varepsilon_d^2 + \varepsilon_{рп}^2} = \sqrt{0,25^2 + 0,1^2} = 0,27\%$$

Межа абсолютної похибки каналу давач-контролер:

					ТА92423.0006.001 АТХ.П	Лист
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta = \varepsilon \cdot (X_{max} - X_{min}) \cdot \frac{1}{100} = 0,27 \cdot (2000 + 0) \cdot \frac{1}{100} = 5,4 \text{ кПа}$$

Результат розрахунків за каналом давач-контролер:

$$P = P_0 \pm \Delta = P_0 \pm 5,4 \text{ кПа}$$

Розрахунок ВК температури повітря з зони підігріву

Межа основної приведенної похибки давача:

$$\varepsilon_d = 0,4 \%$$

Межа основної приведенної похибки контролера:

$$\varepsilon_{плк} = 0,1\%$$

Межа основної допустимої приведенної похибки каналу давач-контролер:

$$\varepsilon = \sqrt{\sum_i^n \varepsilon_i^2} = \sqrt{\varepsilon_d^2 + \varepsilon_{плк}^2} = \sqrt{0,4^2 + 0,1^2} = 0,41\%$$

Межа абсолютної похибки каналу давач-контролер:

$$\Delta = \varepsilon \cdot (X_{max} - X_{min}) \cdot \frac{1}{100} = 0,41 \cdot (450 + 50) \cdot \frac{1}{100} = 2^\circ\text{C}$$

Результат розрахунків за каналом давач-контролер:

$$t = t_0 \pm \Delta = t_0 \pm 2^\circ\text{C}$$

Розрахунок ВК температури повітря в трубопроводі

Межа основної приведенної похибки давача:

$$\varepsilon_d = 0,4 \%$$

Межа основної приведенної похибки контролера:

$$\varepsilon_{плк} = 0,1\%$$

Межа основної допустимої приведенної похибки каналу давач-контролер:

					ТА92423.0006.001 АТХ.П	Лист
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\varepsilon = \sqrt{\sum_i^n \varepsilon_i^2} = \sqrt{\varepsilon_d^2 + \varepsilon_{pp}^2} = \sqrt{0,4^2 + 0,1^2} = 0,41\%$$

Межа абсолютної похибки каналу давач-контролер:

$$\Delta = \varepsilon \cdot (X_{max} - X_{min}) \cdot \frac{1}{100} = 0,41 \cdot (450 + 50) \cdot \frac{1}{100} = 2^\circ\text{C}$$

Результат розрахунків за каналом давач-контролер:

$$t = t_0 \pm \Delta = t_0 \pm 2^\circ\text{C}$$

2.1.8 Розрахунок надійності вимірювальних каналів

Розрахунок надійності для ВК термопар для печі в зонах підігріву, випалення та охолодження

Інтенсивність відмов:

$$\lambda = \frac{1}{60000} = 1,67 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{год}}; \lambda_{\text{плк}} = \lambda_{\text{рп}} = \frac{1}{40000} = 2,5 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{год}};$$

Середній час напрацювання на відмову:

$$T = 60000 \text{ год}; T_{\text{плк}} = 40000 \text{ год};$$

$$T_{\text{ср,д-плк}} = \frac{T * T_{\text{плк}}}{T + T_{\text{плк}}} = \frac{40000 * 60000}{40000 + 60000} = 24000 \text{ год}$$

Імовірність безвідмовної роботи ССН за період часу $\tau = 720$ год:

$$P_{\delta\text{д-}, \text{плк}}(\tau) = e^{\frac{-\tau}{T_{\text{ср}}}} = e^{-\frac{720}{24000}} = 0,97$$

Середній час відновлення працездатності ВК при $K_{\text{гот}} = 0,995$:

$$K_{\text{гот}} = \frac{T_{\text{ср}}}{T_{\text{ср}} + T_{\text{в}}} \rightarrow T_{\text{в}} = \frac{T_{\text{ср}}}{K_{\text{гот}}^*} - T_{\text{ср}}$$

					ТА92423.0006.001 АТХ.П	Лист
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T_{в, д-плк} = \frac{24000}{0,995} - 24000 = 120 \text{ год}$$

Розрахунок надійності для ВК тиску в трубопроводах

Інтенсивність відмов:

$$\lambda = \frac{1}{130000} = 0,77 * 10^{-5} \frac{1}{\text{год}}; \lambda_{плк} = \lambda_{рп} = \frac{1}{40000} = 2 * 10^{-5} \frac{1}{\text{год}};$$

Середній час напрацювання на відмову:

$$T = 130000 \text{ год}; T_{плк} = 40000 \text{ год};$$

$$T_{ср, д-плк} = \frac{T * T_{плк}}{T + T_{плк}} = \frac{40000 * 130000}{40000 + 130000} = 30588 \text{ год}$$

Імовірність безвідмовної роботи ССН за період часу $\tau = 720$ год:

$$P_{\delta, д-плк} = e^{\frac{-\tau}{T_{ср}}} = e^{-\frac{720}{30588}} = 0,977$$

Середній час відновлення працездатності ВК при $K_{гот} = 0,995$:

$$K_{гот} = \frac{T_{ср}}{T_{ср} + T_{в}} \rightarrow T_{в} = \frac{T_{ср}}{K_{гот}} - T_{ср}$$

$$T_{в, д-плк} = \frac{30588}{0,995} - 30588 = 154 \text{ год}$$

Розрахунок надійності для ВК температури повітря з зони підігріву і в трубопроводі

Інтенсивність відмов:

$$\lambda = \frac{1}{41300} = 2,42 * 10^{-6} \frac{1}{\text{год}}; \lambda_{плк} = \lambda_{рп} = \frac{1}{40000} = 2,5 * 10^{-5} \frac{1}{\text{год}};$$

Середній час напрацювання на відмову:

$$T = 41300 \text{ год}; T_{плк} = 40000 \text{ год};$$

					ТА92423.0006.001 АТХ.П	Лист
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T_{\text{ср,д-плк}} = \frac{T * T_{\text{плк}}}{T + T_{\text{плк}}} = \frac{40000 * 41300}{40000 + 41300} = 20319 \text{ год}$$

Імовірність безвідмовної роботи ССН за період часу $\tau = 720$ год:

$$P_{\delta, \text{д-плк}} = e^{\frac{-\tau}{T_{\text{ср}}}} = e^{-\frac{720}{20319}} = 0,965$$

Середній час відновлення працездатності ВК при $K_{\text{гот}} = 0,995$:

$$K_{\text{гот}} = \frac{T_{\text{ср}}}{T_{\text{ср}} + T_{\text{в}}} \rightarrow T_{\text{в}} = \frac{T_{\text{ср}}}{K_{\text{гот}}^*} - T_{\text{ср}}$$

$$T_{\text{в, д-плк}} = \frac{20319}{0,995} - 20319 = 102 \text{ год}$$

Розрахунок надійності для ВК витрати газу

Інтенсивність відмов:

$$\lambda = \frac{1}{130000} = 0,77 * 10^{-5} \frac{1}{\text{год}}; \lambda_{\text{плк}} = \lambda_{\text{рп}} = \frac{1}{40000} = 2 * 10^{-5} \frac{1}{\text{год}};$$

Середній час напрацювання на відмову:

$$T = 130000 \text{ год}; T_{\text{плк}} = T_{\text{рп}} = 40000 \text{ год};$$

$$T_{\text{ср,д-плк}} = \frac{T * T_{\text{плк}}}{T + T_{\text{плк}}} = \frac{40000 * 130000}{40000 + 130000} = 30588 \text{ год}$$

Імовірність безвідмовної роботи ССН за період часу $\tau = 720$ год:

$$P_{\delta, \text{д-плк}} = e^{\frac{-\tau}{T_{\text{ср}}}} = e^{-\frac{720}{30588}} = 0,977$$

Середній час відновлення працездатності ВК при $K_{\text{гот}} = 0,995$:

$$K_{\text{гот}} = \frac{T_{\text{ср}}}{T_{\text{ср}} + T_{\text{в}}} \rightarrow T_{\text{в}} = \frac{T_{\text{ср}}}{K_{\text{гот}}^*} - T_{\text{ср}}$$

$$T_{\text{в, д-плк}} = \frac{30588}{0,995} - 30588 = 154 \text{ год}$$

					ТА92423.0006.001 АТХ.П	Лист
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.1.9 Функції первинної обробки даних вимірювання в ПЛК

1. Фільтрація – ФНЧ 1-го порядку (аперіодична ланка 1-го порядку) в ВК з виходом на ПП/РП.

2. Апроксимація – кусочно-лінійна апроксимація. Лінеаризація нелінійної характеристики вимірювання. Обмеження мінімального і максимального значень (нелінійність типу насичення).

1. Масштабування – лінійне перетворення діапазону (шкали) вимірювання.

2. Сповільнення – обмеження швидкості зміни параметру (нелінійність типу насичення).

3. Порівняння – порівняння з уставкою. РІВНО, БІЛЬШЕ, МЕНШЕ, ДІАПАЗОН. Обмеження значення (нелінійність типу насичення).

4. Гістерезис – реалізація зони нечутливості і зони повернення (двопозиційна нелінійність; релейне регулювання).

5. Алармування – формування події тривоги (аларму) технологічної (попереджувальної) або аварійної.

6. Аналітика – статистичний аналіз. Виділення найменшого, найбільшого і середнього значень. Розрахунок дисперсії.

7. Інтегрування – лінійне інтегрування параметру (площа під графіком зміни параметру).

8. Лічильник – математична інкрементація і декрементація. Обрахування дискретних подій до уставки лічильника.

9. Таймер – реалізація часових затримок на величину уставки таймеру.

10. NOT – логічна операція НІ. Значення виходу протилежне значенню входу.

11. AND – логічна операція І. Вихід = 1, якщо два входи = 1.

					ТА92423.0006.001 АТХ.П	Лист
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

12. OR – логічна операція АБО. Вихід = 1, якщо хоча б один з входів = 1.

13. XOR – логічна операція виключного АБО. Вихід = 1, якщо тільки один з входів = 1.

14. Генератор – генерація аналогових і дискретних даних константних і періодичних.

15. Перетворення типів даних – вимушене явне перетворення типів даних, як правило, REAL>INT.

Типовий порядок первинної обробки аналогових сигналів (INT, REAL) в ПЛК: Сигнал > Фільтрація – Апроксимація – Масштабування – Сповільнення – Порівняння, Аналітика, Алармування > Дані.

Порядок обробки дискретних сигналів (BOOL) в ПЛК – залежить від логіки обробки і не може бути типовим.

2.1.10 Висновок щодо роботоздатності вимірювальних каналів САР

Аналіз та розрахунки показали, що ВК САР здійснює точні вимірювання. Після обчислення середнього часу роботи та імовірності безвідмовної роботи, ми можемо зробити висновок, що ВК САР є надійною.

					ТА92423.0006.001 АТХ.П	Лист
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Інженерний розрахунок регулювально-виконавчих каналів САР

2.2.1 Перелік систем автоматичного регулювання

Одноконтурна САР температури у зоні випалювання

Завдання – задане значення температури у зоні випалювання.

Регульований параметр – виміряне значення температури у зоні випалювання.

Об'єкт управління – канал передачі дії «зміна витрати газу на пальники».

САР реалізує управляючу функцію стабілізації температури у зоні випалювання шляхом зміни витрати газу на пальники .

Одноконтурна САР температури у зоні охолодження

Завдання – задане значення температури у зоні охолодження.

Регульований параметр – виміряне значення температури у зоні охолодження.

Об'єкт управління – канал передачі дії «подача повітря».

САР реалізує управляючу функцію стабілізації температури у зоні охолодження шляхом відкриття клапану в трубопроводі для надходження повітря .

Одноконтурна САР температури у зоні сушки

Завдання – задане значення температури у зоні сушки.

Регульований параметр – виміряне значення температури у зоні сушки.

					ТА92423.0006.001 АТХ.П	Лист
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Об'єкт управління – канал передачі дії «відведення гарячого повітря з зони підігріву».

САР реалізує управляючу функцію стабілізації температури у зоні сушки шляхом відкриття клапану в трубопроводі для надходження гарячого повітря з зони підігріву.

Одноконтурна САР розрідження в зоні сушки

Завдання – задане значення розрідження в зоні сушки.

Регульований параметр – виміряне значення розрідження в зоні сушки.

Об'єкт управління – канал передачі дії «обертання ротором димососу».

САР реалізує управляючу функцію стабілізації температури у зоні сушки шляхом обертання ротором димососу.

2.2.2 Структурна схема САР температури у зоні випалювання

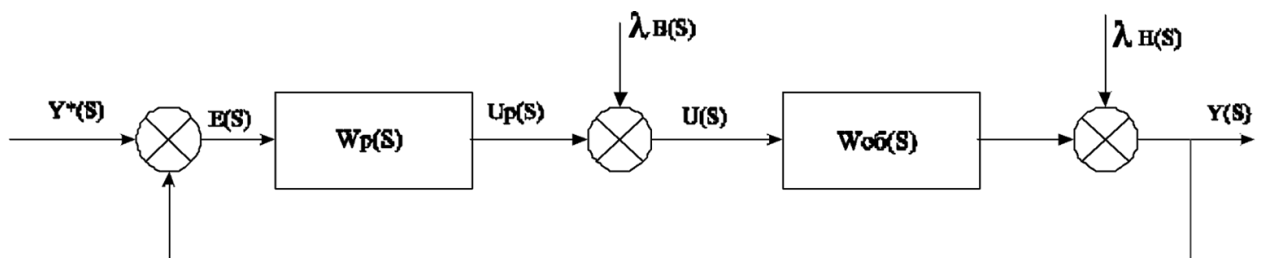


Рисунок 2.21 - Структурна схема САР температури у зоні випалювання

s – оператор Лапласа (оператор диференціювання $\frac{d}{dt}$).

$W_{об}(s)$ – передавальна функція об'єкту управління (ОУ) – передавальна функція температури у зоні випалювання печі.

$W_p(s)$ – передавальна функція регулятора.

$Y^*(s)$ – задане значення регульованого параметру – уставка температури в зоні випалювання (SV – Set Value).

$Y(s)$ – поточне значення регульованого параметру – поточна виміряна температура в зоні випалювання (PV – Process Value).

$U_p(s)$ – управляюча дія регулятора режимного параметру (CV – Control Value) – задане положення регулюючого органу об'єкту управління.

$U(s)$ – управляюча дія на об'єкт управління – витрата енергоносія з урахуванням збурення (ZV).

$\alpha_B(s)$ – збурення зі сторони РО (DV – Disturbance Value).

$\alpha_H(s)$ – збурення зі сторони навантаження.

2.2.3 Схема структурна регульовально-виконавчого каналу САР

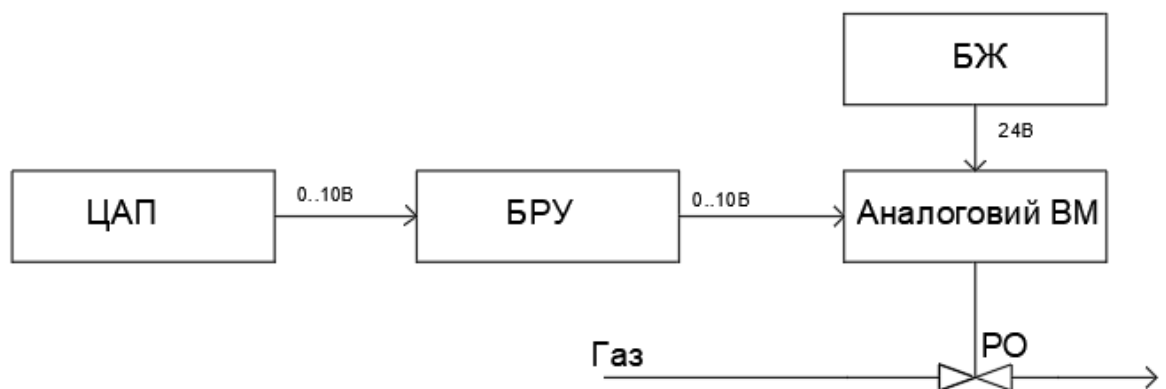


Рисунок 2.22 - Схема структурна виконавчого каналу САР температури в зоні випалювання

ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач.

БРУ – аналоговий блок ручного управління, БРУ-107.

РО –регулюючий клапан Belimo H6100S.

Аналоговий ВМ – Belimo EV24A-SZTPC.

Belimo EV24A-SZTPC - це аналоговий виконавчий механізм (актуатор), що виробляється компанією Belimo, що спеціалізується на системах

автоматичного керування для систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря (ОВК). Цей конкретний актуатор має такі характеристики:

1. Аналоговий інтерфейс: Belimo EV24A-SZTPC оснащений аналоговим інтерфейсом, що дозволяє керувати його рухом та позицією за допомогою вхідного аналогового сигналу. Він може приймати змінний струм (4-20 мА) або змінну напругу (0-10) для визначення необхідної позиції.
2. Діапазон позиціонування Цей актуатор може мати різні діапазони позиціонування залежно від конкретної моделі. Наприклад, він може бути забезпечувати позиціонування від 0 до 90 градусів або відкрити/закрити позицію в залежності від застосування.
3. Міцність та надійність: Belimo відомий своєю якістю та надійністю продукції. Актуатори серії EV24A-SZTPC зазвичай виготовляються із міцних матеріалів, які забезпечують довговічність та надійність роботи навіть у вимогливих умовах.

2.2.4 Схема структурна програмно-технічних засобів САР температури в зоні випалювання

Нижче зображена схема структурна програмо технічного забезпечення САР температури в зоні випалювання печі.

					ТА92423.0006.001 АТХ.П	Лист
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

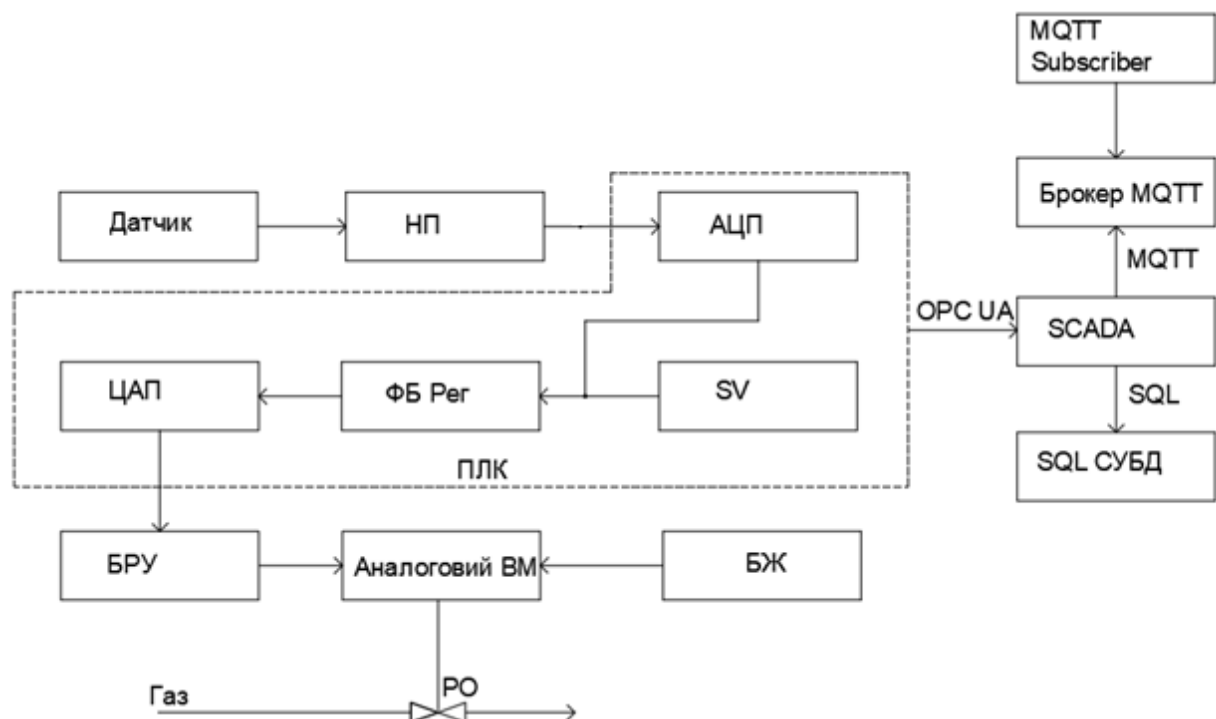


Рисунок 2.23 - Схема структурна ПТЗ САР температури в зоні випалювання

Датчик – значення з термопар TXA Rosemount 214C.

