

Міністерство освіти і науки України

Сумський державний університет

Кафедра комп'ютерних наук

Секція комп'ютеризованих систем управління

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри КН

\_\_\_\_\_ А. С. Довбиш

“ \_\_\_\_ “ \_\_\_\_\_ 2020 р.

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА**

зі спеціальності 151- Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

на тему: "Система управління процесом випалу силікатної цегли"

Керівник роботи

к.т.н., доцент

Черв'яков В.Д.

Дипломник

студент гр. СУ-91

Дерев'янченко І.А.

Суми – 2020

## РЕФЕРАТ

Дерев'янченко Ігор Андрійович. Система управління процесом випалу силікатної цегли. Магістерська дипломна робота. Сумський державний університет. Суми, 2020 р.

Система автоматизації розроблена на базі мікропроцесорного ПЛК Siemens S7-300

Дипломний проект складається з розрахунково-пояснювальної записки й графічного матеріалу.

Розрахунково-пояснювальна записка містить 92 сторінок: вступ, опис технологічного процесу, опис контурів керування та контролю, вибір засобів автоматизації, реалізація системи керування, заходи охорони праці на робочому місці оператора, висновки.

Графічний матеріал містить 3 креслення: схема інформаційно-матеріальних потоків (аркуш формату А4), функціональна схема автоматизації (аркуш формату А3).

В роботі описаний технологічний об'єкт.

Розроблені контури регулювання.

Обране обладнання для побудови системи.

Розроблений пакет необхідних креслень.

## **ABSTRACT**

Derevyanchenko Igor Andreevich. Silicate brick firing control system. Master's thesis. Sumy State University. Sumy, 2020

The automation system is based on the Siemens S7-300 microprocessor PLC

The diploma project consists of a calculation and explanatory note and graphic material.

The settlement and explanatory note contains 92 pages: introduction, description of technological process, description of control and control circuits, choice of automation means, implementation of control system, labor protection measures at the operator's workplace, conclusions.

The graphic material contains 3 drawings: the scheme of information and material flows (A4 sheet), the functional scheme of automation (A3 sheet).

The paper describes the technological object.

The contours of regulation are developed.

Selected equipment for building the system.

A package of necessary drawings has been developed.

Міністерство освіти і науки України  
Сумський державний університет  
Кафедра комп'ютерних наук

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

\_\_\_\_\_ А. С. Довбиш

“ \_\_\_\_\_ “ \_\_\_\_\_ “ 2020 р.

### ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра

Тема роботи: Система управління процесом випалу сілікатної цегли.

Затверджено наказом ректора університету № 2361- III від 21.01.2021 р.

Термін подання закінченої роботи 10.12.2020 р.

Вихідні дані до роботи: технічна документація випільної печі, завдання кафедри.

Зміст роботи: конструктивно-технологічна характеристика об'єкта автоматизації, функціональна схема автоматизації, автоматичн регулювання технологічних параметрів, комп'ютерно-ітегрована система управління.

Графічні матеріали: функціональна схема автоматизації, функціональні та структурні схеми локальних систем управління, алгоритми управління, SCADA- система диспетчерізації процесів управління.

## Календарний план виконання роботи

Номер етапу	Зміст етапу	Терміни виконання
1	Аналіз завдання кафедри. Підбір та аналіз літератури. Відбір аналогів та прототипів.	01.10.2020-15.10.2020
2	Опис об'єкту автоматизації. Задачі автоматизації. Аналіз відомих технічних рішень	16.10.2020-25.10.2020
3	Розробка функціональної схеми автоматизації. Вибір обладнання	26.10.2020-05.11.2020
4	Розробка алгоритмів управління. Аналіз якості процесів регулювання технологічних параметрів	06.11.2020-25.11.2020
5	Розробка SCADA – системи диспетчеризації процесів управління	26.11.2020-30.11.2020
6	Оформлення кваліфікаційної роботи та її презентації	01.12.2020-10.12.2020
7	Подання роботи керівнику. Рецензування.	11.12.2020-15.12.2020

Дата видачі завдання «20» 09. 2020 р.

Керівник проекту:

к. т. н., доцент

Черв'яков В. Д.

До виконання прийняв:

студент групи СУм-91

Дерев'янченко І. А.

## ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ .....	8
ВСТУП .....	9
РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АГРЕГАТ ВИПАЛУ СИЛІКАТНОЇ ЦЕГЛИ ЯК ОБ'ЄКТ ТЕХНОЛОГІЇ .....	10
1.1. Загальна характеристика агрегату як технологічної схеми.....	10
1.2. Конструктивна характеристика агрегату випалу силікатної цегли .....	14
1.3. Технологічний процес випалу силікатної цегли.....	19
1.4. Аналітичний огляд відомих систем автоматизації технологічного процесу випалу силікатної цегли .....	26
1.5. Об'єкт і предмет дослідження.....	35
1.6. Висновки до розділу 1. Постановка задачі дослідження.....	39
РОЗДІЛ 2. ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	41
РОЗДІЛ 3. ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ .....	56
Висновки до розділу 3.....	60
РОЗДІЛ 4. СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ ВИКОНАВЧИХ МЕХАНІЗМІВ .....	62
4.1. Використання систем електроприводу у автоматизації автоклаву для випалювання силікатної цегли .....	62
4.2. Імітаційне моделювання управління електроприводом автоклаву .....	65
4.3. Висновки до розділу 4.....	71
РОЗДІЛ 5. СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ТА ВОЛОГОСТІ В КАМЕРІ ПЕЧІ.....	72
5.1. Принципи регулювання температурою та вологістю у автоклавній печі.....	72
5.2. Імітаційне моделювання процесу регулювання температури і вологості в автоклаві .....	77
Висновки до розділу 5.....	84
ВИСНОВКИ .....	84
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	86
Додатки .....	Ошибка! Закладка не определена.
Додаток А. ....	Ошибка! Закладка не определена.
1.1. Засоби вимірювання контрольованих параметрів...Ошибка! Закладка не определена.	
1.2. Засоби перетворення сигналів.....Ошибка! Закладка не определена.	
1.3. Засоби обробки та вивчення сигналів.....Ошибка! Закладка не определена.	
1.4. Механізми управління технологічними процесами.Ошибка! Закладка не определена.	

**1.5. Програмований логічний контролер .....Ошибка! Закладка не определена.**  
**Додаток Б .Функціональна схема автоматизації.....Ошибка! Закладка не определена.**  
**Додаток В. Лістинг управляючої програми для керування підсистемою управління температурою і вологістю цегли в камері автоклаву .....Ошибка! Закладка не определена.**

## СПИСОК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АСУ – автоматизована система управління.

АП – автоклавна піч.

АСУ ТП – автоматизована система управління технологічним процесом.

ДТ – датчик.

ЕП – електропривід.

ОУ – об'єкт управління.

ПЛК – програмований логічний контролер.



## ВСТУП

Силікатна цегла – один з різновидів будівельної цегли, яка зараз є основним матеріалом для будівництва стін. Виготовлення такої цегли почалося наприкінці XIX століття. В Україні силікатна цегла з'явилась на початку XX століття, проте її масове виробництво було розпочато після Другої Світової війни.

Силікатна цегла в Україні виробляється більш ніж на 20 заводах. У загальній структурі виробництва стінових матеріалів на частку силікатної цегли припадає близько 26-27%, тобто вона займає друге місце після цегли керамічної (44-45%).

Інтенсифікація технологічних процесів і підвищення вимог до якості готової продукції роблять в ряду випадків неможливим ручне управління, як окремими процесами, так і їх сукупністю, внаслідок чого постає питання про комплексної автоматизації, про виключення керування в управлінні процесахми.

Для кожного рівня розвитку технологічного процесу існує раціональна межа обсягу автоматизації, під яким розуміється максимальна оснащеність технологічного агрегату комплексом засобів і систем автоматизації, що мають термін окупності, який не перевищує гранично допустимої величини. Для кожного агрегату існує свій раціональний обсяг автоматизації.

В даній роботі система автоматизації процесу виробництва силікатної цегли, а зокрема – її САР процесом випалювання силікатної цегли (в автоклавній печі), по якій проводиться синтез і аналіз якості функціонування.

# РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АГРЕГАТ ВИПАЛУ СИЛКАТНОЇ ЦЕГЛИ ЯК ОБ'ЄКТ ТЕХНОЛОГІЇ

## **1.1. Загальна характеристика агрегату як технологічної схеми**

Силікатна цегла – це будівельний матеріал прямокутної форми, який часто використовується при зведенні та оздобленні стін. Від інших будівельних матеріалів його відрізняє широкий асортимент, екологічна чистота, відмінність забарвлень і невибагливість у догляді.

Сучасні виробничі лінії дозволяють зробити цеглу міцною, морозостійкою і доступним за ціною. Далі розглянемо процес виробництва.

Отримати цеглу можна двома способами: змішаним і централізованим.

Перший спосіб в основному використовують невеликі підприємства. Тут сировина подається окремо на кожен апарат.

На великих цегельних заводах застосовують централізований метод, коли сировинна маса направляється одним потоком в змішувачі, а після йде одночасно на кілька пресів.

Для початку поговоримо про матеріали і речовини, що використовуються для виробництва силікатної цегли.

Силікатна цегла виготовляється з недорогих роздільних матеріалів, а саме: вапно, кварцовий пісок і звичайна вода. В процесі виробництва також використовується барвник (якщо продукт вимагає забарвлення) і компоненти, які допомагають суміші затвердіти.

Основну масу продукту становить пісок. Тому цегельні заводи, зазвичай, розташовують поруч з його багатими родовищами. Якість піску впливає на перебіг реакції з вапном, на формування готової суміші і її подальшу міцність. Перед закладанням в процес виробництва пісок обов'язково обробляють. Готовий варіант не повинен містити сторонніх предметів, каме-

нів, гілок, грудочок глини і листя. Зазначені домішки приведуть до серйозної поломки обладнання та браку продукції.

Відсоток утримання вапна в продукті становить 8%. Вапно повинна мати властивість швидко гаситися і бути перепаленою.

Воду в процесі виробництва цегли застосовують на всіх стадіях. До неї також пред'являють серйозні вимоги по жорсткості. Жорстка вода утворює в промислових котлах накип і ламає обладнання.

Про обладнання для виробництва і розколювання силікатної цегли читайте далі.