НП – нормуючий перетворювач Rosemount 3144P.

БРУ – аналоговий блок ручного управління БРУ-107.

SV – уставка.

OPC Unified Architecture (OPC UA) - це стандартний протокол комунікації, який використовується в індустріальних автоматизованих системах для обміну даними між різними пристроями та програмними компонентами. OPC UA був розроблений з метою забезпечення незалежного, безпечного та надійного обміну даними в різних промислових середовищах.

MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) - це протокол комунікації, розроблений для ефективного обміну повідомленнями між пристроями та програмними компонентами в розподілених системах. Він часто

використовується в Інтернеті речей (IoT), де пристрої з обмеженими ресурсами потребують легкого та надійного способу передачі даних.

SQL (Structured Query Language) - це стандартна мова запитів, яка використовується для взаємодії з реляційними базами даних. SQL дозволяє створювати, змінювати та отримувати дані з бази даних, а також виконувати різноманітні операції, такі як додавання, оновлення, видалення та сортування даних.

2.2.5 Розрахунок надійності реалізації управляючої функції CAP

Задамо середній час напрацювання на відмову $T_{\text{ср}}^* = 15000$ год при коефіцієнті готовності $K_{\text{гот}} = 0,995$.

Середні час напрацювання на відмову приладів:

$T_{\text{д}} = 60000$ год, $T_{\text{нп}} = 220000$ год, $T_{\text{бру}} = 100000$ год, $T_{\text{вм}} = 100000$ год.

Інтенсивність відмов:

$$\lambda = \frac{1}{60000} + \frac{1}{220000} + \frac{1}{100000} + \frac{1}{100000} = 0,000041 \frac{1}{\text{год}}$$

Середній час напрацювання на відмову:

$$T = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0,000041} = 24264 \text{ год.}$$

Отже, можна зробити висновок, що структура виконавчих каналів коректна.

Імовірність безвідмовної роботи ССН за період часу $\tau = 720$ год:

$$P_{\delta}(\tau) = e^{-\frac{\tau}{T_{\text{ср}}}} = e^{-\frac{720}{24264}} = 0,97$$

Середній час відновлення працездатності виконавчих каналів:

$$T = \frac{T_{\text{ср}}}{K_{\text{гот}}} - T_{\text{ср}} = \frac{24264}{0,995} - 24264 = 121,9 \text{ год}$$

					ТА92423.0006.001 АТХ.П	Лист
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2.6 Ідентифікація об'єкта управління

Існує кілька методів для пошуку моделі об'єкта, а саме:

- Аналітичний метод, який використовує фізичні закони для знаходження моделі.
- Експериментальний метод, який базується на збірі даних та їх подальшому застосуванні до інженерних формул.
- Комбінований метод, який поєднує обидва попередніх методи.

У випадку тунельної печі, вона може бути апроксимована аперіодичною ланкою першого порядку з транспортним запізненням. Для мого об'єкта, скористаємося коефіцієнтами передаточної функції, які визначені у літературних джерелах[5].

Передаточна функція має наступний вигляд:

$$W(s) = \frac{10}{20s + 1} e^{-5s}$$

Тепер в середовищі Matlab Simulink побудуємо схему з перехідною характеристикою і графік перехідного процесу.

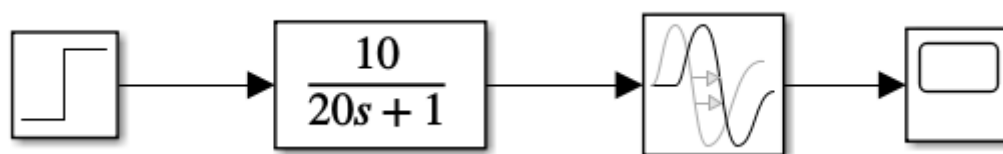


Рисунок 2.24 - Схема симуляції перехідної характеристики

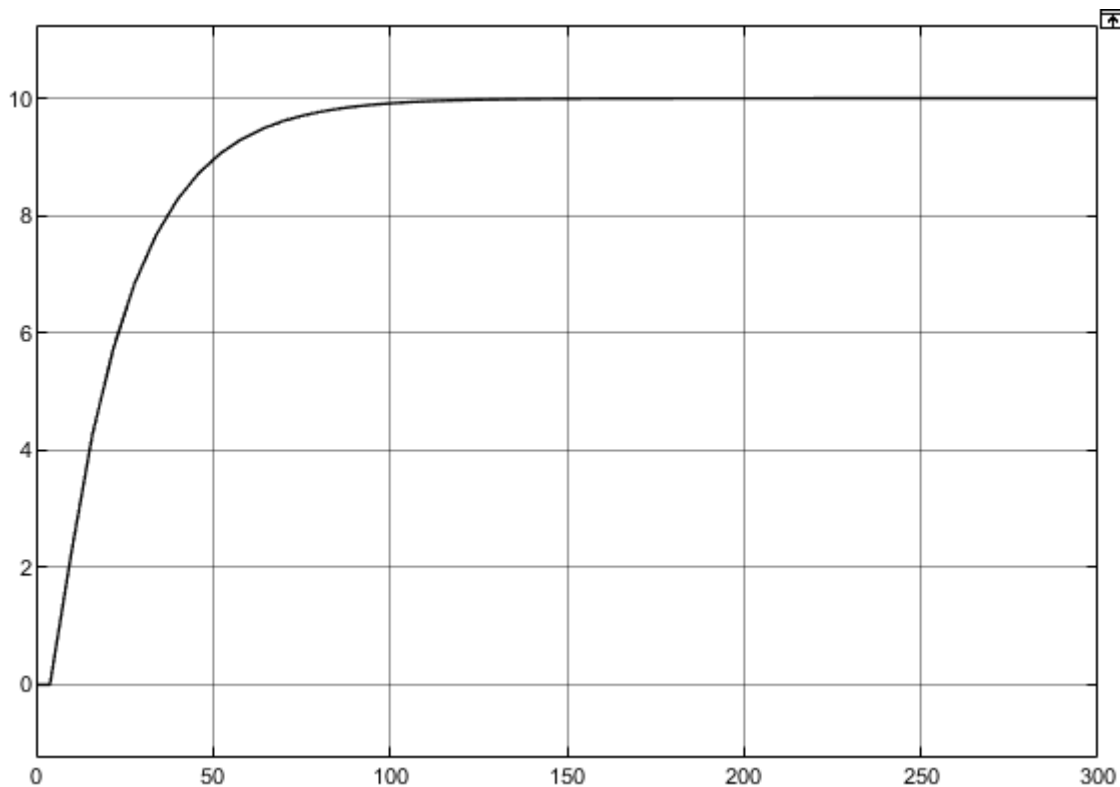


Рисунок 2.25 - Графік перехідної характеристики

2.2.7 Розрахунок регуляторів САР

Для керування нашою системою виберемо ПІ-регулятор в якості регулятора. Для визначення параметрів ПІ-регулятора ми використовуватимемо два методи: інженерний та метод РАФХ.

Метод РАФХ

Для знаходження налаштувань регулятора будемо використовувати метод РАФХ. Для цього оберемо $m=0.366$.

Для побудови кривої заданого степеня коливальності скористуємось формулами для ПІ-регулятора:

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

$$K_i = \frac{K_p}{T_i}, A_{об}^{розш}(m; \omega) = \sqrt{(P_{об}^{розш}(m; \omega))^2 + (Q_{об}^{розш}(m; \omega))^2}$$

Код М-файла для побудови кривої коефіцієнтів:

```
m=0.366;
w=0:0.0001:0.3;
W=(10.*exp(-5*(-m*w+1j*w)))/(20*(-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;
```

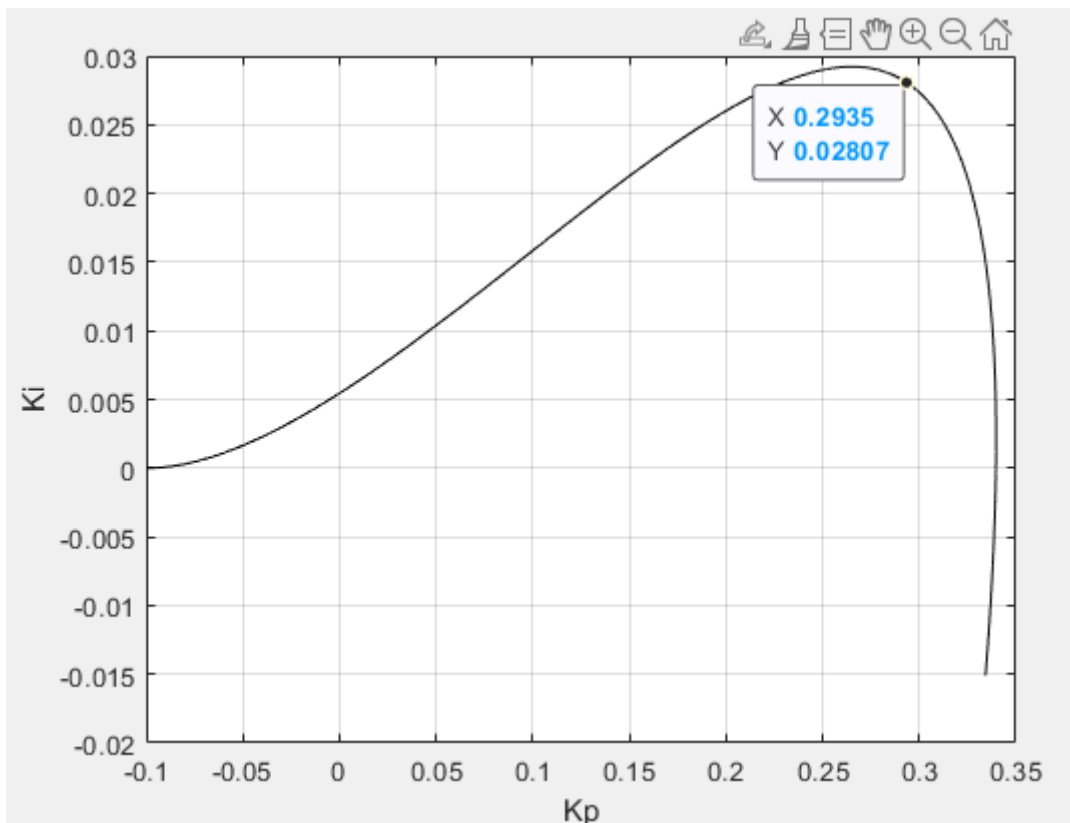


Рисунок 2.26 - Крива заданої степені коливальності

Визначимо налаштування $K_i = 0.028, K_p = 0.2935, T_i = 10.48$

Текст М-файлу побудови РАФХ і АФХ системи з ПІ-регулятором:

```
m=0.366;  
w=0.1:0.00001:1;  
p=1j*w;  
W=(10.*exp(-5*(-m*w+1j*w)))/(20*(-m*w+1j*w)+1);  
Wr=0.2935.*(1+1./(10.48.*p));  
W=W.*Wr;  
Re=real(W);  
Im=imag(W);  
p=w*(1j-m);  
W1=(0.2935+(0.2935./(10.48.*p)))*(10.*exp(-5*p))/(20.*p+1);  
Re1=real(W1);  
Im1=imag(W1);  
plot(Re,Im,Re1,Im1);  
xlabel('Re');  
ylabel('Im');  
grid on;  
legend('АФХ', 'РАФХ');
```

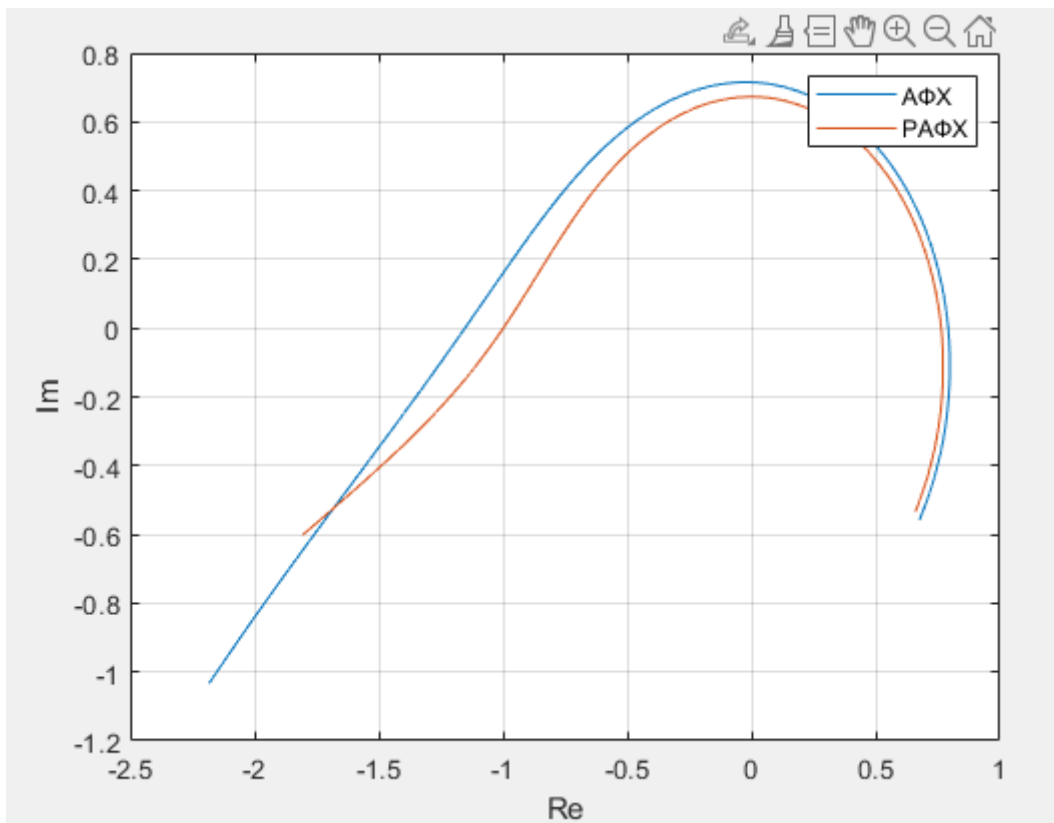


Рисунок 2.27 - АФХ і РАФХ об'єкта з ПІ-регулятором

З рисунка видно, що РАФХ розімкнутої системи проходить через точку $(-1;j0)$. Це означає, що отримана система повинна мати кореневий показник коливальності m , рівний заданому, тобто $m=0,366$.

Інженерний метод

Для інженерного методу використаємо метод з частковою компенсацією:

$$K_{\Pi} = \frac{1}{K} \left(\frac{0,739T}{\tau} \left(1 + \frac{\tau}{T} \right)^2 - 1 \right) = \frac{1}{10} * \left(0,739 * \frac{20}{5} \left(1 + \frac{5}{20} \right)^2 - 1 \right) = 0,362$$

$$T_H = \tau * \frac{6,36 * K * K_{\Pi}}{\left(\frac{T}{\tau} \left(1 + \frac{\tau}{T} \right)^3 \right)} = 5 * \frac{6,36 * 10 * 0,362}{\frac{20}{5} \left(1 + \frac{5}{20} \right)^3} = 14,73$$

Далі робимо схему завдання-вихід для замкненої системи.