Виробнича лінія силікатної цегли включає наступне обладнання:

- Тріскова дробарка – обладнання для дроблення різного матеріалу на дрібні і середні шматки (як у випадку з арболіту).
- Норія – вертикальний транспортер.
- Силос вапна – це циліндричний, сталевий посудину, в якому здійснюється процес гасіння вапна.
- Кульовий млин – обладнання, яке використовується для вторинного подрібнення компонентів.
- Конвеєр гвинтового типу – обладнання використовується для пересування пилоподібних матеріалів.
- Піщаний силос – це циліндричний, сталевий посудину, в якому знаходиться піщано-вапняна суміш.
- Дозатор – пристрій, за допомогою якого безперервно дозуються сипучі суміші.
- Двовалковий змішувач – пристрій для перемішування компонентів. У нього подається сирі склад.
- Бункер для гасіння вапна – ємність, в якій безперервно проходить гасіння вапна.
- Транспортер стрічкового типу – механізм пересування.

- Млин бігунцеві – обладнання для помелу сировини.
- Міст – обладнання з транспортування і вантаження підготовлених сирих цегли в автоклав.
- Прес гідравлічний – обладнання по формуванню модульної цегли.
- Автоклав – обладнання для обробки сирого цегли під тиском.
- Кран – пересувна машина з функціями навантаження, розвантаження і транспортування важкої продукції;
- Навантажувач вилочного типу – це спецтехніка для навантаження цегляної продукції.

Виробництво силікатної цегли – це трудомісткий процес, який вимагає складного обладнання та значних матеріальних витрат.

Виробництво силікатної цегли проходить наступні етапи:

- Складування сировини;
- Попередня підготовка кожного компонента сировини;
- Отримання вапняної речовини;
- Приготування піщано-вапняної суміші;
- Гасіння вапна в отриманій суміші;
- Формування сирого цегли;
- Обробка сирого продукту в автоклаві;
- Упаковка продукції і її складування.

Повна і детальна технологічна схема виробництва силікатної цегли[1] розглянута нижче.

На першому етапі виробництва цегляної маси проводять правильне дозування. Доза компонентів може бути різною. Завершальним кроком у процесі дозування вважається додавання води. Далі йде процес перемішування.

На другому етапі проходить формування. Тут суміш надходить в бункер преса. В основному весь процес проходить в автоматі. Висота блоків ре-

гулюється в самому обладнанні. В останню чергу виріб витримується в автоклавах. Далі продукція надходить на склад і остаточного споживачеві.

Силікатні цеглу виробляють барабаним і силосної способом.

При силосному способі компоненти перемішують, зволожують і направляють в ємність (силос). Там відбувається процес гасіння вапна. Після витримки зо 12 годин, суміш ще раз зволожують і пресують. На закінчення сирій продукт обробляють в автоклаві.

При барабанному виготовленні застосовують подрібнену тонкомолоте вапно. З бункерів пісок і вапно спрямовуються до спеціального барабан, де компоненти перемішуються. Там же відбувається гасіння вапна. На закінчення, обертаючи в герметичній ємності, продукт виробництва обробляють паром.

Можна виготовити цегла в домашніх умовах. Але це доцільно, тільки якщо необхідна невелика кількість цегляного матеріалу. Процес трудомісткий. Помічником в ньому послужить Неелектричний верстат, який стисне підготовлену суміш. Прогрів і сушку виробу проходить в автоклаві.

Під час виробництва, цегли в навколишнє середовище виділяться пил. Це відбувається на етапах дозуванні, перемішування і подрібнення. Пил містить шкідливий оксид кремнію і велику дисперсність.

Пиловиділення з суміші вапна і піску завжди перевищує норму допустимості в 15 разів. В результаті навколишнє середовище значною мірою забруднюється.

При виробництві обов'язково необхідно передбачити своєрідний захист від впливу цих чинників.

## **1.2. Конструктивна характеристика агрегату випалу силікатної цегли**

Процес виробництва силікатної цегли починається з підготовки сировини.

На всіх заводах є прийомні відділення піску. Конфігурація і розміри бункерів піску, що встановлюються в приймальному відділенні, визначені багаторічною практикою заводів. Так, ширина випускних отворів бункерів повинна бути не менше критичної для даного виду вологого піску, а їх довжина – в 2-3 рази більше ширини. Висота бункерів не повинна перевищувати 3 м, щоб уникнути значного тиску піску на які звичайно використовуються для його вивантаження стрічкові живильники. Кут нахилу стінок бункерів повинен становити не менше 60 градусів до горизонту, а істинний кут їх похилих ребер – не менше 50°. Сумарна корисна місткість приймальних бункерів піску повинна забезпечити роботу заводу не менше ніж протягом 1,5 год.

Наявні в піску тверді великі включення відокремлюються на ґратах (колосники), які закривають верхню частину прийомних бункерів піску і які встановлюються з ухилом 10-15° в протилежну завантаженні сторону для зручності очищення решітки.

Підготовка вапна полягає в дробленні, характер якого залежить від крупності її шматків.

Подальший процес дозування компонентів має велике значення, так як від точності цієї операції залежить дотримання заданого складу і якості цегли. Точність дозування залежить в основному від двох факторів: від насипної щільності матеріалів, що змінюється від ступеня їх вологості та крупності, і від коефіцієнта заповнення перетину матеріалом.

В основному силікатні заводи використовують негашене подрібнений вапно і пісок кар'єрних вологості (6%). При їх змішуванні частина вологи, що

міститься в піску (близько 50%), витрачається на гідратацію вапна, а решта вода випаровується за рахунок виділяється при цій реакції тепла.

У виробництві силікатної цегли для поліпшення зернового складу силікатної суміші використовують спільний помел компонентів сухим способом.

При спільному помелі вапна з кварцовим піском витрата енергії для отримання однакової питомої поверхні кварцу зростає в міру зменшення вмісту піску в вихідної суміші.

При проектуванні складу силікатної суміші доводиться враховувати в першу чергу необхідність отримання досить міцного сирцю, а потім вже в процесі автоклавної обробки – цементуючою зв'язки з гідросилікатів кальцію такого фазового складу і в такій кількості, які б забезпечували задані властивості силікатної цегли – її міцність, морозостійкість і стійкість в агресивних середовищах.

Гасять суміш в силосах або реакторах протягом 1...4 год (в залежності від якості і швидкості гасіння вапна), де активний оксид кальцію з'єднується з водою і переходить в гашене вапно  $\text{Ca(OH)}_2$ .

Технологія виготовлення силікатної цегли із застосуванням реакторів відрізняється рядом переваг:

- виробництво здійснюється по безперервно-потокової схемою;
- поліпшується якість сировинної суміші за рахунок її повного усереднення;
- зменшується кількість реакторів і підвищується продуктивність сумішопотувального відділення;
- управління реакторами простіше.

Готову силікатну суміш транспортують в пресове відділення стрічковими конвеєрами.

В результаті пресування суміш ущільнюється і набуває форму цегли. Від ступеня ущільнення суміші в процесі пресування в значній мірі залежать надалі щільність, міцність і інші фізико-механічні властивості цегли.

Далі здійснюється знімання цегли-сирцю зі столу преса і укладання його в штабель на автоклавну вагонетку.

Автоклавна обробка або, як прийнято називати, випалювання сирцю є основним процесом, який перетворює механічну суміш різнорідних компонентів в хімічні сполуки, що зв'язують зерна піску в моноліт.

Силікатна цегла запарюють під тиском 0,8; 1,2 або 1,6 МПа, що відповідає температурам насиченої водяної пари 174,5; 190,7 і 203,3оС. Середня щільність сирцю (сухого) складає 1,85 г / см<sup>3</sup>. Температуру сирцю, завантаженого в автоклав, можна вважати рівною 40 ° С. Температура стінок автоклава вище, ніж температура сирцю, на 40-50оС. У зв'язку з цим за рахунок випромінювання тепло передається зовнішніх поверхнях кладки сирцю на вагонетках і частина води з нього випаровується, підвищуючи відносну вологість повітря в автоклаві, якщо одна з його кришок закрита. Якщо ж відкриті обидві кришки, то в автоклаві створюються умови для просасування холодного повітря, який при цьому значно підсушує і охолоджує сирець, а також стінки автоклава.

Цегла вивантажують з автоклава і транспортують на склад готової продукції.

Після вивантаження цегли і каменів з автоклава працівники ВТК визначають їх марочних, проводять необхідні вимірювання і відбір зразків для аналізу відповідно до системи контролю якості готової продукції, передбаченої стандартом підприємства. На складі готової продукції відділ технічного контролю підприємства-виготовлювача приймає цеглу і камені партіями. Партія складається з одного виду цегли або каменів одних марок по міцності і морозостійкості. За партію приймають кількість цегли, відповідне ємності



одного або декількох автоклавів в залежності від стабільності технології виробництва, але не більше 100 тис. шт.

Процес приготування силікатної суміші складається з дозування і змішування компонентів, зволоження, перемішування і гасіння суміші.