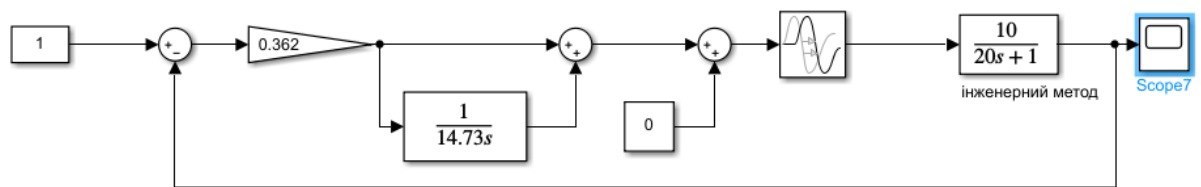


Рисунок 2.28 - Схема для перехідної характеристики за завдання-вихід

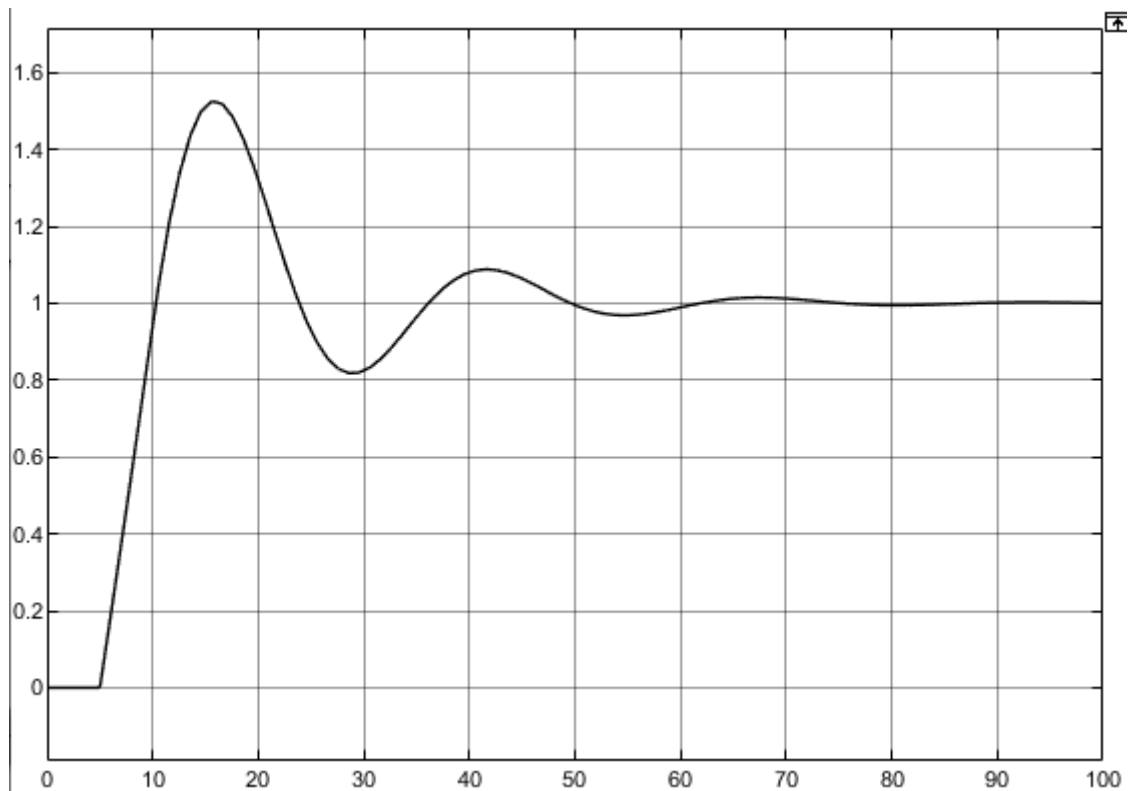


Рисунок 2.29 - Графік перехідної характеристики за завдання-вихід

Наступним ділом будуюмо схему за каналом збурення-вихід

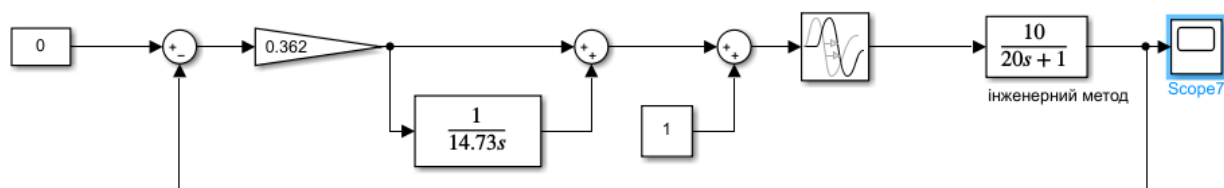


Рисунок 2.30 - Схема перехідної характеристики за збурення - вихід

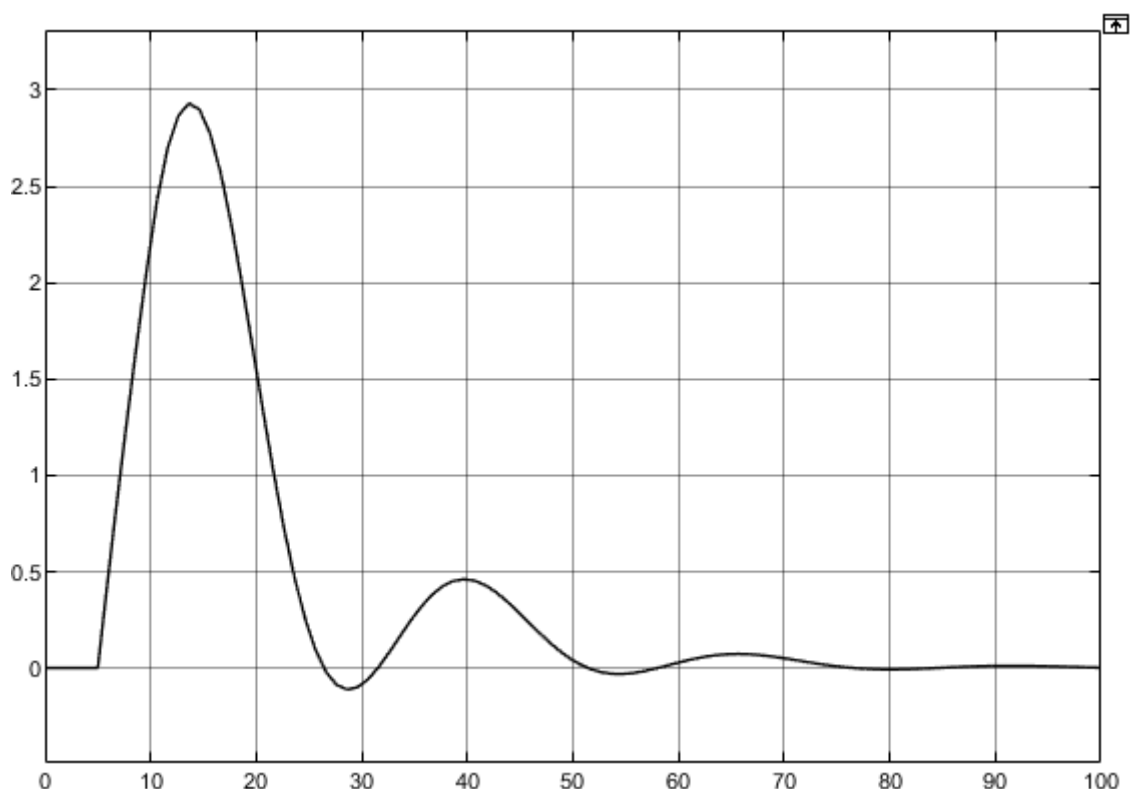


Рисунок 2.31 - Графік перехідної характеристики за збуренням-виходом

Розрахунок якості регулювання та вибір оптимальних параметрів

Побудуємо схему за каналом завдання-вихід, на якій порівняємо налаштування, які знайшли за методами РАФХ і інженерним.

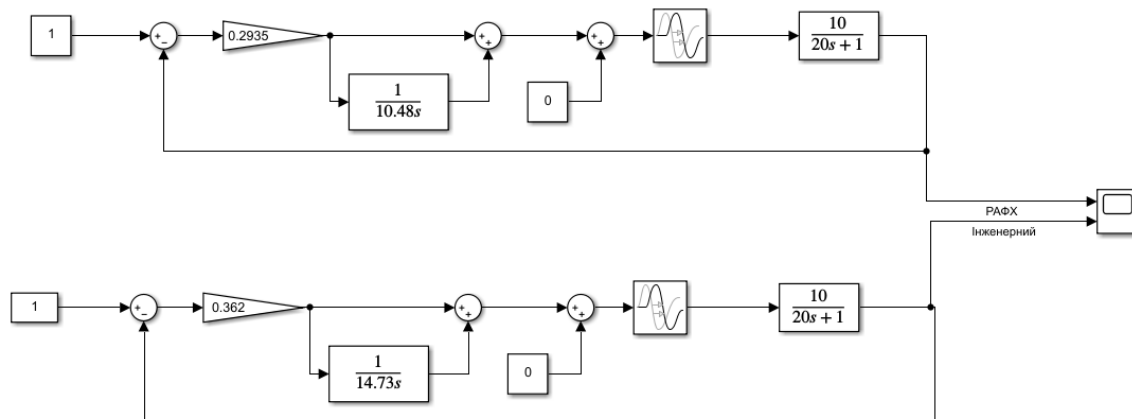


Рисунок 2.32 - Схема за завдання-вихід

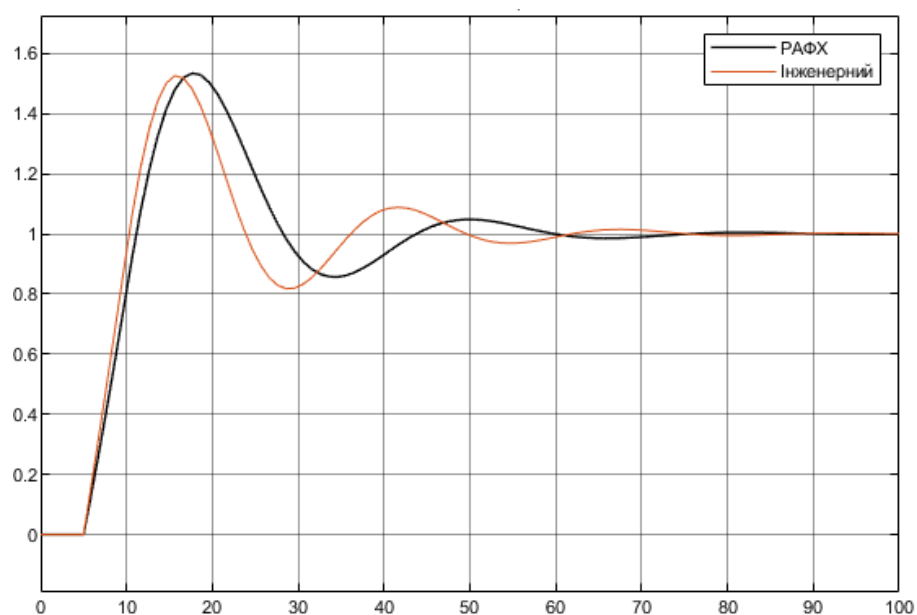


Рисунок 2.33 - Результат роботи

Далі розрахуємо прямі показники якості обох систем за каналом завдання-вихід, для цього використаємо наступні формули:

$y_{\infty} - y_{\text{зад}}$ — статична похибка.

$y_1 - y_{\infty}$ — динамічна похибка.

$\frac{y_1 - y_{\infty}}{y_{\infty}} * 100\%$ — перерегулювання.

$\frac{y_1 - y_3}{y_1}$ — показник затухання.

Таблиця 2.1 – Показники якості регулювання за каналом завдання-вихід

Показник	РАФХ	Інженерний метод
Статична похибка	0	0
Динамічна похибка	0,533	0,519
Час регулювання, с	42	46
Перерегулювання, %	53,3	51,9
Показник згасання	0,32	0,28

Далі будемо схему порівняння за каналом збурення-вихід:

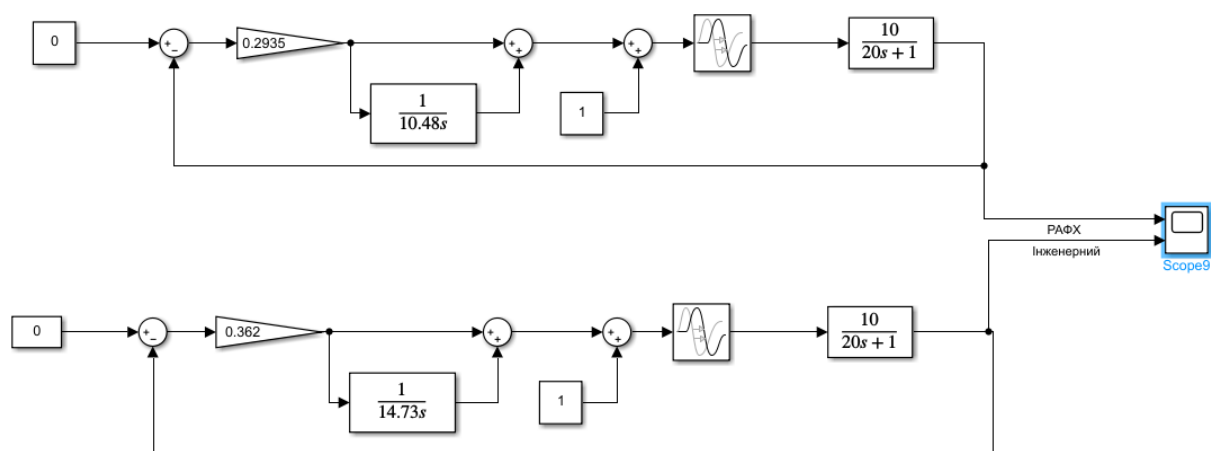


Рисунок 2.33 - Схема за каналом збурення-вихід

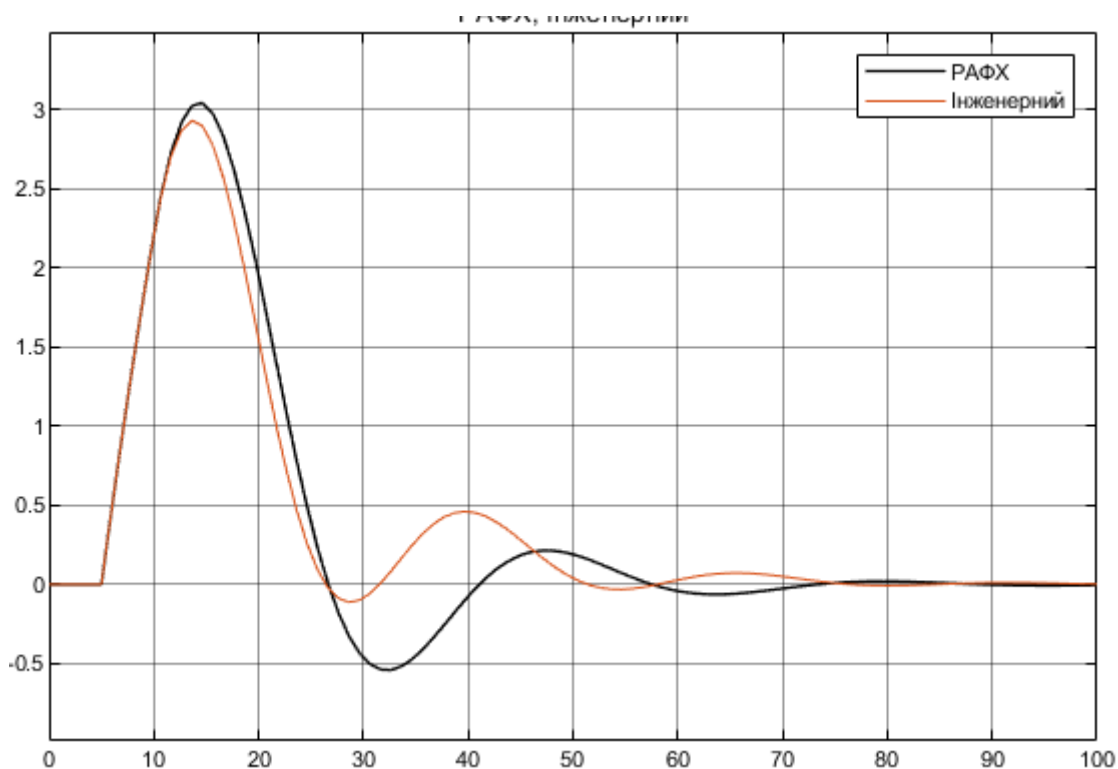


Рисунок 2.34 - Результат роботи

Далі розрахуємо прямі показники якості обох систем за каналом збурення-вихід, для цього використаємо наступні формули:

$y_{\infty} - y_{\text{зад}}$ — статична похибка.

$y_1 - y_{\infty}$ — динамічна похибка.

$\frac{y_2}{y_1} * 100\%$ — перерегулювання.

$\frac{y_1 - y_3}{y_1}$ — показник затухання.

Таблиця 2.2 – Показники якості регулювання за каналом збурення-вихід

Показник	РАФХ	Інженерний метод
Статична похибка	0	0
Динамічна похибка	3,04	2,924
Час регулювання, с	47	45
Перерегулювання, %	17	3,8
Показник затухання	0,93	0,84

За проведеними дослідженнями можна зробити висновок, що найкращі показники якості має інженерний метод.

2.2.8 Функціональне моделювання САР

У процесі роботи об'єкт може зазнавати змін у своїх характеристиках з плином часу. Це вимагає проведення дослідження системи керування на її стійкість. Для цього ми здійснимо експеримент через канал збурення-вихід з варіаціями параметрів нашого ПІ-регулятора. Значення параметрів будуть змінюватись в діапазоні $\pm 20\%$. Отримані результати таких змін у системі наступні:

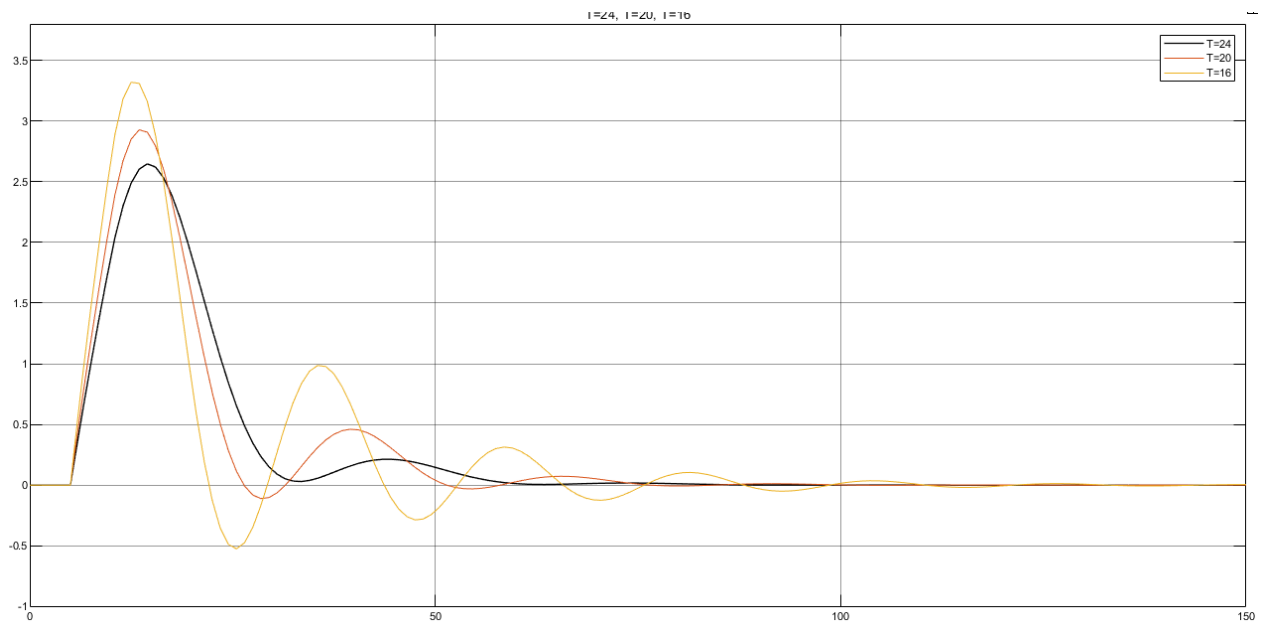


Рисунок 2.35 - Перехідна характеристика за зміною T об'єкта

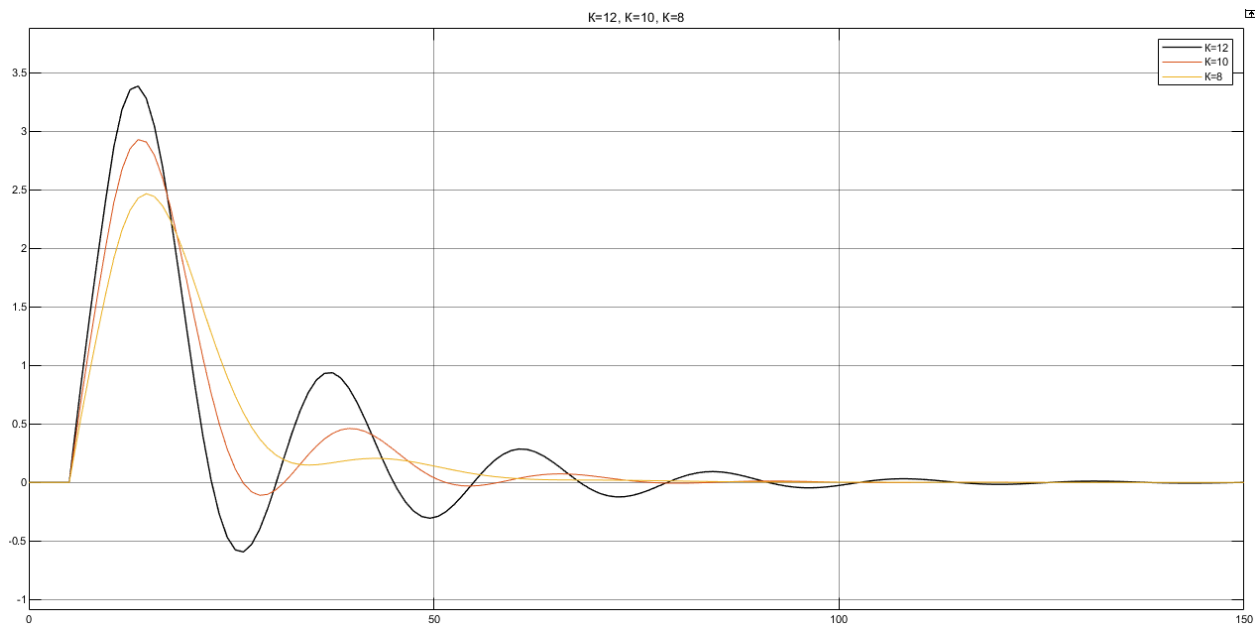


Рисунок 2.36 - Перехідна характеристика за зміною K об'єкта

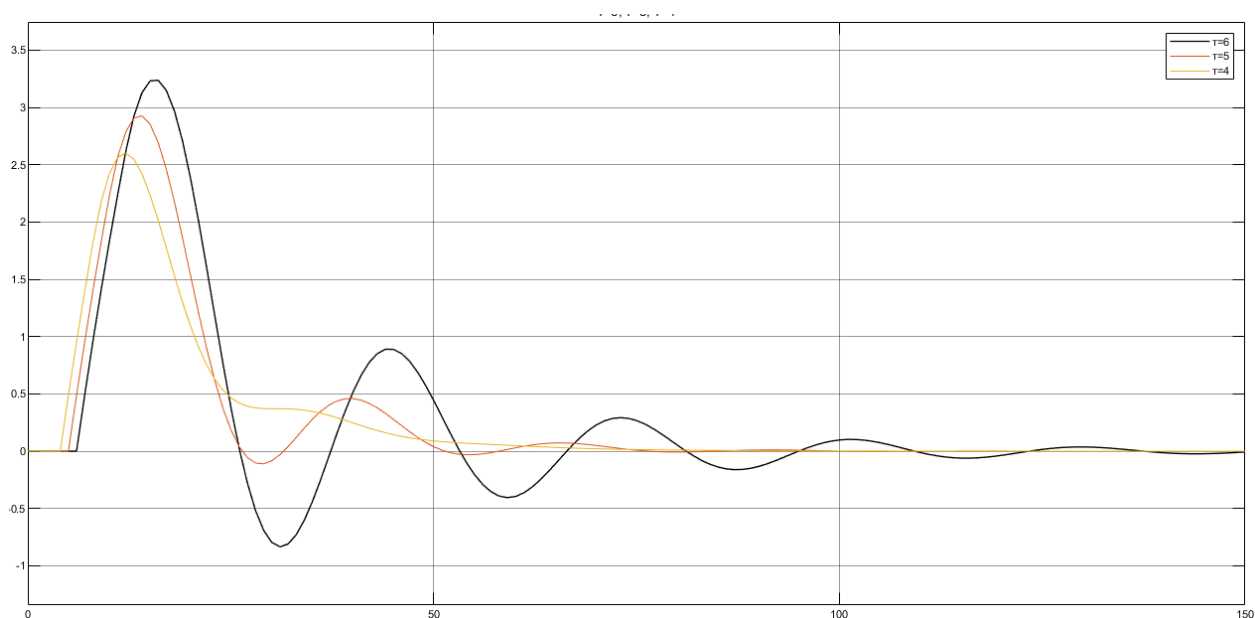


Рисунок 2.37 - Перехідна характеристика за зміною τ об'єкта

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ТА92423.0006.001 АТХ.П

Лист

63

Таблиця 2.3 – Показники якості для дослідження на грубість

Параметр	К	Т	τ	Перерегулювання
Початкові	10	20	5	3,8
К	12	20	5	7.1
	8	20	5	1.5
Т	10	24	5	8.2
	10	16	5	2.9
τ	10	20	6	8
	10	20	4	3.6

Розрахуємо відності коефіцієнти чутливості:

За зміною К:

$$k_1 = \frac{\left| \frac{3.8 - 7.1}{3.8} \right|}{\left| \frac{10 - 12}{10} \right|} = 4.3$$

$$k_2 = \frac{\left| \frac{3.8 - 1.5}{3.8} \right|}{\left| \frac{10 - 8}{10} \right|} = 3$$

За зміною Т:

$$k_1 = \frac{\left| \frac{3.8 - 1.5}{3.8} \right|}{\left| \frac{20 - 24}{20} \right|} = 3.5$$

$$k_2 = \frac{\left| \frac{3.8 - 8.2}{3.8} \right|}{\left| \frac{20 - 16}{20} \right|} = 5.78$$

За зміною τ :

$$k_1 = \frac{\left| \frac{3.8 - 8}{3.8} \right|}{\left| \frac{5 - 6}{5} \right|} = 5.52$$

$$k_2 = \frac{\left| \frac{3.8 - 3.6}{3.8} \right|}{\left| \frac{5 - 4}{5} \right|} = 0.26$$

Можна зробити висновок, що система не є грубою.

2.2.9 Висновки щодо роботоздатності РВК САР

Після проведеного аналізу чутливості встановлено, що САР проявляє низьку вразливість до параметричних збурень. Оскільки середній час безвідмовної роботи перевищує заданий, можемо стверджувати, що САР є надійною.

					ТА92423.0006.001 АТХ.П	Лист
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3 ОПИС ГРАФІЧНОЇ ЧАСТИНИ ПРОЄКТУ

3.1 Схема функціональна автоматизації ТОУ

Опис схеми функціональної автоматизації ТОУ наведений в підрозділі 1.4 ПЗ ДПБ.

3.2 Схема структурна ПТК

Опис схеми структурної ПТК ТОУ наведений в підрозділі 1.5 ПЗ ДПБ.

3.3 Схема принципова електрична АСР

Опис схеми принципової електричної АСР наведений в підрозділі 2.1.3 ПЗ ДПБ.

					ТА92423.0006.001 АТХ.П	Лист
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

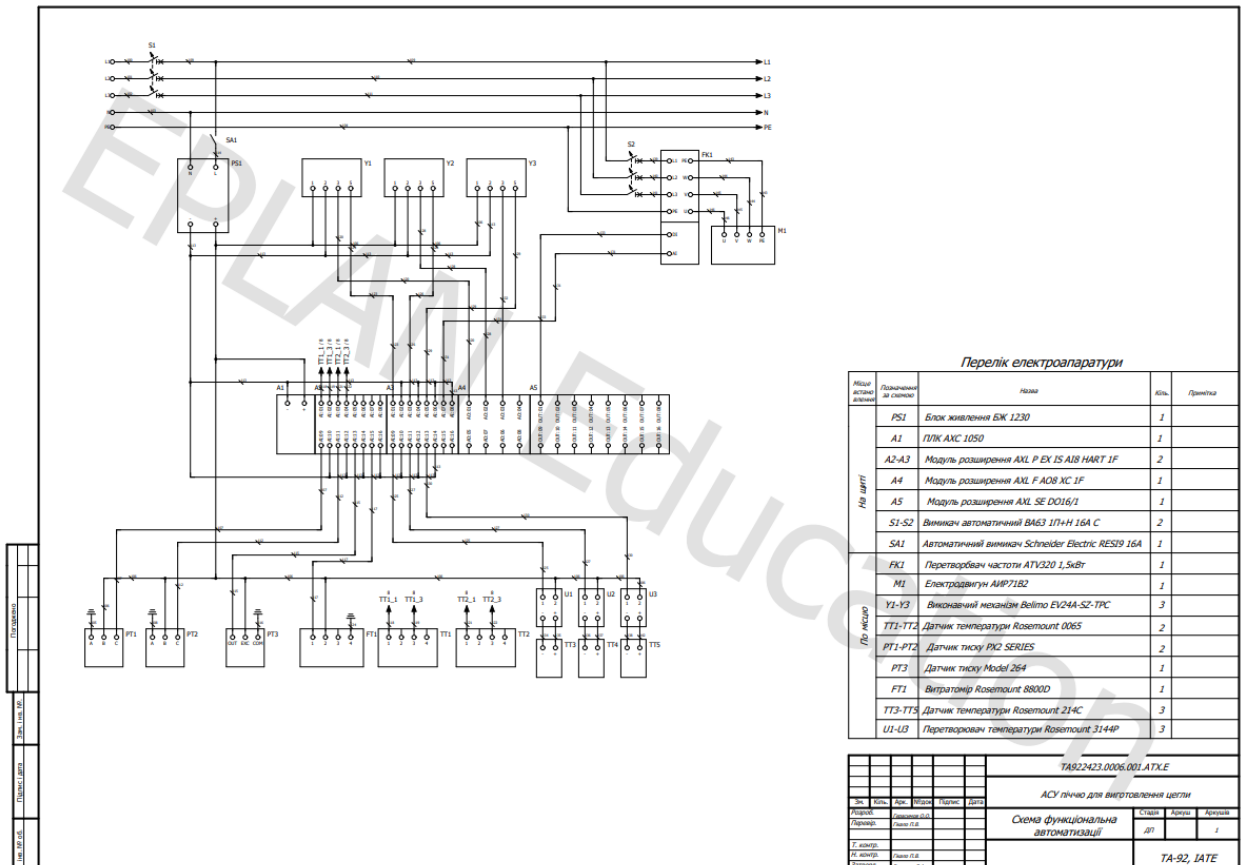


Рисунок 3.1 – Схема принципова електрична

3.4 Креслення загального виду щита

Для щита автоматизації було підбірано ЩШМ 800x600x150.

В щиті розміщено наступні засоби автоматизації:

1. Блок живлення БЖ 1230
2. Контролер АХС 1050
3. Два модулі розширення AXL P EX IS AI8 HART 1F
4. Модуль розширення AXL F AO8 XC 1F
5. Модуль розширення AXL SE DO16/1
6. Вимикач автоматичний Schneider BA63 1П+Н 16А С
7. Автоматичний вимикач Schneider Electric RESI9 16 А
8. Одинадцять силових клем
9. Сорок три прохідні клеми 24В
10. Короб пластиковий перфорований

Всі пристрої монтуються на DIN-рейку 35 мм

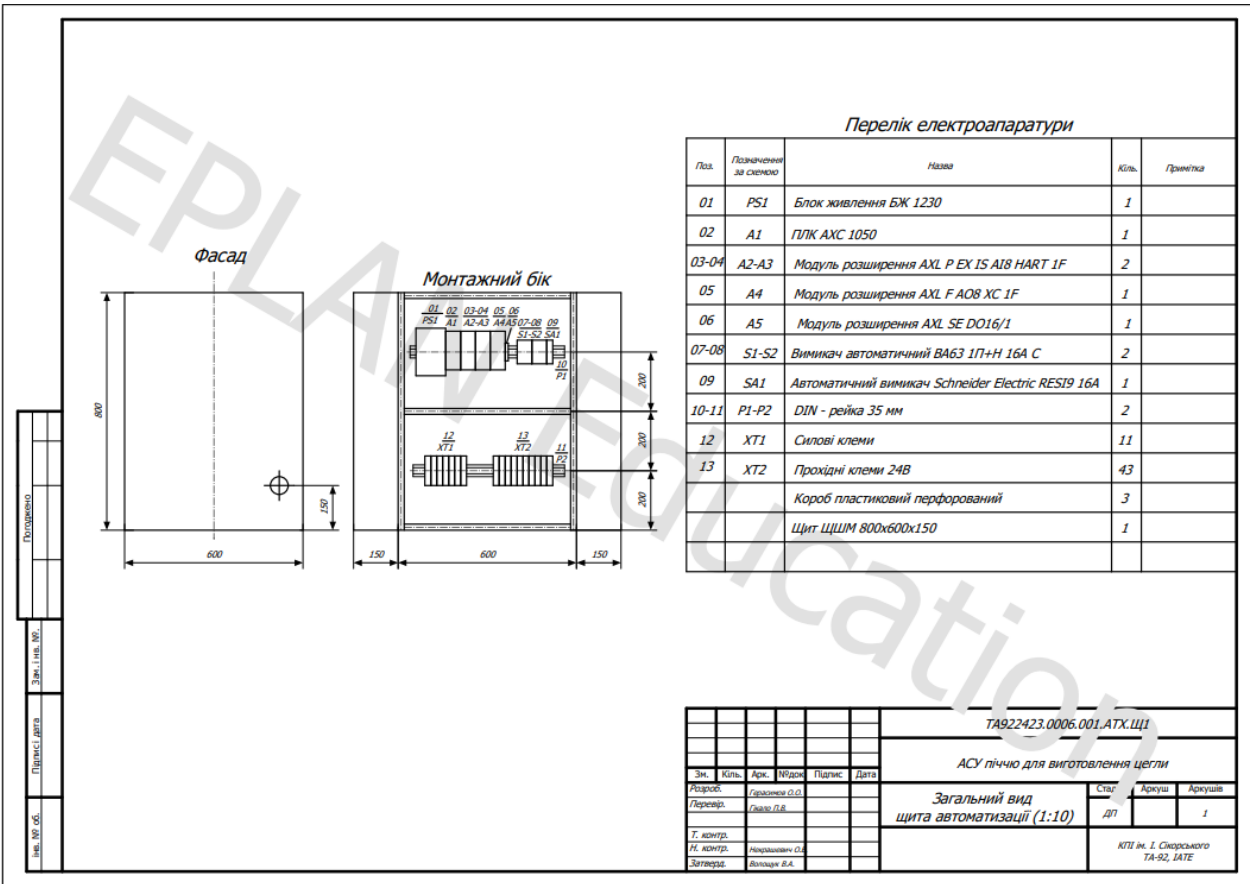


Рисунок 3.2 – Загальний вид щита автоматизації

3.5 Схема монтажна щита (таблиця з'єднань)

Монтажна схема щита є планом, який відображає розміщення та з'єднання електричних компонентів у монтажному щиті. Ця схема містить інформацію про розташування ключових елементів, таких як автоматичні вимикачі, контактори, реле, блоки живлення, кабелі, датчики і т. д. Основна мета монтажною схемою щита полягає у забезпеченні ефективного та безпечного контролю за електричними системами, а також у забезпеченні доступу до компонентів для обслуговування та ремонту.

Монтажна схема щита дозволяє електрикам та технікам легко розуміти, як електричні компоненти повинні бути підключені та які з'єднання використовуються для правильного функціонування системи. Загалом, монтажна схема щита є важливим інструментом для електриків та техніків,

[illegible]

3.6 Схеми зовнішніх з'єднань

Основні причини використання схеми зовнішніх з'єднань:

- **Комунікація:** Схема дозволяє чітко зобразити зв'язки між різними елементами системи. Вона вказує, які сигнали, електричні проводки або інші з'єднання використовуються для передачі даних, енергії чи команд між компонентами.

- Інсталяція та підключення: Схема допомагає встановити правильну фізичну організацію системи, показуючи, як компоненти повинні бути розташовані та підключені. Вона вказує, які проводи або кабелі повинні бути використані для забезпечення належного з'єднання.
- Обслуговування та ремонт: Схема стає важливим документом під час обслуговування та ремонту системи. Вона допомагає зрозуміти, які з'єднання слід перевірити або замінити, які контакти або точки підключення слід перевірити на можливі проблеми.
- Сумісність та стандартизація: Схема зовнішніх з'єднань допомагає впевнитися, що система відповідає певним стандартам і нормам, а також є сумісною з іншими пристроями або системами.

Використання схеми зовнішніх з'єднань спрощує розуміння, планування, монтаж, обслуговування та ремонт електричних або електронних систем, забезпечуючи наочний зображення та деталізований опис з'єднань між їх компонентами.

					ТА92423.0006.001 АТХ.П	Лист
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

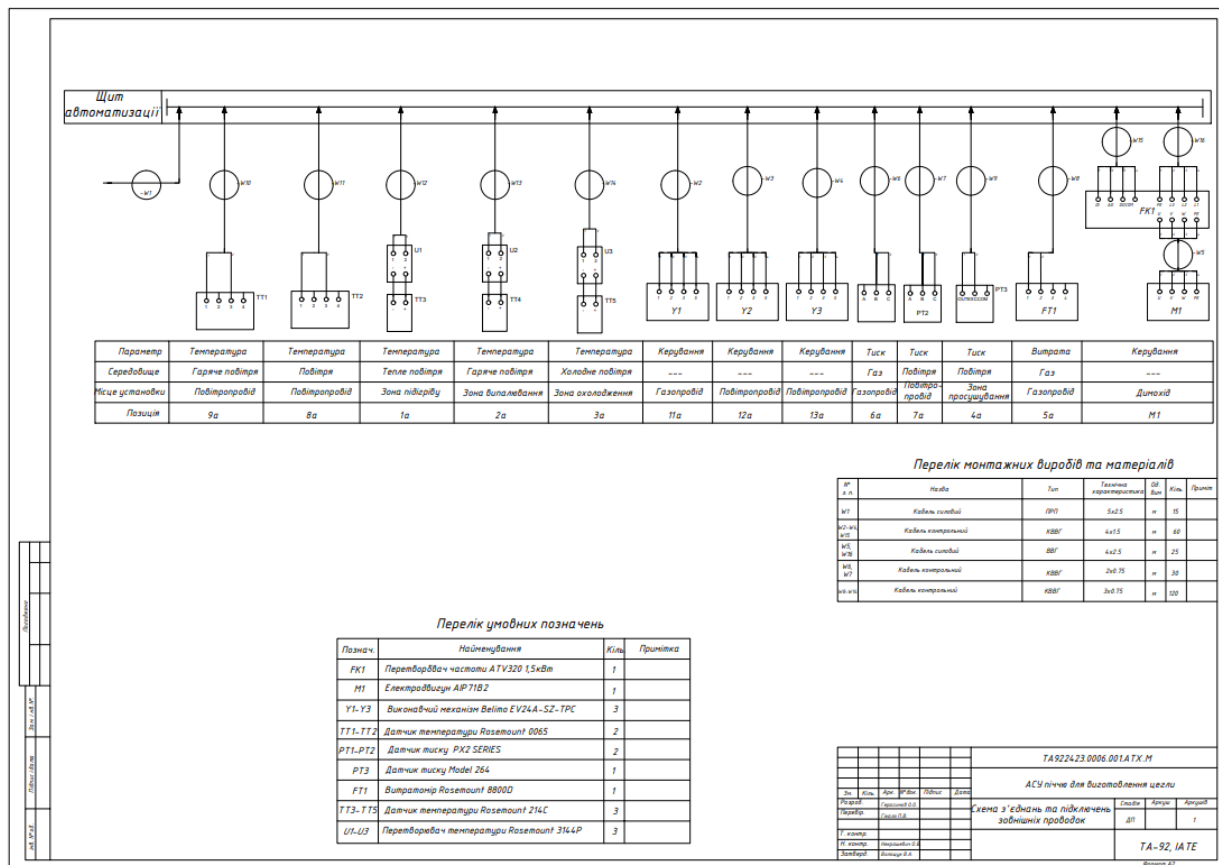


Рисунок 3.4 – Схема зовнішніх з'єднань

3.7 Специфікація обладнання

Температура у зоні підігріву

Діапазон робочої температури становить до 1000°C. Параметр вимірюється за допомогою Rosemount 214C від компанії «Rosemount» з діапазоном виміру -40°C ... 1200°C (поз. 1a).

Температура у зоні випалювання

Діапазон робочої температури становить до 1000°C. Параметр вимірюється за допомогою Rosemount 214C від компанії «Rosemount» з діапазоном виміру -40°C ... 1200°C (поз. 2a).

Температура у зоні охолодження

Діапазон робочої температури становить до 1000°C. Параметр вимірюється за допомогою Rosemount 214C від компанії «Rosemount» з діапазоном виміру -40°C ... 1200°C (поз. 3а).

Розрідження у зоні сушки

Параметр вимірюється за допомогою Model 264 від компанії «Setra Systems» з діапазоном вимірів -10 кПа , з похибкою 0.25% (поз. 4а).