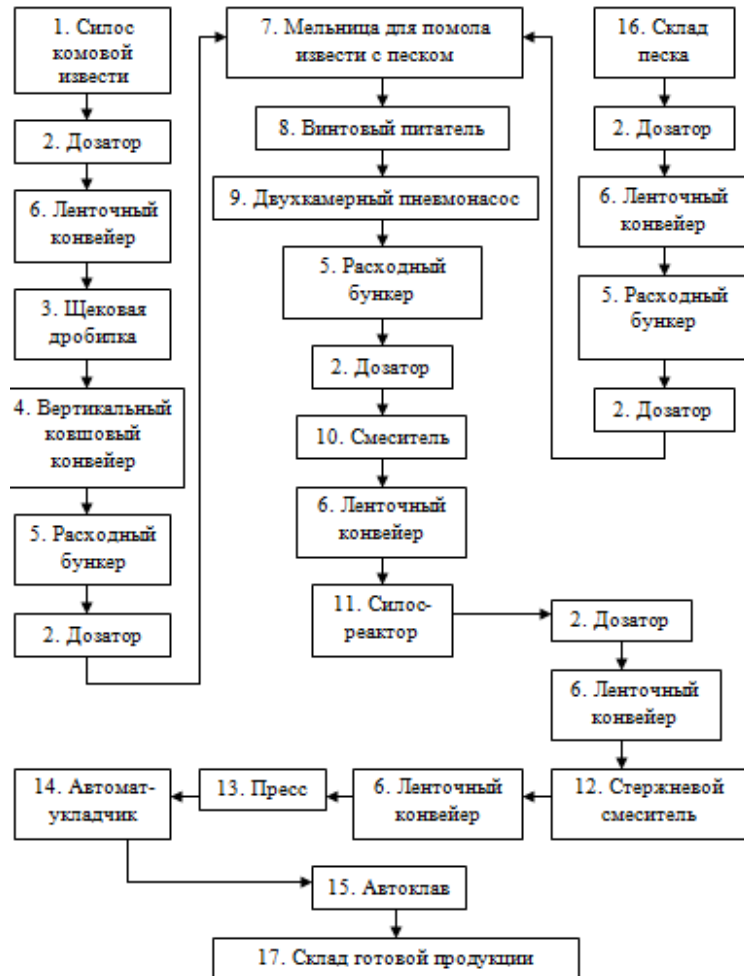


Рисунок 1.1 – Технологічна схема виробництва силікатної цегли[2]

Для приготування суміші її перемішують у змішувачах безперервної дії.

Технологічний процес виготовлення силікатної цегли включає основні етапи:

- 1) підготовка і приготування суміші починається з дозування основних компонентів;
- 2) пресування цегли-сирцю;

3) автоклавної обробки цегли.

На кожному окремому підприємстві частка вапна в складі суміші може варіюватися від 6 до 8%. Перед формуванням силікатної маси вапно проходить контроль на активність, а на бункерних вагах здійснюється відважування необхідної кількості піску. Для остаточної підготовки суміші використовується вода, яка дозволяє завершити реакцію гасіння вапна і сформувати силікатну масу, пластичну, легко піддається формуванню готових товарів.

Вапняно-піщану суміш готують двома методами:

- 1) барабанним способом;
- 2) силосним способом.

Пресування цегли-сирцю – багаторівневий і складний технологічний процес. В результаті пресування відбувається ущільнення суміші до однорідної силікатної маси.

Напівсухе пресування цегли-сирцю здійснюється в такій послідовності :

- наповнення пресових коробок приготовленої сумішшю;
- пресування сирцю;
- пересування сирцю на поверхню столу;
- зняття цегли-сирцю зі столу;
- приміщення сирцю на запарочні вагонетки.

Автоклавна обробка цегли[3] здійснюється за допомогою тепло-вологої обробки в автоклаві. Обробка цегли здійснюється в результаті підвищення тиску водяної пари 0,8 - 1,2 мПа і температури до +190 ° С. Загальна тривалість виробничого процесу становить близько 12 годин.

Процес випалу силікатної цегли, розглянутий в даному проекті, проходить відповідно до норм технологічного режиму, які наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Норми технологічного режиму[2]

Найменування об'єкта	Найменування параметру	Одиниці виміру	Номінальне значення	Допустиме відхилення
Зона випалу автоклаву	Температура в зоні випалу	°C	150	± 20
	Витрата палива, що подається в зону випалу	м <sup>3</sup> /ч	103	± 5
	Витрата повітря, що подається в зону випалу	м <sup>3</sup> /ч	180	± 5
Трубопровід подачі палива	Розрідження	кПа	40-50	± 5
	Концентрація CO <sub>2</sub> в димових газах	%	1,1	± 0,2
	Тиск	МПа	0,5	± 0,05
Трубопровід подачі повітря в зону випалу	Тиск	МПа	0,9	± 0,05
Вентилятор подачі повітря в зоні випалу	Тиск в лінії нагнітання	МПа	0,9	± 5

Система керування процесом випалювання в автоклаві повинна забезпечувати досягнення поставленої мети управління за рахунок заданої точності підтримки значень технологічних параметрів в будь-яких умовах виробництва при надійної безаварійної роботи об'єкта автоматизації, а також задовольняти вимогам вибухо- і пожежобезпеки. При цьому важливо, щоб АСУТП була якомога простіше і легкою в експлуатації.

Головним завданням при розробці системи управління є вибір параметрів, що беруть участь в управлінні – параметрів, які необхідно контролювати, регулювати, реєструвати, а також параметрів, які визначають аварійний стан об'єкта.

### **1.3. Технологічний процес випалу силікатної цегли**

Виробництво силікатної цегли на заводі здійснюється силосним способом.

Технологічний процес передбачає видобуток і подачу піску і вапняку (крейди), виробництво вапна, приготування вапняно-кремнеземистого в'язучого речовини (ВКВ), отримання силікатної маси, пресування цегли і його запарка в автоклавах.

В структуру підприємства повинні входити цехи основного виробництва:

- гірський цех: ділянку гідромеханізації намиву піску, вапняковий або крейдяний кар'єр, склад піску і вапнякового каменю (або крейди);
- цех випалювання вапна;
- масозаготовительний цех;
- цегляний цех: силосне, змішувальне, пресове й автоклавне відділення;
- ділянку фарбування цегли;
- склад готової продукції.

#### *Видобуток і подача піску в виробництво.*

Для виробництва силікатної цегли використовується природний намишний пісок, намив піску здійснюється самохідним плаваючим земснарядом на карту намиву, де він зневоднюється, а потім по заліничному шляху доставляється на склад заводу. Просіяний пісок складається в бункери, потім подається в масозаготовчий цех для приготування ВКВ.

Контроль якості використовуваного піску здійснюється відповідно до вимог ГОСТ 8736-93 і ОСТ 21-1-80.

#### *Виробництво вапна*

Сировиною для виробництва вапна можуть служити карбонатні породи – вапняковий камінь з кар'єру вапняку, або крейда, який видобувається в крейдяному кар'єрі.

Тут[4] буде розглянута технологія виробництва вапна із застосуванням крейди (виробництво вапна з вапняку проходить через ті ж технологічні про-

цеси і те технологічне обладнання, що і виробництво вапна з крейди, тільки режими будуть дещо іншими). Крейда з кар'єру автотранспортом доставляється на майданчик цеху випалювання вапна, а потім бульдозером подається в бовтанку (спеціальний пристрій для приготування шламу). Шлам надходить в автоклав випалювання вапна.

Випал вапна проводиться в обертових автоклавах свіжоприготовлене вапно сортується і складається в бункери вапна.

Отримане комове негашене вапно відповідає нормативам ГОСТ 9179-77.

#### *Приготування вапняно-кремнеземистого в'язучої речовини*

Приготування ВКВ здійснюється в масозаготовчому цеху, шляхом спільного помелу Пропорційні віддозованих піску і вапна в кульових трубних двокамерних млинах (кульові трубні двокамерні млини для помелу піску і вапна в представленій технології входять в номенклатуру Самарського заводу «Строммашина»).

Тонкість помелу характеризується залишком на ситі з сіткою № 008 (8 мікрон) – не більше 15%. Контроль і періодичність перевірки технологічних параметрів здійснюється відповідно до затвердженого технологічного регламенту підприємства. У цеху обов'язково повинні діяти газоочисні і пилоуловлювальні установки, що працюють з поверненням зібраного матеріалу у виробництво по безвідходній технології (газоочисне й пилоуловлювальне обладнання, зазвичай – циклони і фільтри – входять до складу номенклатури заводу «Строммашина»).

#### *Виробництво силікатної цегли в цегляному цеху.*

Силосну відділення призначене для складування ВКВ, в силосі відбувається процес гасіння суміші. З силосу силікатна суміш надходить в змішувальне відділення.

В змішувальному відділенні відбувається додаткове зволоження (дозволення) і перемішування силікатної суміші, подальше транспортування готової суміші по бункерах пресів.

У пресовому відділенні відбувається пресування цегли-сирцю на пресах з відносно високим питомим тиском, подача до пресу порожні вагонетки, автоматична укладання автоматами-укладальниками на вагонетки цегли-сирцю і відкочування навантажених вагонеток в автоклавного відділення.

Пресування рядового цегли здійснюється на пресах певної продуктивності, наприклад, СМС-294, а пресування лицьової цегли – на установках М125 і М150, або може здійснюватися на імпортному обладнанні, наприклад, за допомогою німецького преса НДР-500. Лицьову цеглу відповідає підвищеним вимогам за зовнішнім виглядом і якістю продукції (додаткові відомості про застосування конкретного виду обладнання можна отримати у наших менеджерів, зателефонувавши за телефонами в розділі сайту «Контакти»).

У автоклавному відділенні відбувається процесу випалювання цегли за заданим технологічним режимом для прискорення фізико-хімічних процесів твердіння силікатної цегли, з автоклава цегла надходить на склад готової продукції.

#### *Склад готової продукції*

На складі готової продукції проводиться складування, контроль якості цегли, цегла сортується по марочності. На заводі організовано операційний контроль якості готової продукції на всіх стадіях виробництва. На складах готової цегли застосовуються крани, які обладнані захватними пристроями для пакетного навантаження цегли в транспортний засіб. Транспортування цегли здійснюється автомобільним і залізничним транспортом.

Для досягнення цілей роботи розробимо алгоритм роботи керуючого ПЛК системи під час процесу сушіння. Схему наведено на рис. 1.2.

Автоматизована система управління технологічними процесами в автоклаві призначена здійснювати автоматизований контроль і управління технологічними процесами при запарюванні цегли в автоклаві. При цьому відбувається випалювання цегли пластичного формування з вологістю після сушки не більше 6%.

Основною метою проектування системи є складання високого рівня якості для реалізації наступних організаційних, технологічних і економічних завдань:

- отримати достовірну інформацію з технологічних об'єктів;
- оптимізувати режими роботи технологічних об'єктів;
- збільшити точність і швидкість вимірювання параметрів автоклаву;
- ввести автоматизовані методи контролю і управління технологічними процесами і об'єктами;
- поліпшити керованість технологічних процесів.

Залежно від зони розташування об'єкта, для обладнання, встановленого на відкритих майданчиках, пред'являються вимоги по стійкості до наступних дій: вологість повітря не менше 80%, при температурі 35 С; вплив температури від -40 С до +50 С.

Датчики, які будуть використовуватися в системі, необхідно підібрати таким чином, щоб вони відповідали вимогам вибухобезпеки. При цьому пріоритет надається апаратурі з використанням іскробезпечних кіл. Що б захистити корпус датчиків від вологи і пилу повинна бути ступінь захисту не менше IP56.