Витрата газу

Параметр вимірюється за допомогою Rosemount 8800D від компанії «Rosemount» з номінальний діаметром Ду 15мм, з граничними вимірювальними величинами 1,41-47,3 м³/год та з приведеною похибкою 1% (поз. 5а).

Тиск у газопроводі

Параметр вимірюється за допомогою PX2 SERIES від американської компанії «Honeywell» з діапазоном виміру до 2МПа, з похибкою 0.25% (поз. 6а).

Тиск у повітропроводі

Параметр вимірюється за допомогою PX2 SERIES від американської компанії «Honeywell» з діапазоном виміру до 2МПа, з похибкою 0.25% (поз. 7а).

Температура вхідного повітря

Параметр вимірюється за допомогою Rosemount 0065 від компанії «Rosemount» з діапазоном виміру до 450 °C (поз. 8а).

Температура повітря з зони підігріву

Параметр вимірюється за допомогою Rosemount 0065 від компанії «Rosemount» з діапазоном виміру до 450 °C (поз. 9а).

					ТА92423.0006.001 АТХ.П	Лист
						72
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4 ПРОГРАМУВАННЯ ПЛКЗА

4.1 Програмування функціональності ПЛК

На вході в ПЛК усі давачі мають уніфікований вихідний сигнал 4...20мА. Цей сигнал конвертуємо в діапазон датчика, тому створив функціональний блок AnalogToDigital.

1	VAR_INPUT	CurrentSignalSensorValue	REAL
2	VAR_INPUT	MaxSensorValue	REAL
3	VAR_INPUT	MinSensorValue	REAL
4	VAR_INPUT	MaxSignalSensorValue	REAL
5	VAR_INPUT	MinSignalSensorValue	REAL
6	VAR_OUTPUT	CurrentSensorValue	REAL

Рисунок 4.1 – Змінні

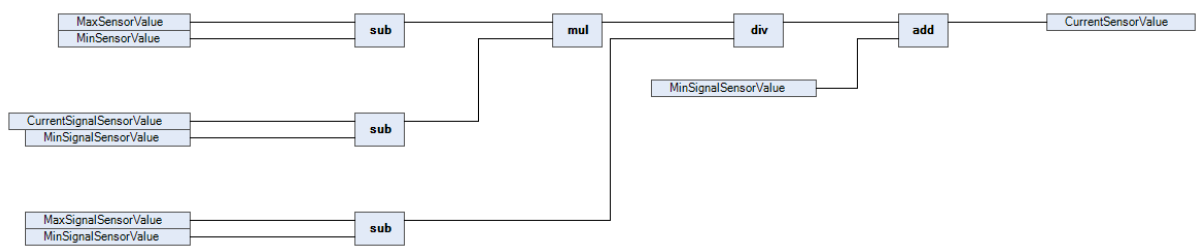


Рисунок 4.2 – Код

Далі створив POU_Object:

1	VAR	POU_DigitalToAnalog_0	POU_DigitalToAnalog	
2	VAR	TimeDelay	TIME	
3	VAR	Kp	REAL	
4	VAR	Tn	REAL	
5	VAR	Tv	REAL	
6	VAR	AlarmSensor	BOOL	Сигналізація про поломку датчика
7	VAR	ManualValue	REAL	
8	VAR	Manual	BOOL	
9	VAR	Output	REAL	
10	VAR	MinValueConventer	REAL	Мінімальне значення конвентора
11	VAR	MaxValueConventer	REAL	Максимальне значення конвентора
12	VAR	MinSignalConventer	REAL	Мінімальне значення сигналу конвентора
13	VAR	MaxSignalConventer	REAL	Максимальне значення сигналу конвентора
14	VAR	SensorTemperature	REAL	Поточне значення сигналу датчика
15	VAR	MinSignalSensorTemperature	REAL	Мінімальне значення сигналу датчика
16	VAR	MaxSignalSensorTemperature	REAL	Максимальне значення сигналу датчика
17	VAR	MinValueSensorTemperature	REAL	Мінімальне значення датчика
18	VAR	MaxValueSensorTemperature	REAL	Максимальне значення датчика
19	VAR	POU_AnalogToDigital_0	POU_AnalogToDigital	
20	VAR	STOP	BOOL	
21	VAR	PID_0	PID	
22	VAR	TON_0	TON	

Рисунок 4.3 – Змінні

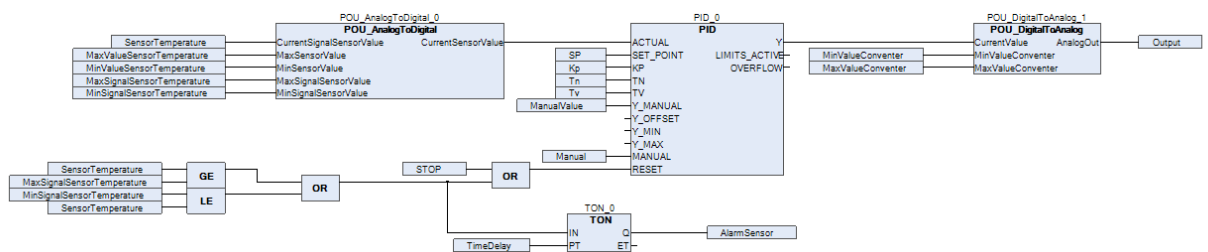


Рисунок 4.4 – Код

Далі створив DigitalToAnalog для конвертації вихідного сигналу в межі 0...10В:

```

1  FUNCTION_BLOCK POU_DigitalToAnalog
2  VAR_INPUT
3      CurrentValue:REAL;
4      MinValueConventer:REAL;
5      MaxValueConventer:REAL;
6  END_VAR
7  VAR_OUTPUT
8      AnalogOut:real;
9  END_VAR
10 VAR
11 END_VAR

```

Рисунок 4.5 – Змінні

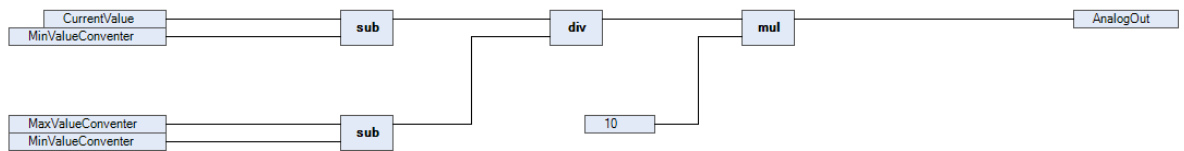


Рисунок 4.6 – Код

4.2 Програмування функціональності SCADA-системи

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) система - це комплексна система нагляду та збору даних для керування технічними процесами в реальному часі. Вона використовується в різних промислових секторах, таких як енергетика, виробництво, транспорт, водопостачання і багато інших.

SCADA система забезпечує наступні функції:

1. Нагляд (Supervision): SCADA система надає операторам можливість відстежувати роботу технічних процесів в реальному часі. Вона відображає дані про стан обладнання, датчиків, вимірювальних приладів тощо у вигляді графіків, діаграм, таблиць та інших візуальних елементів.
2. Керування (Control): SCADA система дозволяє операторам виконувати керуючі функції, такі як вмикання та вимикання обладнання, зміна параметрів роботи системи, встановлення режимів роботи тощо. Оператор може взаємодіяти з системою через графічний інтерфейс або спеціальні панелі управління.
3. Збір даних (Data Acquisition): SCADA система здійснює збір даних з різних датчиків, вимірювальних приладів та інших джерел. Вона отримує дані про параметри, які контролюються, такі як температура, тиск, витрати, рівні речовин, стан пристроїв тощо. Зібрані дані передаються для подальшої обробки та аналізу.

4. **Архівування та аналіз даних (Data Archiving and Analysis):** SCADA система забезпечує можливість зберігання і архівування зібраних даних. Це дозволяє проводити аналіз роботи системи в минулому, виявляти тренди, проводити порівняння, виявляти аномалії.
5. **Відображення та візуалізація (Display and Visualization):** SCADA система відтворює зібрані дані у зрозумілому та зручному для сприйняття вигляді. Це може бути представлення даних у вигляді графіків, діаграм, анімацій, карт або спеціалізованих інтерфейсів, що допомагають операторам зрозуміти та контролювати роботу системи.
6. **Автоматизація (Automation):** SCADA система дозволяє автоматизувати деякі процеси та операції на основі зібраних даних та визначених алгоритмів. Це можуть бути автоматичні операції вмикання/вимикання, регулювання параметрів, автоматичне сповіщення або виконання певних дій залежно від заданих умов.
7. **Система сповіщень (Alarm and Event Management):** SCADA система вміє виявляти надзвичайні ситуації, помилки, проблеми або виконання певних подій та генерувати сповіщення операторам. Це дозволяє швидко реагувати на проблеми та вживати відповідних заходів для їх вирішення.
8. **Звітність (Reporting):** SCADA система забезпечує можливість генерації звітів, звітності та статистики на основі зібраних даних. Це дозволяє аналізувати роботу системи, виконання заданих показників та робити висновки для подальшого покращення ефективності.

SCADA система є потужним інструментом для керування технічними процесами, забезпечує нагляд, керування, збір даних, аналіз, автоматизацію та сповіщення, що допомагає оптимізувати роботу підприємств та підвищити ефективність їх виробничих процесів.

В моїй дипломній роботі я реалізував додаткову SCADA-система за допомогою платформи Arrian

					ТА92423.0006.001 АТХ.П	Лист
						76
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Appian - це платформа для швидкого розробки програмного забезпечення (low-code development platform), яка дозволяє створювати бізнес-орієнтовані додатки та процеси шляхом використання графічного інтерфейсу та мінімального програмування. Appian надає платформу для розробки, розгортання та управління додатками шляхом використання готових компонентів та інструментів, які прискорюють розробку і спрощують підтримку програмного забезпечення.

Основні риси та можливості платформи Appian включають:

1. Низькокодовий підхід: Appian використовує графічний інтерфейс та конфігураційні налаштування для створення додатків, що дозволяє розробникам швидко створювати функціональність без необхідності в глибокому програмуванні.
2. Бізнес-орієнтовані процеси: Appian надає можливість створювати, автоматизувати та оптимізувати бізнес-процеси в організації, дозволяючи керувати послідовностями дій, документами та даними.
3. Інтеграція з системами: Платформа Appian забезпечує можливість інтеграції з різними зовнішніми системами та джерелами даних, що дозволяє об'єднувати дані з різних джерел і використовувати їх у додатках та процесах.
4. Мобільна розробка: Appian підтримує розробку мобільних додатків, що дозволяє користувачам отримувати доступ до функціональності та даних з різних пристроїв.
5. Аналітика та звітність: Платформа надає інструменти для аналізу даних, створення звітів
6. Безпека та контроль доступу: Appian забезпечує рівень безпеки для додатків та даних, включаючи механізми аутентифікації, авторизації та шифрування, а також можливість налаштування рівнів доступу до різних функцій та даних в системі.
7. Хмарна та гібридна готовність: Appian пропонує можливість розгортання додатків в хмарних середовищах, що дозволяє знизити

					ТА92423.0006.001 АТХ.П	Лист
						77
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

витрати на інфраструктуру та підвищити масштабованість. Крім того, платформа підтримує гібридні рішення, що дозволяють поєднувати локальні ресурси з хмарними сервісами.

8. Розширення та налаштування: Appian дозволяє розширювати функціональність платформи шляхом створення власних компонентів та додатків, а також налаштовувати інтерфейс та процеси відповідно до потреб користувача.
9. Керування життєвим циклом: Appian надає можливість керувати життєвим циклом додатків, включаючи розробку, тестування, розгортання та підтримку. Це дозволяє ефективно управляти змінами та покращувати функціональність додатків з часом.
10. Спільна робота та комунікація: Appian надає можливість спільної роботи та комунікації між різними учасниками проекту, забезпечуючи зручні інструменти для обговорення, спільної роботи над завданнями та обміну даними.

Appian використовується організаціями для розробки та розгортання широкого спектру бізнес-додатків, включаючи управління процесами, CRM, аналітичні звіти, системи управління взаємодією з клієнтами, електронні документообіги, управління проектами та багато іншого. Вона знаходить застосування в різних галузях, таких як фінанси, страхування, охорона здоров'я, виробництво, дистрибуція та громадський сектор.

Завдяки своїй низькокодовій природі та широкому спектру функціональності, Appian дозволяє підприємствам швидко реагувати на зміни бізнес-потреб, прискорювати розробку нових додатків та процесів, знижувати витрати на розробку та підтримку програмного забезпечення, а також покращувати співпрацю між різними відділами та ролями в організації.

Загалом, Appian є потужним інструментом для розробки та управління бізнес-додатками, що допомагає організаціям підвищити ефективність, автоматизувати процеси та забезпечити більшу гнучкість в управлінні бізнес-операціями.

					ТА92423.0006.001 АТХ.П	Лист
						78
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Шлюзом між ПЛК та Arrian виступає система Node-red.

Node-RED - це візуальний інструмент для розробки програмного забезпечення на основі вузлів (nodes) для побудови потокових процесів (flow-based programming). Він використовується для створення розширених IoT (інтернету речей) додатків, забезпечення інтеграції різних систем та автоматизації робочих процесів.

Node-RED пропонує інтуїтивно зрозумілий веб-інтерфейс, де вузли (nodes) представляють функції або сервіси, а зв'язки між вузлами відображають потік даних. Користувачі можуть використовувати ці вузли для створення потоків, встановлювати логіку, обробляти дані, виконувати дії та інтегрувати різні компоненти системи.

Однією з основних переваг Node-RED є велика кількість вузлів, доступних у веб-інтерфейсі, які покривають різні функціональні можливості. Крім того, існує активна спільнота, яка створює та підтримує вузли для інтеграції з різними пристроями, платформами та сервісами.

Node-RED дозволяє взаємодіяти з різними типами пристроїв та сервісів, включаючи сенсори, актуатори, бази даних, хмарні сервіси, соціальні медіа та багато іншого. Він може бути використаний для створення різноманітних додатків, таких як системи моніторингу, автоматизовані системи керування будівлями, системи збору та аналізу даних IoT та багато інших.

Node-RED також підтримує можливість розширення функціональності за допомогою власних вузлів, які можуть бути створені та додані до веб-інтерфейсу Node-RED. Це дає розробникам можливість розширювати функціональність платформи відповідно до своїх потреб.

Одна з ключових особливостей Node-RED - це можливість використовувати готові шаблони та бібліотеки, які значно спрощують розробку інтерфейсів та функціоналу додатків. Це дозволяє швидко будувати складні потоки з готових компонентів і збільшує продуктивність розробки.

					ТА92423.0006.001 АТХ.П	Лист
						79
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Node-RED також підтримує інтеграцію з іншими інструментами та платформами, такими як бази даних, хмарні сервіси, веб-сервери, системи керування версіями та інші. Це дозволяє розширювати можливості платформи та інтегрувати її з існуючими екосистемами.

Застосування Node-RED розповсюджене в галузі IoT, де воно використовується для збору, обробки та аналізу даних з різних сенсорів та пристроїв, а також для керування різними аспектами IoT-систем. Воно також застосовується в автоматизації робочих процесів, розробці додатків для Інтернету речей, системах моніторингу та керування будівлями, інтеграції соціальних медіа та багатьох інших сферах.

Загалом, Node-RED є потужним інструментом для розробки програмного забезпечення на основі вузлів, який спрощує створення складних потоків даних, інтеграцію систем та автоматизацію процесів. Його візуальний підхід та готові компоненти роблять його ефективним інструментом для розробників у галузі IoT та інших сферах, де потрібна швидка розробка та інтеграція різних компонентів системи та робочих процесів. На додаток до цього, Node-RED надає такі можливості:

- Гнучкість та розширюваність: Node-RED дозволяє розробникам створювати власні вузли та бібліотеки для розширення функціональності. Це дає змогу використовувати власні специфічні рішення та інтегрувати їх у потоки даних.
- Підтримка різних протоколів та сервісів: Node-RED має вбудовану підтримку різних протоколів комунікації та сервісів, таких як HTTP, MQTT, WebSocket, REST API та інші. Це дозволяє взаємодіяти з різними пристроями та платформами безпосередньо з поточним процесом.
- Легкість використання та швидкість розробки: Візуальний підхід Node-RED дозволяє розробникам візуально моделювати та відлагоджувати потоки даних. Це спрощує процес розробки,

					ТА92423.0006.001 АТХ.П	Лист
						80
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дозволяє швидко створювати та змінювати потоки даних, а також полегшує співпрацю між розробниками та фахівцями з інших галузей.

- Розширена візуалізація даних: Node-RED надає можливість візуалізувати дані, отримані в процесі обробки, за допомогою різноманітних графічних елементів та інтерфейсів. Це дозволяє створювати інтерактивні дашборди та зручні інтерфейси для моніторингу та керування системою.
- Підтримка спільноти: Node-RED має активну спільноту розробників, яка активно ділиться вузлами, шаблонами, прикладами та знаннями.