Необхідні до вибору контролери мають модульну архітектуру, яка дозволяє вільно компонувати канали введення / виводу. У разі потреби введення сигналів з датчиків, які знаходяться у вибухонебезпечній обстановці, дозволено використання як модулів з іскробезпечними вхідними ланцюгами,

так і зовнішніх бар'єрів іскробезпеки, що розміщуються в окремому конструктиві.

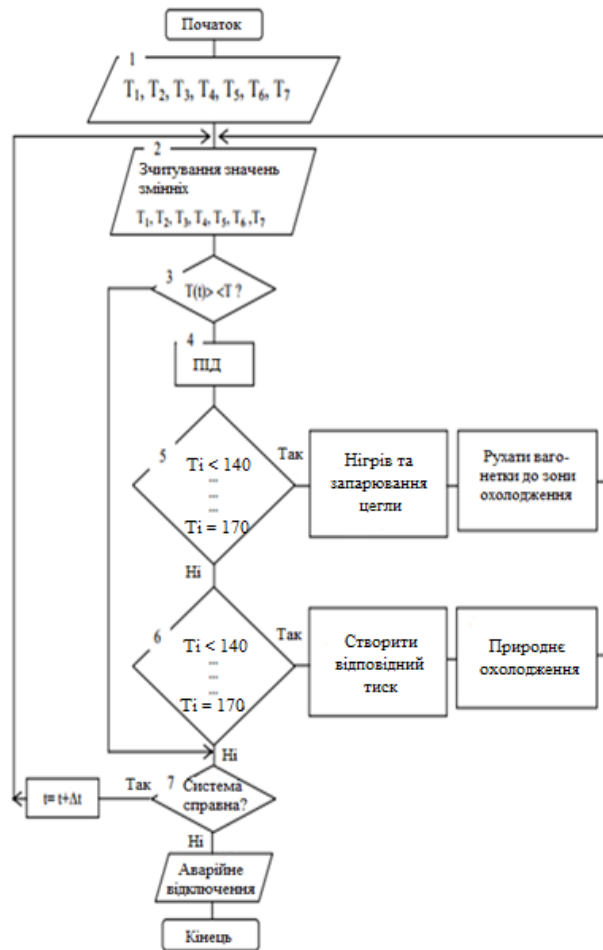


Рисунок 1.2 – Алгоритм роботи головного циклу програми керування піччю

Призначення розроблюваної системи керування процесом випалювання силікатної цегли полягає у виконанні наступних завдань:

- Веде технологічний процес в заданому технологічному режимі;
- Підвищує оперативність управління;
- Оптимізує технологічний процес;
- Підтримує високопродуктивну роботу технологічного обладнання.

До основних цілей АСУТП належить:

- Підвищення якості продукції;



- Оптимізація температурного режиму процесу випалювання силікатної цегли;

- Забезпечення надійності роботи технологічного обладнання;

- Поліпшення умов праці персоналу.

Цілі, які повинна вирішувати АСУТП, досягаються при виконанні функцій, які за змістом дії об'єднані в інформаційну і керуючу підсистеми.

Інформаційна підсистема призначена для представлення технологічного персоналу оперативної, достовірної, обробленої відповідним чином інформації про стан об'єкта управління. Інформаційна підсистема виконує такі функції:

- Збір та первинна обробка інформації

- Контроль і вимірювання технологічних параметрів;

- Періодична реєстрація поточних значень вимірювальних параметрів;

- Відображення значень технологічних величин за викликом технолога-оператора;

- Розрахунок техніко – економічних показників;

- Контроль витрати повітря і палива;

- Контроль і облік положення технологічного обладнання.

Керуюча підсистема призначена для визначення та реалізація управляючих впливів на технологічний об'єкт. Керуюча підсистема виконує такі функції:

- Регулювання технологічних змінних;

- Оптимальне управління,

- Дистанційне управління регулюючим органом.

Функціональні завдання автоматизації АСУТП випалювання цегли включають наступні:

1. Створити систему управління автоклавною піччю;

2. Транспортування цегли через автоклав;

3. Випалювання цегли за заданими режимами;
4. Контроль температури у автоклаві;
5. Контроль рівня вологості цегли до та після автоклавування;
6. Контроль тиску у газопроводі;
7. Контроль швидкості руху конвеєру;

#### **1.4. Аналітичний огляд відомих систем автоматизації технологічного процесу випалу силікатної цегли**

Раніше силікатну цеглу невисокої якості виготовляли як в домашніх умовах, так і на заводах. У сучасному світі силікатна цегла високої якості виготовляється на великих установках, які автоматизовані на 95%, а людський фактор майже відсутній.

Щоб отримати силікатну цеглу, використовують багато методів обробки глини та додаткових речовин, однак, щоб отримати будівельний матеріал з поліпшеними характеристиками, потрібно використовувати автоклави.

Автоклави - пристосування, які необхідні для пропарювання різних будівельних матеріалів при високих температурах і тиску. Після обробки того чи іншого матеріалу автоклавом технічні та експлуатаційні характеристики помітно покращуються.

Якщо використовувати метод автоклавування в технології виготовлення силікатної цегли, то можна значно заощадити час і гроші, адже автоклавом досить просто користуватися. До того ж, витрата палива значно менше, ніж при інших способах обробки будівельних матеріалів, а також сприяє швидкій роботі повна механізація процесу.