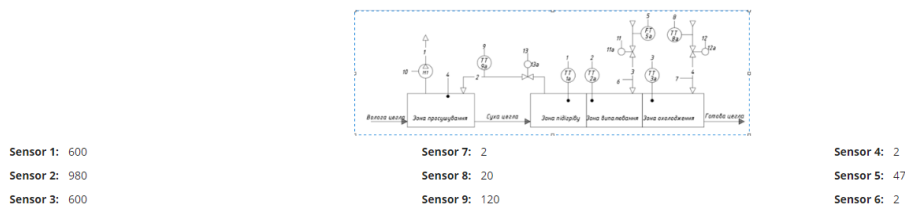


Рисунок 4.7 – Приклад відображення значення сенсорів в Арріан

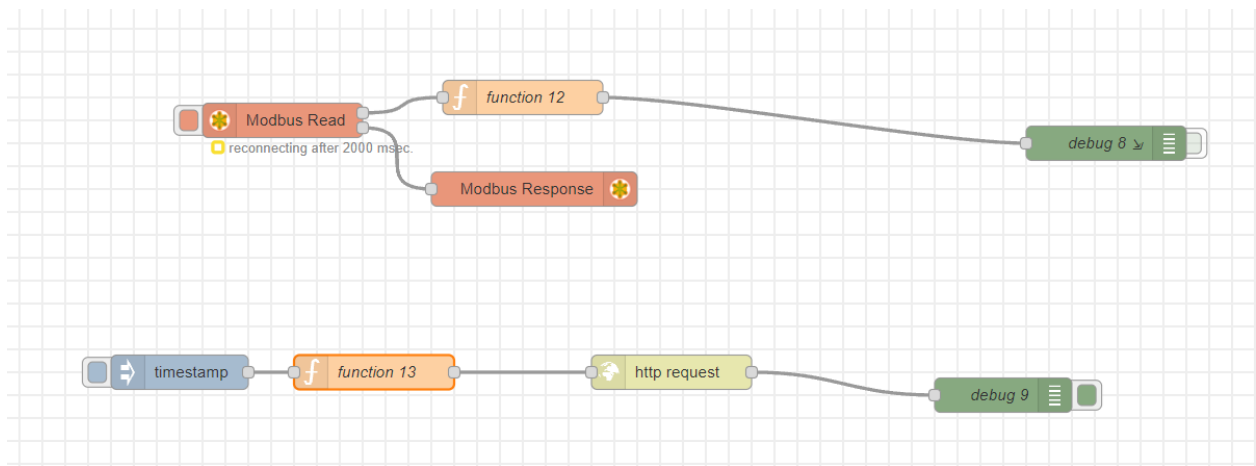


Рисунок 4.8 – Код в Node-RED

РОЗДІЛ 5 ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АТК

5.1 Схема структурна полігону імітаційного моделювання АТК ТОВ

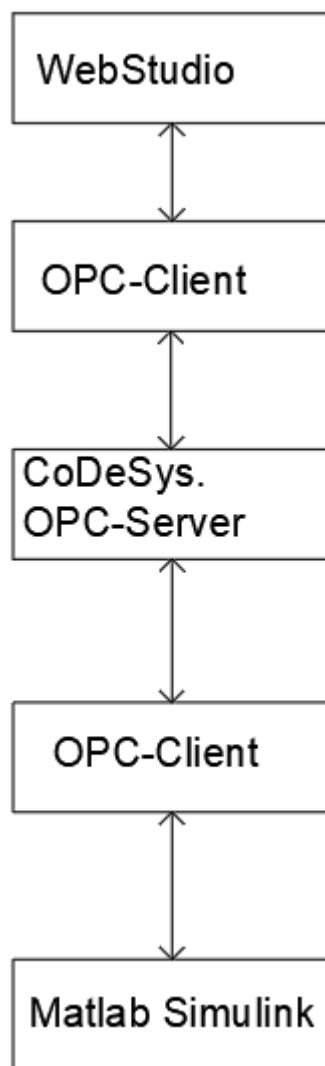


Рисунок 5.1 – Схема структурна імітаційного полігону

5.2 Функціональне моделювання ОУ в СКМ Matlab Simulink

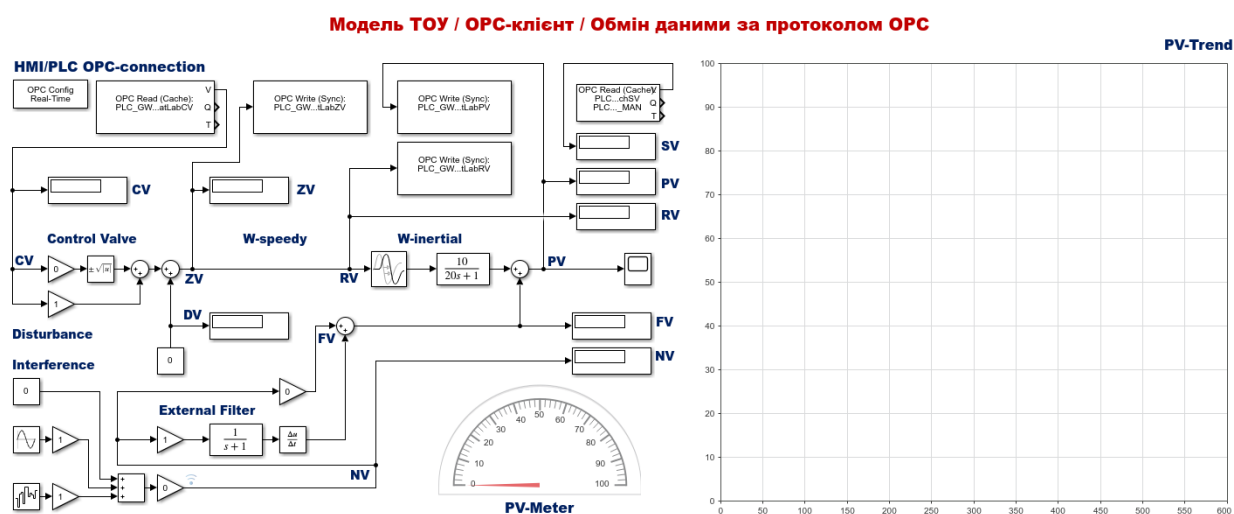


Рисунок 5.2 – Модель ТОУ в Matlab Simulink

5.3 Реалізація контролерної функціональності САР в софтПЛК CoDeSys

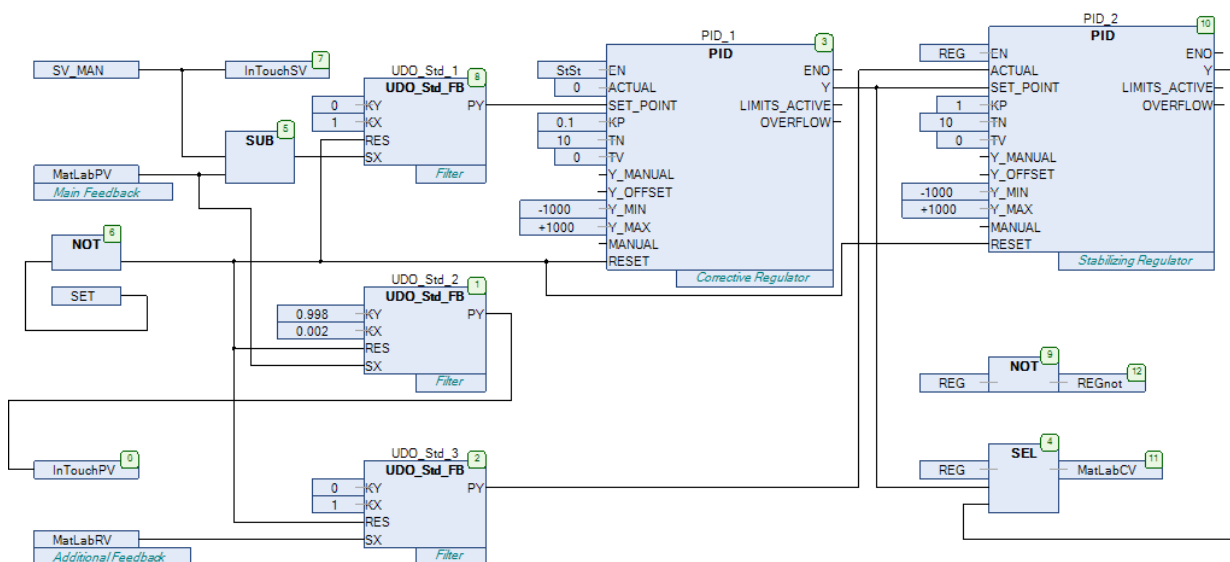


Рисунок 5.3 - Реалізація контролерної функціональності в софтПЛК

CoDeSys

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

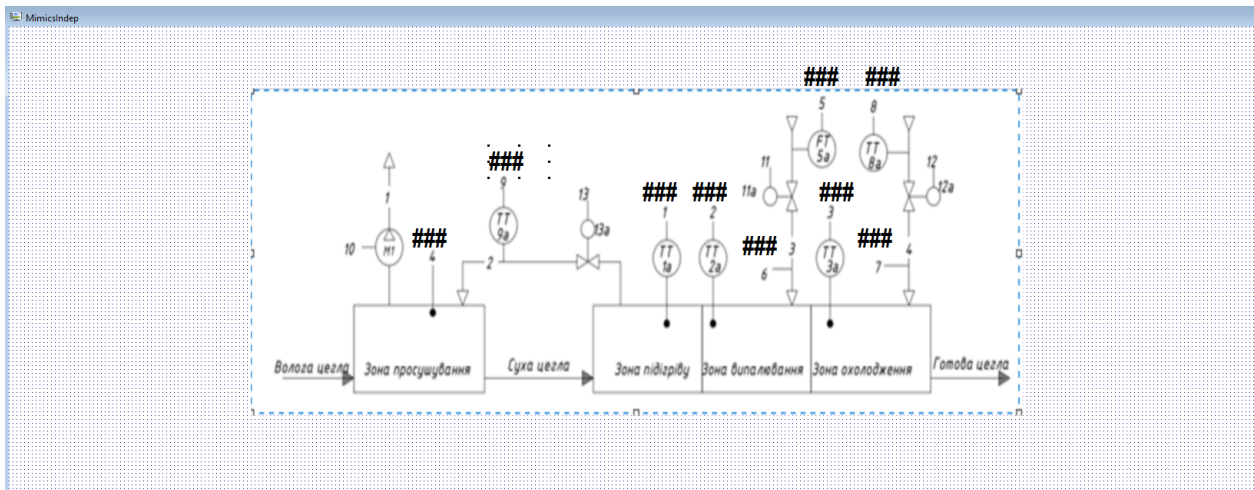


Рисунок 5.4 – Вікно MyMimics

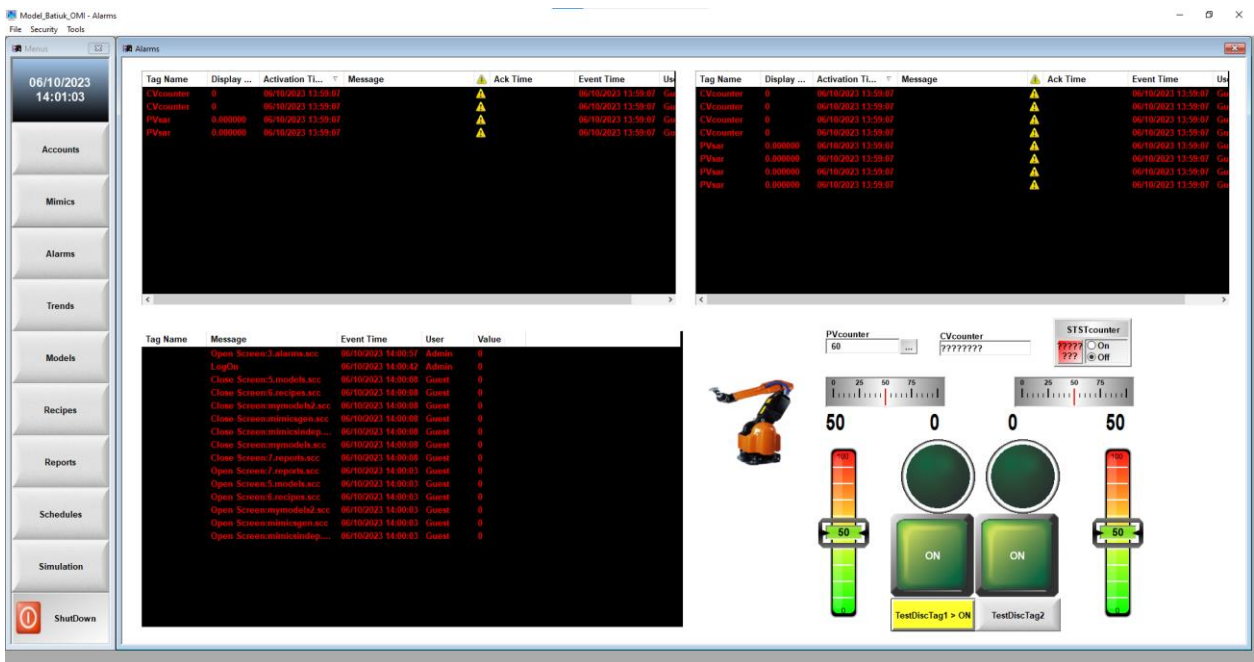


Рисунок 5.5 - Вікно Alarms

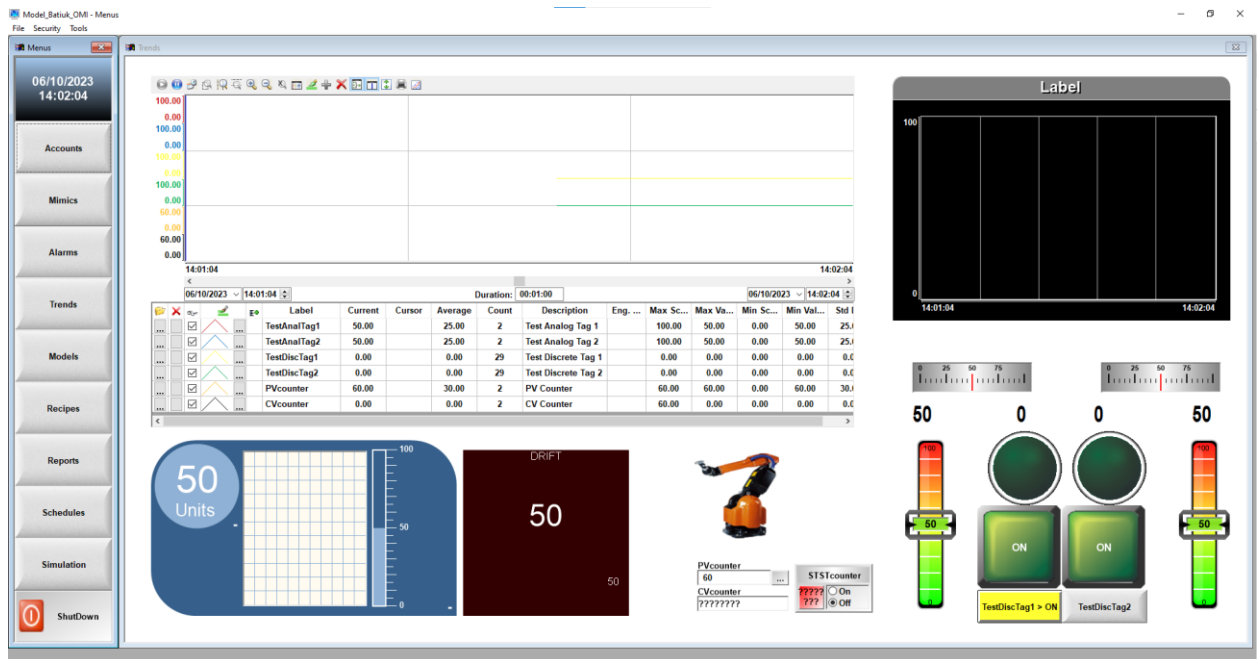


Рисунок 5.6 - Вікно Trends

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

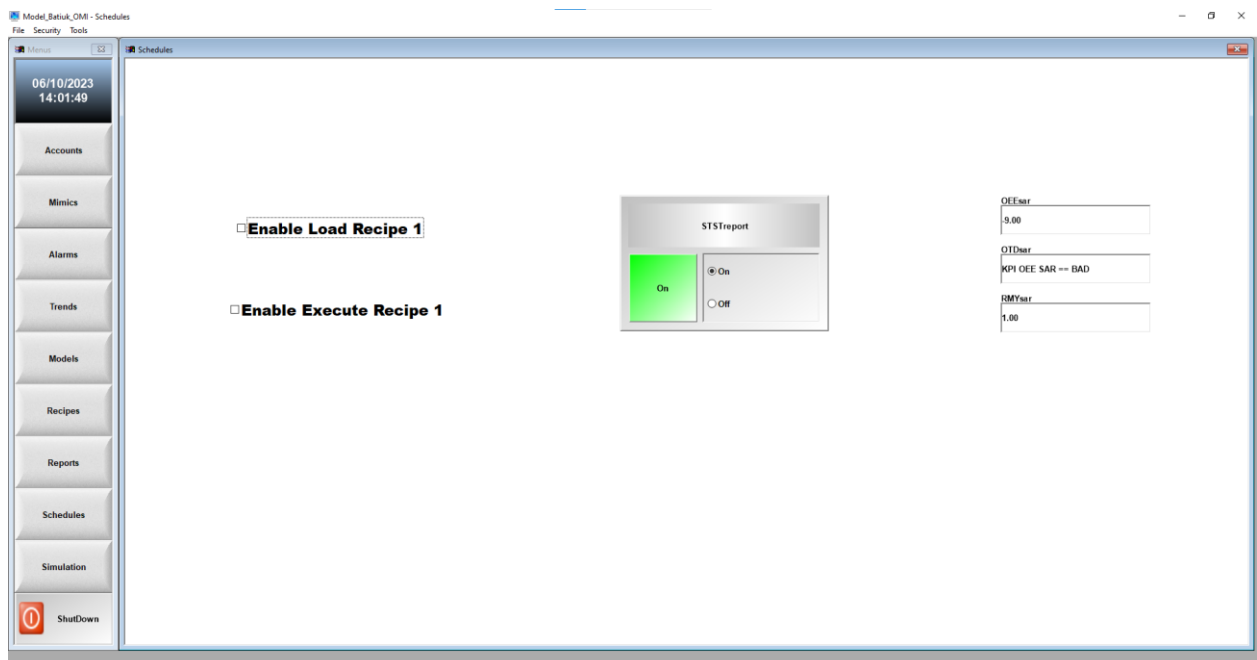


Рисунок 5.7 – Вікно Schedules

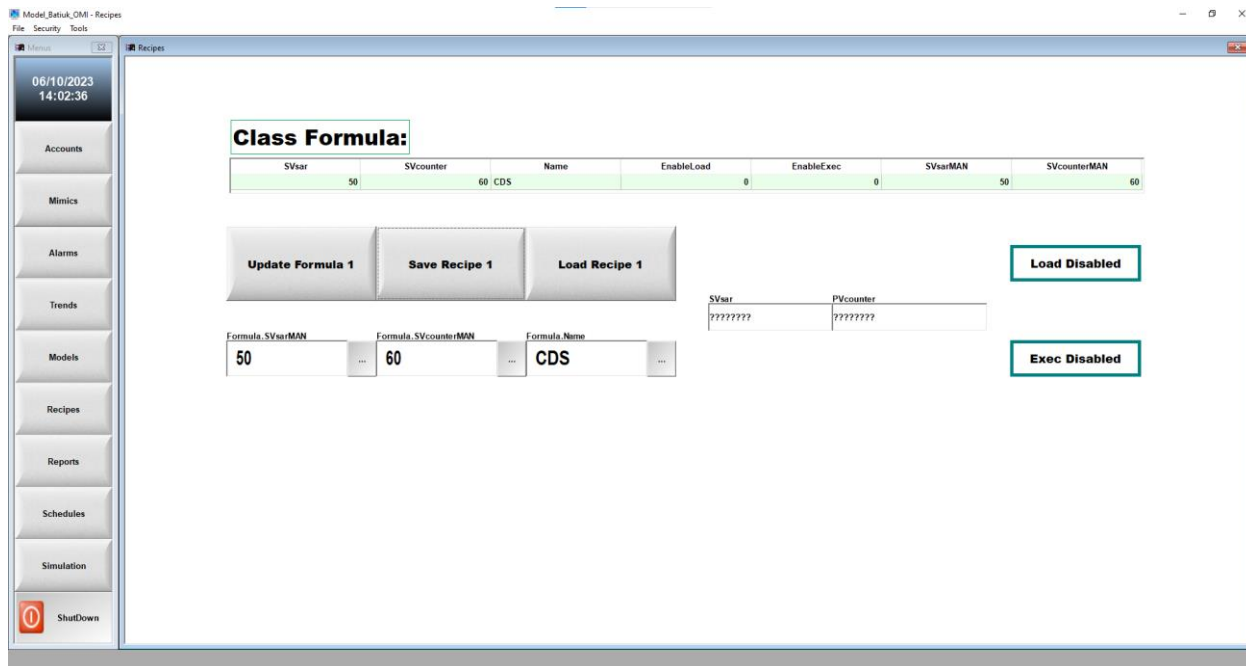


Рисунок 5.8 – Вікно Recipes

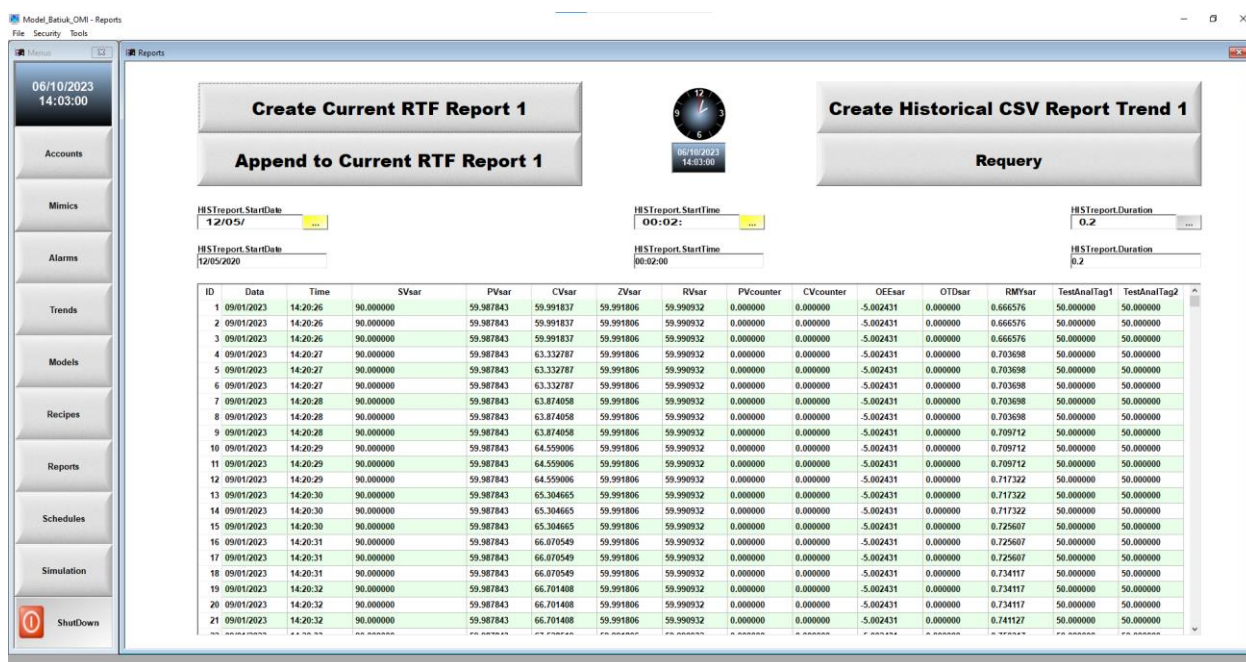


Рисунок 5.9 – Вікно Reports

5.6 Структурне моделювання АТК в програмно-технічному симулятор

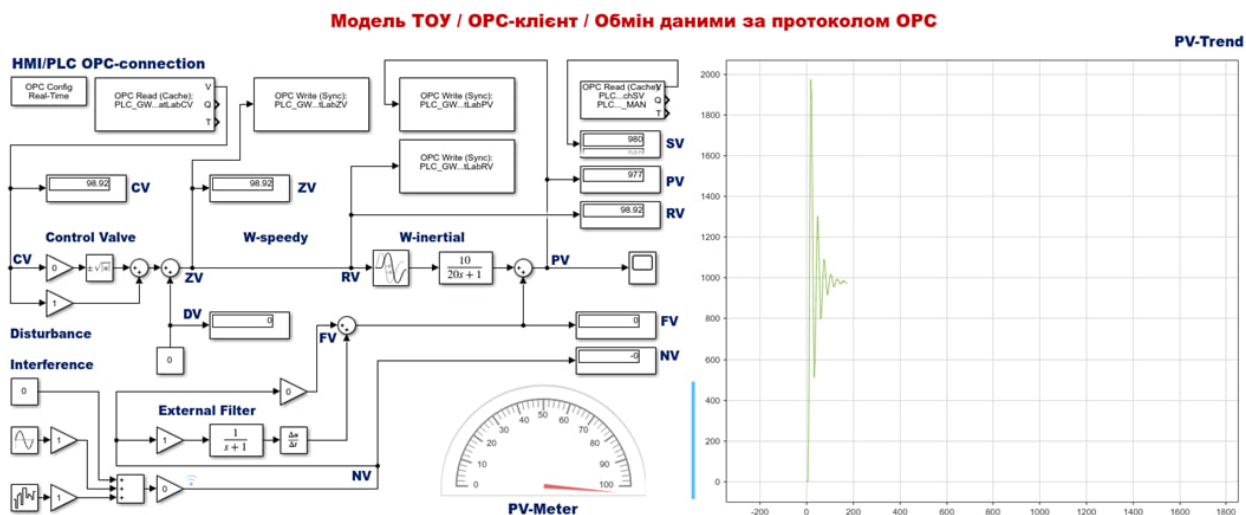


Рисунок 5.10 – Універсальна модель ТОУ об'єкта в режимі роботи

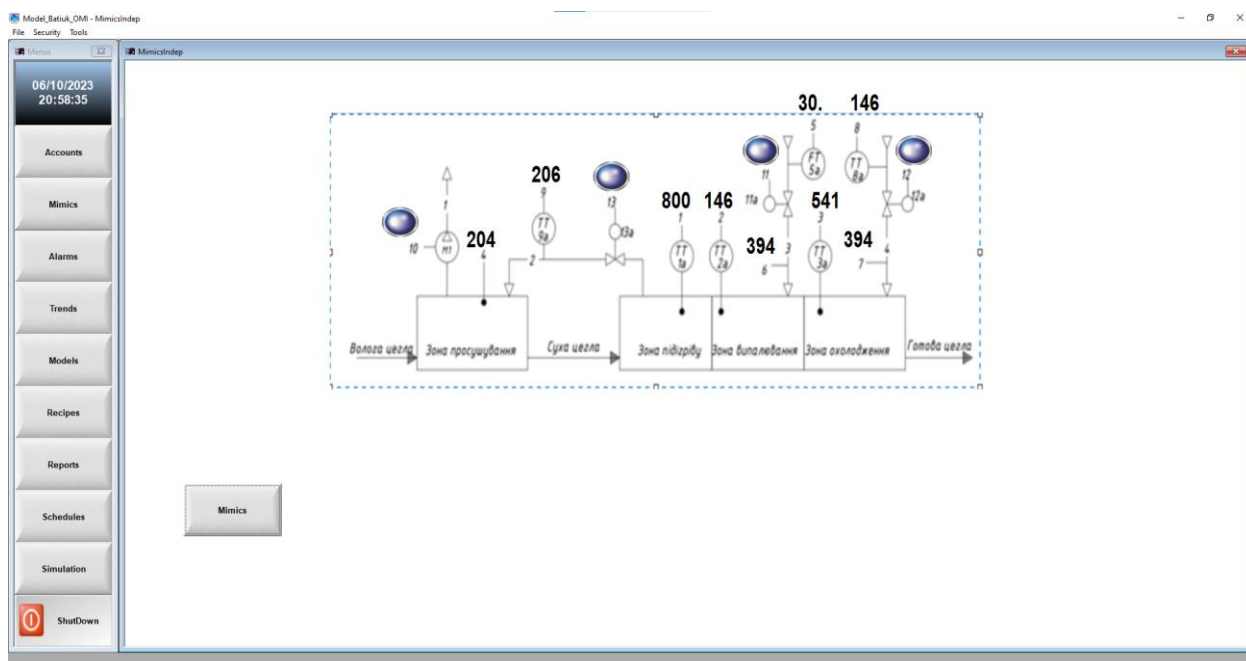


Рисунок 5.11 – Вікно Mimics

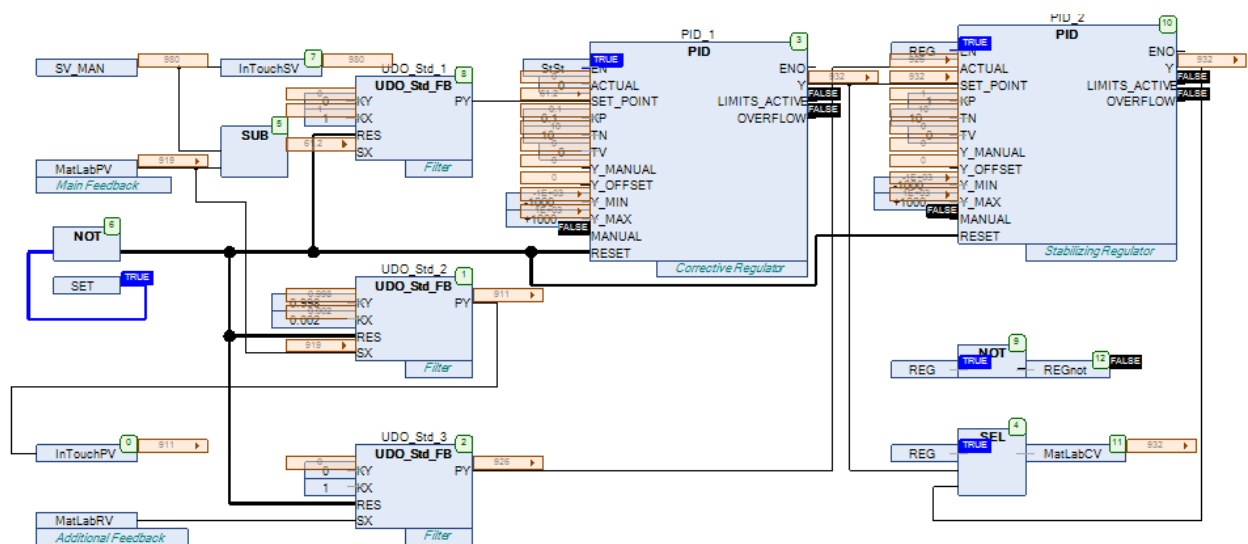


Рисунок 5.12 – Візуалізація роботи АСР температури в зоні випалювання

РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці охоплює комплекс заходів та положень, що спрямовані на збереження здоров'я та працездатності людини під час виконання трудових обов'язків. Питання охорони праці повинні бути враховані при організації всіх виробничих процесів. Правова основа охорони праці ґрунтується на Конституції України та Законі України "Про охорону праці". Останній закон встановлює основні положення щодо реалізації конституційного права громадян на охорону їхньої трудової діяльності, регулює відносини між власником підприємства, установою або організацією, уповноваженим органом та працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища, а також встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні.

Відповідальність за виконання всіх правил та заходів з охорони праці покладена на адміністрацію підприємств, установ та організацій. Державний нагляд та громадський контроль спостерігають за станом охорони праці, дотриманням працевлаштованою законодавству та правилам охорони праці.

Тема дипломного проекту – «АСК печі для випалювання цегли».

Параметри температур:

1. Температура в нагрівальній зоні (300 – 600 °C).
2. Температура у зоні випалювання (700 – 980 °C).
3. Температура у зоні охолодження (300 – 600 °C).

Технічні засоби системи автоматизації розташовуються наступним чином:

- 6.1. На технологічному обладнанні та навколо нього розміщуються засоби збору та отримання технологічної інформації, нормуючі перетворювачі (датчики, первинні перетворювачі), виконавчі механізми та місцеві керуючі пристрої.

					ТА92423.0006.001 АТХ.П	Лист
						89
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6.2. У приміщенні операторського пункту комплексу розташовані пристрої, які призначені для відображення інформації та забезпечення оперативного керування. Також тут знаходиться обладнання, що включає в себе мікропроцесори та пристрої обчислювальної техніки.

У дипломному проекті, зважаючи на тему, були запропоновані технічні рішення та організаційні заходи з безпеки експлуатації засобів автоматизації тунельної печі випалу цегли. Також були визначені основні заходи з електробезпеки, гігієни праці, виробничої санітарії та пожежної безпеки і профілактики.

					ТА92423.0006.001 АТХ.П	Лист
						90
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6.1. Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки експлуатації об'єкта

Робоче місце оператора пульта керування розташоване у відокремленому від об'єкта приміщенні з площею 30 м². У цьому приміщенні розміщені щити та пульти для контролю і спостереження за технологічним процесом. Електрична система використовується для передачі сигналів від датчиків і вимагає ретельного дотримання правил експлуатації та постійного підтримання справності технологічного устаткування. У приміщенні також розташовані пристрої сигналізації і зв'язку, такі як світлові табло, індикатори і телефон.

Розташування щитів і пультів в приміщенні розраховане таким чином, щоб оператор міг працювати без зайвих рухів. Планування робочого місця забезпечує комфортну робочу позу та звільняє працюючу людину від стомлюючих трудових рухів. Розміри робочої поверхні столу становлять 1000x700 мм. Робоче місце розроблене з урахуванням технічної естетики, ергономіки та антропометричних даних тіла людини.

Оскільки робота оператора є монотонною і вимагає керування великими потоками електричної енергії, навіть найменші помилки можуть мати серйозні наслідки. Тому передбачено чергування робочих і відпочинкових періодів для забезпечення ефективності праці та збереження здоров'я. Робота проводиться за графіком, тривалість однієї зміни складає 8 годин, а нічний режим триває на 1 годину менше. Передбачено також паузи і перерви для відпочинку, прийому їжі та позбавлення монотонності роботи та психологічного напруження. Крім того, приміщення містить спеціальну кімнату відпочинку.

Особлива увага приділена розташуванню кнопок, органів керування та перемикачів. Вони розташовані на визначеній висоті від підлоги, забезпечуючи зручність роботи оператора. Необхідні зусилля для включення або відключення вручну є незначними. Стіни приміщення пофарбовані в

					ТА92423.0006.001 АТХ.П	Лист
						91
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

неяскравий, малоконтрастний ясно-сірий колір, що не розсіює увагу оператора. Підлога є рівною та неслизькою. Висота приміщення становить 4 метри.

Сходи та майданчики обслуговування обгороджені перилами висотою не менше 1 метра з бортовим елементом по низу перил не менше 0,15 метра. Відстань від рівня майданчика до верхнього перекриття складає не менше 2 метрів. Сходи виконані з листової просіченої сталі товщиною 5 мм. Елементи обладнання, арматура та прилади розташовані в місцях, зручних для обслуговування.

Загалом, вимоги безпеки до технологічного обладнання відповідають поставленим нормам.

Для контролю за параметрами встановлено такі засоби:

- Термопари, які монтуються в трубопроводи для вимірювання температури.
- Датчики тиску, які розміщуються поруч з трубопроводами для вимірювання тиску в них.
- Витратоміри, які монтуються в трубопроводи для вимірювання об'єму витрат робочої речовини.
- Засувки і вентиля, які вимагають значних зусиль для відкриття, обладнані обвідними лініями та механічними або електричними приводами.

Частини обладнання, які рухаються та можуть бути доступними для персоналу, обладнані механічними огороженнями, такими як захисні сітки.

Всі гарячі частини обладнання та трубопроводи, до яких може бути дотик, обгорнуті тепловою ізоляцією. Матеріал ізоляції вибирається таким чином, щоб температура її поверхні не перевищувала 40 °С при температурі навколишнього повітря 25 °С.

					ТА92423.0006.001 АТХ.П	Лист
						92
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для забезпечення безпечної та зручної експлуатації засобів автоматизації передбачені такі рішення:

- Наявність безпечних та зручних проходів та робочих площадок, ширина яких становить 1 м (рахуючи від виступаючих частин, що використовуються для обслуговування апаратури та контрольно-вимірювальних приладів).
- Виконавчі механізми розміщені на газо- і повітропроводах, де немає можливості випадкового доступу людини, і захищені захисною сіткою, що забезпечує безпечну експлуатацію обладнання.
- Аварійні органи керування (кнопки та вимикачі) мають червоний колір та відрізняються формою від інших елементів. Вони не можуть бути випадково вимкнуті.

При монтажі щита передбачається наявність спеціального проходу шириною не менше 1 м між стіною та відкритими дверима для забезпечення зручного доступу до нього.

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

За проектом передбачена 4-провідна 3-фазна електромережа з глухозаземленою нейтраллю і робочою напругою 220/380 В, а також додатково 2-провідна 1-фазна електромережа з глухозаземленою нейтраллю і робочою напругою 220 В.

У робочих приміщеннях мають місце фактори підвищеної електробезпеки, такі як підвищена температура повітря більше 35 °С, вологість більше 75%, наявність струмопровідної підлоги, струмопровідного полу, а також можливість одночасного контакту персоналу з

					ТА92423.0006.001 АТХ.П	Лист
						93
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електропровідними частинами корпусів електроспоживачів та з металоконструкціями будівлі, що мають контакт із землею. З цих причин приміщення відноситься до категорії приміщень з підвищеною небезпекою електротравматизму.

Для захисту від статичної електрики всі металеві підземні конструкції на уведеннях у будинки з'єднані між собою і приєднуються до контуру заземлення. Естакади трубопроводів заземлюються через кожні 250 метрів і на кінцях.

У проекті прийняте електротехнічне устаткування, включаючи апаратуру, кабелі і проводи, розподільні пристрої різних видів і напруги, які відповідають робочим умовам як у нормальних режимах, так і при коротких замиканнях та перевантаженнях.

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

Робоче відділення та щит управління спроектовані з урахуванням діючих санітарних норм та вимог. При проектуванні враховується розміщене в них обладнання, а також дотримання санітарно-гігієнічних умов та вимог з техніки безпеки.

6.2.1 Мікроклімат робочої зони

Параметри мікроклімату робочої зони, що нормуються:

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

Оптимальні параметри мікроклімату наведені в таблиці 1.

					ТА92423.0006.001 АТХ.П	Лист
						94
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 6.1 – Параметри мікроклімату

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

6.2.2 Склад повітря робочої зони

Для розпалювання цегли у печах важливим аспектом є склад повітря в робочій зоні. Оптимальний склад повітря допомагає забезпечити ефективне горіння та випалювання цегли, а також покращує якість продукції і, головне, зменшує кількість шкідливих викидів, що дуже важливо з точки зору дотримання вимог з гігієни праці та виробничої санітарії.

При розпалюванні цегли, в робочій зоні печі повинно бути наявне достатнє кількість кисню, яке необхідне для горіння палива. При цьому, важливо забезпечити оптимальне співвідношення між паливом (наприклад, дровами або вугіллям) та киснем, щоб забезпечити повне та ефективне згорання.

Крім кисню, у робочій зоні можуть присутні інші складові повітря, такі як азот, вуглекислий газ та водяна пара. Їх концентрація може варіюватися залежно від умов та технології випалювання. З метою забезпечення оптимального складу повітря, можуть застосовуватися різні методи контролю та регулювання, наприклад, застосування вентиляційних систем, системи подачі повітря та контролю рівня кисню.

Важливо враховувати, що неправильний склад повітря може призводити до неповного горіння, утворення нежеланих продуктів згорання та забруднення димових газів. Тому, при проектуванні та експлуатації печей для

випалювання цегли необхідно враховувати вимоги щодо складу повітря в робочій зоні з метою забезпечення оптимальних умов для горіння та якісного випалювання цегли.

Оптимальний склад повітря в робочій зоні печі для випалювання цегли може бути досягнутий за допомогою наступних методів і заходів:

1. Контроль рівня кисню: Важливо мати систему контролю рівня кисню у робочій зоні печі. Це може включати в себе використання киснезабезпечувальних систем або датчиків кисню, які моніторять концентрацію кисню в повітрі. За допомогою цих систем можна регулювати подачу кисню у печ для забезпечення оптимального співвідношення між киснем та паливом.
2. Вентиляційна система: Використання вентиляційної системи допомагає забезпечити постачання свіжого повітря в робочу зону та відведення продуктів згоряння. Це допомагає підтримувати оптимальний рівень кисню, а також видаляти шкідливі гази та пил, які можуть виникати під час процесу випалювання цегли.
3. Контроль вологості: Вологість повітря в робочій зоні може впливати на якість випалювання цегли. Перевищена вологість може спричинити затримку випалювання та погіршення якості продукції. Тому важливо мати системи контролю та регулювання вологості, такі як осушувачі або системи кондиціонування повітря, щоб забезпечити оптимальну вологість у робочій зоні.
4. Використання фільтрів: У печах для випалювання цегли може бути присутній пил або інші забруднюючі частки. Встановлення фільтрів у системі вентиляції допомагає зменшити введення шкідливих речовин у робочу зону та забезпечити чисте повітря.
5. Регулювання температури: Оптимальна температура у робочій зоні також важлива для процесу випалювання цегли. Використання систем регулювання температури дозволяє підтримувати стабільну

					ТА92423.0006.001 АТХ.П	Лист
						96
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

та оптимальну температуру, що сприяє ефективному випалюванню цегли та досягненню високої якості продукції.

Ці заходи спрямовані на забезпечення оптимального складу повітря в робочій зоні печі для випалювання цегли, що сприяє ефективному горінню, покращенню якості продукції та зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище.

Для захисту працівників від негативного впливу шкідливих речовин та для забезпечення чистоти повітря в робочій зоні і нормованих значень параметрів мікроклімату застосовуються такі заходи:

1. Використання індивідуального захисту, таких як захисні маски, рукавички і т.д.
2. Використання пиловловлювачів для утримання шкідливих пилових частинок у повітрі.
3. Герметизація обладнання для запобігання витоку шкідливих речовин.
4. Для забезпечення вимог щодо мікроклімату відповідно до нормативів, проект передбачає наступні заходи:
5. В робочих цехах:
 - Система відведення конвертерних газів.
 - Встановлення системи вентиляції.
6. У приміщенні щитової:
 - Використання природної вентиляції, таких як витяжні зонти та шафи.
 - Встановлення кондиціонерів для підтримки комфортної температури та вологості.

					ТА92423.0006.001 АТХ.П	Лист
						97
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6.2.3. Виробниче освітлення

Рациональне освітлення є одним з найважливіших аспектів у виробничому середовищі, оскільки воно забезпечує необхідні умови для виконання робітниками своїх обов'язків. Для досягнення високої якості освітлення необхідно забезпечити стабільну і раціональну розподіленість світлового потоку без різких тіней.

В даному випадку ми проведемо розрахунок загального рівномірного освітлення робочої зони оператора, яка знаходиться в окремому приміщенні будівлі. Враховуючи великий коефіцієнт віддзеркалення стін і стелі лабораторії, будемо використовувати метод розрахунку на основі коефіцієнта використання світлового потоку.

Для освітлення використовуватимемо люмінесцентні лампи типу ЛД-80 та систему загального рівномірного освітлення. З урахуванням світлих стін і стелі, проведемо розрахунок освітлення з використанням коефіцієнта використання світлового потоку.

Визначимо необхідне загальне число світильників:

$$N = \frac{E_H * S * K * Z}{n * \eta_L * F_L}$$

$E_H = 300$ лк – нормована освітленість.

$S = ab = 10 * 3 = 30$ м² – площа освітлюваного приміщення.

$K = 1.15$ – коефіцієнт запасу.

$n = 6$ – число ламп в світильнику.

$F_L = 4$ лм – світловий потік однієї лампи.

$Z = 1.1$ – коефіцієнт нерівномірності освітлення.

η_L – коефіцієнт використання світлового потоку.

Розрахуємо індекс приміщення:

$$i = \frac{S}{h_c(a+b)} = \frac{S}{(h-h_p)(a+b)} = \frac{30}{(4-0.7)(10+3)} = 0.7$$

Коефіцієнт відбиття:

$\rho_{сл} = 70$ – коефіцієнт відбиття стелі.

					ТА92423.0006.001 АТХ.П	Лист
						98
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\rho_{\text{ст}} = 50$ – коефіцієнт відбиття стіни.

$\rho_{\text{п}} = 10$ – коефіцієнт відбиття підлоги.

Далі за індексом приміщення і коефіцієнтами відбиття визначається $\eta_{\text{л}} = 27\%$.

$$N = \frac{300 * 30 * 1.15 * 1.1}{6 * 27 * 4} = 18$$

6.2.4. Виробничий шум

Рівень шуму регулюється за межами припустимих спектрів, що означає, що встановлюється припустимий рівень звуку в децибелах (дБА). На робочому місці допустимий рівень шуму становить 60 дБА. Нормування звуку здійснюється в залежності від характеру роботи (відповідно до таблиці 2).

Таблиця 6.2 – Нормування за допустимим рівнем звуку

Характер виконання робіт	Норма, дБа	Факт, дБа
Обслуговування трубопроводів	80	87-90
Обслуговування вентиляторів	85	86-91
Обслуговування теплообмінника	80	До 85

Для зменшення негативного впливу шуму, який виникає від теплоенергетичного обладнання і перевищує допустимі норми, передбачаються такі заходи:

1. Автоматизація: Застосування автоматичних систем управління може знизити шум, оскільки дозволяє замінити ручну роботу на механізовану, яка може бути менш шумною.
2. Організація щитових приміщень: Обладнання може бути розміщене в спеціально обладнаних щитових приміщеннях, які забезпечують звукоізоляцію та запобігають поширенню шуму на робочі місця.

3. Застосування шумопоглинаючої ізоляції обладнання: Обладнання може бути укрите шумопоглинаючим матеріалом або забезпечене спеціальною ізоляцією, яка допомагає знизити рівень шуму, що випромінюється.
4. Особливе розташування обладнання: При плануванні розташування теплоенергетичного обладнання слід враховувати його віддаленість від робочих зон та використовувати стратегії місцевого звукообмеження, наприклад, розміщуючи вентилятори ззовні головного корпусу або встановлюючи фіксуючі направляючі пристрої у газових та повітряних коробах з підвищеною швидкістю середовища.
5. Встановлення шумопоглиначів: Деякі області обладнання, наприклад, коробки головних запобіжних клапанів, можуть бути обладнані спеціальними шумопоглиначами, які зменшують рівень шуму, що випромінюється.

Ці заходи спрямовані на зниження шуму, забезпечуючи більш комфортні та безпечні умови роботи для персоналу.

					ТА92423.0006.001 АТХ.П	Лист
						100
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6.2.5. Виробничі вібрації

Рівень вібрації устаткування на робочих місцях також не повинен перевищувати допустимі значення, що наведені у таблиці 3.

Таблиця 6.3 – Санітарні норми спектральних показників вібраційного навантаження на оператора

Середньгеометричні частоти октавних полос, Гц	Нормативні значення у напрямках			
	Віброприскорення		Віброшвидкості	
	м/с ²	дБ	10 ⁻²	дБ
8	1,4	123	2,8	115
16	1,4	123	1,4	109
31,5	2,7	129	1,4	109
63	5,4	135	1,4	109
125	10,7	141	1,4	109
250	21,3	147	1,4	109
500	42,5	153	1,4	109
1000	85	159	1,4	109

З метою зменшення впливу вібрації, застосовуються наступні заходи:

1. Встановлення обладнання на фундаменти з вібропоглинаючих матеріалів.
2. Використання деформаційних швів у фундаменті для зниження загальної вібрації.
3. Встановлення еластичних вставок між вентиляторами та повітроводами для запобігання передачі вібрації від агрегату на повітровід.
4. Застосування компенсаторів в трубопроводах.
5. Використання віброізолюючих прокладок під електроприводами та вентиляторами для зниження вібрації на шляху поширення.

Ці заходи забезпечуються конструкцією устаткування, яка відповідає відповідним вимогам, а також застосуванням спеціальних пристроїв для зниження шуму, таких як шумоглушники та звукоізоляція джерел шуму.

Приміщення, де постійно перебуває експлуатаційний персонал (наприклад, блочний щит керування, лабораторії, адміністративні приміщення), мають звукоізоляційні обгороджуючі конструкції, які поглинають шум. У приміщеннях, де обслуговуючий персонал перебуває періодично (обхідники, ремонтники), передбачаються спеціальні шумозахисні кабінки або використання індивідуальних засобів захисту.

6.3. Пожежна безпека та профілактика

6.3.1. Технічні рішення системи запобігання пожежі

Небезпека виникнення пожежі у робочих приміщеннях пов'язана з наявністю значної кількості горючих матеріалів, таких як паливо, мастило, системні змащувальні речовини, а також з наявністю розгалуженої кабельної системи з великими струмовими навантаженнями, високими температурами теплоносіїв та вихідних газів, а також поверхнями теплового обладнання.

На об'єкті передбачаються комплексні заходи, які включають профілактичні заходи, а також спеціальні системи для виявлення та гасіння пожеж. Протипожежна профілактика забезпечується дотриманням норм і правил пожежної безпеки.

Враховуючи пожежонебезпечні властивості речовин, що використовуються в приміщенні, визначається категорія виробництва з пожежної безпеки та клас приміщень згідно з Правилами улаштування електроустановок (ПУЕ). Зазначені дані дозволяють віднести приміщення промислового об'єкта до відповідних категорій за вибухопожежною небезпекою.

					ТА92423.0006.001 АТХ.П	Лист
						102
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 6.4 – категорії приміщень і клас приміщень по ПУЕ

Приміщення	Категорія приміщень	Тип ступінь вогнетривкості	Клас зон по ПУЕ-86
ГРП	A	11	B-1
Приймально – зливний пристрій	B	11	П-IIa
ЗРУ	A	11	П-IIa

Джерелами можливого виникнення пожежі в приміщенні можуть бути: коротке замикання, перевантаження електромереж, захламленість приміщення, несправність освітлювальних приладів та діяльність оператора. З метою запобігання пожежі були прийняті наступні заходи:

- Застосування плавких запобіжників та електромагнітних розщиплювачів для захисту від коротких замикань та перевантажень.
- Електрична мережа з напругою 220 В прокладена у вініпlastових трубах, які вбудовані в підлогу та стіни.
- Проведення постійного нагляду за освітлювальними установками, включаючи регулярне очищення освітлювальних приладів, своєчасну заміну перегорілих ламп, а також поточний і профілактичний ремонт.
- Контроль за справністю електропроводки.
- Використання вибухозахищених виконавчих пристроїв.

Всі ці заходи призначені для забезпечення безпеки та запобігання можливості виникнення пожежі в приміщенні.

6.3.2. Технічні рішення системи протипожежного захисту

На території об'єкта розміщуються спеціальні пожежні щити, на яких розміщений пожежний інвентар, інструменти та вогнегасники. У приміщенні АСУТП передбачено наступні первинні засоби пожежогасіння:

- Три вуглекислотні вогнегасники типу ВВ-3.
- Три вуглекислотні вогнегасники типу ВВ-5.
- Ящик з піском об'ємом 0,5 м³.

Згідно з вимогами ДБН В.2.5-56-2014 передбачена автоматична пожежна сигналізація, живлення якої здійснюється від мережі змінного струму напругою 220 В. До її складу входять сповіщувачі, які встановлені у робочих приміщеннях та підключені до прийомної станції, а також світло-звукові оповіщувачі. У разі виникнення пожежі за допомогою світлових і звукових сигналів сповіщається обслуговуючий персонал та пожежна команда. Сповіщувачі є автоматичними комбінованими, тобто поєднують в собі функції димових і теплових сповіщувачів.

					ТА92423.0006.001 АТХ.П	Лист
						104
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 7 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК

7.1 Кошторис створеної автоматичної системи керування

Таблиця 7.1 – Кошторис

№ п/п	Найменування	Од. вим.	К- сть	Вартість одиниці, грн			Загальна вартість,грн		
				Об-лад.	Монтаж робіт		Об-лад.	Монтаж робіт	
					Всього	З/П		Всього	З/П
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Контролер Phoenix Contact AXC 1050	Шт.	1	18081,86	1808,18	54,25	18081,86	1808,18	1808,18
2	Модуль AXL P EX IS A18 HART 1F	Шт.	2	26706,76	2670,68	80,12	53413,52	5341,35	5341,35
3	Модуль AXL F AO8 XC 1F	Шт.	1	24511,43	2451,14	73,53	24511,43	2451,14	2451,14
4	Модуль AXL SE DO16/1	Шт.	1	4540,52	454,05	13,62	4540,52	454,05	454,05
5	Вимикач ВА63 1П+Н 16А С	Шт.	2	178	17,8	0,53	356	35,6	35,6
6	Вимикач Schneider Electric RESI9 16A	Шт.	1	121	12,1	0,36	121	12,1	12,1
7	Блок живлення БЖ 1230	Шт.	1	5245	524,5	15,74	5245	524,5	524,5
8	Перетворювач частоти ATV320	Шт.	1	7983,57	798,35	23,95	7983,57	798,35	798,35
9	Електродвигун AIP71B2	Шт.	1	3 189	3 18,9	9,57	3189	318,9	318,9
10	Датчик температури Rosemount 0065	Шт.	2	2739,82	273,98	8,22	5479,64	547,96	547,96
11	Виконавчий механізм Belimo EV24A-SZ- TPC	Шт.	3	23 148	2314,8	69,44	69444	6944,4	6944,4
12	Датчик тиску PX2 SERIES	Шт.	2	1655,78	165,57	4,97	3311,56	331,16	331,16

Продовження таблиці 7.1

13	Датчик тиску Model 264	Шт.	1	1845,37	184,53	55,36	1845,37	184,54	184,54
14	Витратомір Rosemount 8800D	Шт.	1	95683,18	9568,32	287,05	95683,18	9568,32	9568,32
15	Датчик температури Rosemount 214C	Шт.	3	6632,48	663,25	19,90	19897,44	1989,74	1989,74
16	Перетворювач температури Rosemount 3144P	Шт.	3	10885,07	1088,51	32,66	32655,21	3265,52	3265,52
17	Кабель КВВГ 4х1.5	Шт.	60	41	4,10	0,12	2460	246,00	246,00
18	Кабель ПРП 5х2.5	Шт.	15	65,61	6,56	0,20	984,15	98,42	98,42
19	Кабель ВВГ 4х2.5	Шт.	25	37,61	3,76	0,11	940,25	94,03	94,03
20	Кабель КВВГ 2х0.75	Шт.	30	20	2,00	0,06	600	60,00	60,00
21	Кабель КВВГ 3х0.75	Шт.	120	20,19	2,02	0,06	2422,8	242,28	242,28
22	Щит ЩШМ 800х600х150	Шт.	1	4636	463,60	13,91	4636	463,60	463,60

Загальна вартість обладнання - 357801,5 грн.

Комплектація обладнання – 3578 грн.

Заготівельно-складські витрати – 4293,62 грн.

Тара пакування – 7156,03 грн.

Планові накопичення – 2862,41 грн.

Непередбачені виплати – 35780,15 грн.

Загальна вартість кошторису – 411471,71 грн.

7.2 Розрахунок економічної ефективності САР

Річний економічний ефект:

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

Де $E_{\text{н}} = 0.15$ - коефіцієнт ефективності, що є нормативною величиною;

					ТА92423.0006.001 АТХ.П	Лист
						106
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

Термін окупності:

$$T_{\text{окуп}} = \frac{\Delta K_{\text{авт}}}{\Delta U}, \text{рік}$$

Для створення печі потрібно зробити одноразові витрати у розмірі 411471,71 грн.

$$\Delta K_{\text{авт}} = 411471,71 \text{ грн.}$$

Нехай $T_{\text{окуп}}^* = 4$ роки.

Економія витрат ΔU розраховується за формулою:

$$\Delta U = E_{\text{к}} - \Delta B_{\text{авт}}$$

Де $\Delta B_{\text{авт}}$ – додаткові витрати на обслуговування системи;

$E_{\text{к}}$ - економія від введення автоматизації.

$E_{\text{к}}$ – досягається за рахунок точнішого регулювання, зниження ймовірності аварії. Використання АСР зменшує витрату газу на 1 %.

$$E_{\text{к}} = 8680000 \text{ грн/рік.}$$

$$\Delta B_{\text{авт}} = B_{\text{е}} + B_{\text{а}} + B_{\text{р}} + B_{\text{з}}$$

Де $B_{\text{е}}$ - витрати на електроенергію, грн/рік;

$B_{\text{а}}$ - амортизаційні відчислення, грн/рік;

$B_{\text{р}}$ - витрати на ремонт та обслуговування, грн/рік;

$B_{\text{з}}$ - витрати на заробітню плату, грн/рік;

$$B_{\text{а}} = 0,12 \Delta K_{\text{авт}}$$

$$B_{\text{р}} = 0,15 \Delta K_{\text{авт}}$$

$$B_3 = k * T * 3П$$

k – кількість робітників.

T – час роботи в місяцях.

$3П$ – заробітня плата.

$$B_e = C_e * S * T$$

C_e - тариф на електроенергію (2,64 грн/кВт*год);

S – сумарна потужність приладів;

T – час роботи за рік;

Отже:

$$B_a = 49376,61 \text{ грн/рік}$$

$$B_p = 61720,75 \text{ грн/рік}$$

$$B_e = 693000 \text{ грн/рік}$$

$$B_3 = 10000 \text{ грн/рік}$$

$$\Delta B_{\text{авт}} = 814097,36 \text{ грн/рік}$$

$$\Delta U = 7865902,64 \text{ грн/рік}$$

$$T_{\text{окуп}} = 0,62 \text{ рік}$$

З чого можна зробити висновок, що система є економічно вигідною.

					ТА92423.0006.001 АТХ.П	Лист
						108
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У дипломному проекті було розглянуто різні аспекти виробництва цегли, з особливим акцентом на процес випалу. Об'єктом автоматизації була тунельна піч для випалу цегли. Після аналізу існуючих структур печей були виявлені їх позитивні та негативні аспекти, такі як висока вартість, складність або низька продуктивність. На основі цього аналізу був розроблений варіант власної реалізації.

Була спроектована структурна схема печі випалу, демонструючи основні механізми. На основі цієї схеми були виділені частини, яким треба приділити найбільшу увагу.

Для кожної з трьох теплових зон печі були проведені розрахунки, які підтвердили їхню працездатність. Зона підігріву здатна підняти температуру виробів до 600 °C, що дозволяє ввести вагонетку з виробами в зону випалу. Зона випалу здатна швидко нагріти вироби до температури понад 980 °C і підтримувати їх на цьому рівні. Зона охолодження може повільно охолодити вироби, не створюючи в них напруг.

Після розрахунків було проведено моделювання печі в середовищі Simulink програмного пакету Matlab. В результаті була розроблена функціональна схема, яка використовувалась для вибору окремих вузлів та елементів автоматизації.

Отримані результати проектування включають геометричні розміри каналу печі, набір засобів автоматизації та проведене проектування печі, що надає можливість її фізично реалізувати, якщо це буде необхідно.

					ТА92423.0006.001 АТХ.П	Лист
						109
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Технология производства кирпича. URL: <https://litos.in.ua/технология-производства-кирпича/> (дата звернення: 13.06.2023).
2. Топ виробників цегли. URL: <https://blog.mehbud.com.ua/uk/other/top-vyrobnykiv-tsehly-v-ukrayini/> (дата звернення: 13.06.2023).
3. Голінко І. М. Процес випалювання кераміки як об'єкт автоматизації// - К. АТЕП, 2008.
4. How Clay Brick Tunnel Kiln Machines Works in India. URL: <https://wangdaindia.wordpress.com/2016/08/19/how-clay-brick-tunnel-kiln-machines-works-in-india/> (дата звернення: 13.06.2023).
5. Modeling of the tunnel kiln control system taking into account the features of the pid controller and fuzzy logic. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2131/2/022022/pdf> (дата звернення: 13.06.2023).
6. Appian Documentation. URL: <https://docs.appian.com/suite/help/23.2/> (дата звернення: 13.06.2023).
7. ДСТУ Б А.2.4-3-95 (ГОСТ 21.408-93). Правила виконання робочої документації автоматизації технологічних процесів

					ТА92423.0006.001 АТХ.П	Лист
						110
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		