Перш ніж отримати готову продукцію, сировину попередньо піддають термо- і вологообробці на автоклавах. Кількість виготовленої продукції залежить від експлуатаційних характеристик апарату, його потужності, а також від його габаритів.

Автоклави для виробництва силікатної цегли можуть бути двох видів:

- Стационарні;
- Мобільні;

Перевагою стаціонарного агрегату є те, що, завдяки йому, можна працювати з великою кількістю сировини і отримувати силікатну цеглу для великого будівництва в найкоротші терміни. Такий автоклав відрізняється тим, що форми для даного виду будівельного матеріалу - нерухомі. До того ж, він займає велику площу.

Мобільні агрегати відрізняються тим, що їх можна переносити, а також вони займають відносно невелику ділянку території. Даний вид автоклавів чудово підійде для відкриття власного бізнесу, так як за раз така установка може випустити значно меншу кількість силікатної цегли, на відміну від стаціонарного пристрою на великих заводах.

Треба сказати, що мобільні пристрої для виробництва силікатної цегли стоять в рази дешевше від стаціонарних. Однак, вибирати ту чи іншу лінію для виробництва даного будівельного матеріалу варто в залежності від власних уподобань та призначення автоклава.

Для надання необхідної міцності силікатній цегли її обробляють насиченою парою; при цьому температурний вплив сполучається з обов'язковою наявністю в цеглі-сирці водного середовища, яка сприяє протіканню реакції утворення цементуючих речовин з максимальною інтенсивністю. Насичена пара використовується з температурою 175 ° С при відповідному такій температурі тиску в 8 атм. Автоклав АП1,2 2x19 є трубою довжиною 19 м і діаметром 2 м, місткістю 60 м<sup>3</sup>.

Технологія випалювання наступна[5]:

1,5 годин – підйом пари;

5-6 годин – витримка;

1-1,5 год – спуск пари.

В процесі автоклавної обробки, тобто випалювання цегли-сирцю, розрізняють три стадії. Перша стадія починається з моменту впуску пари в автоклав і закінчується при настанні рівності температур теплоносія (пара) і оброблюваних виробів.

Друга стадія характеризується постійністю температури і тиску в промисловому автоклаві. У цей час одержують максимальний розвиток всі ті фізико-хімічні процеси, які сприяють утворенню гідросилікату кальцію і твердненню оброблюваних виробів.

Третя стадія починається з моменту припинення доступу пари в автоклав і включає час остигання виробів в автоклаві до моменту вивантаження з нього готового цегли.

У першій стадії випалювання насичену пару з температурою 175 °С під тиском 8 атм. впускають в автоклав з сирцем. При цьому пара починає прохолоджуватися і конденсуватися на цеглі-сирці і стінках автоклава. Після підйому тиску пар починає проникати в найдрібніші пори цегли і перетворюється в воду. Отже, до води, введеної при виготовленні силікатної маси, приєднується вода від конденсації пари. Утворений в порах конденсат розчиняє присутній у сирці гідрат окису кальцію і інші розчинні речовини, що входять до сирець.

Відомо, що пружність пари розчинів нижче пружності пари чистих розчинників. Тому притікаюча в автоклав водяна пара буде конденсуватися над розчинами вапна, прагнучи понизити їх концентрацію; це додатково зволожує сирець в процесі випалювання. І третьою причиною конденсації пари в порах сирцю є капілярні властивості матеріалу.

Роль пари при випалюванні зводиться тільки до збереження води в сирці в умовах високих температур. При відсутності пари відбувалося б негайне випаровування води, отже, висихання матеріалу і повне припинення реакції утворення цементуючого речовини – гідросилікату.

З того моменту, як в автоклаві буде досягнута найвища температура, тобто 170-200 ° C, настає друга стадія випалювання. У цей час максимальний розвиток отримують хімічні і фізичні реакції, які ведуть до утворення моноліту. До цього моменту пори сирцю заповнені водяним розчином гідрату окису кальцію  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , безпосередньо стикаються з кремнеземом  $\text{SiO}_2$  піску. Наявність водного середовища і високої температури викликає на поверхні піщинок деякий розчинення кремнезему, що утворився розчин вступає в хімічну реакцію з утворився протягом першої стадії випалювання водяним розчином гідрату окису кальцію, і в результаті виходять нові речовини – гідросилікати кальцію.

Спочатку гідросилікати знаходяться в колоїдальному (желеподібному) стані, але поступово викристалізуються і, перетворюючись в тверді кристали, зрощують піщини між собою. Крім того, з насиченого водного розчину гідрат окису кальцію також випадає у вигляді кристалів і своїм процесом кристалізації бере участь в зрощуванні піщин. Таким чином, у другій стадії випалювання утворення гідросилікатів кальцію і перекристалізація їх і гідрату окису кальцію викликають поступове твердіння цегли-сирцю.

Третя стадія випалювання протікає з моменту припинення доступу пари в автоклав, тобто починається падіння температури в автоклаві, швидко або повільне, в залежності від ізоляції стінок автоклава і наявності перепуску пари. Відбувається зниження температури виробу і збідніння його водою, тобто вода випаровується і підвищується концентрація розчину, що знаходиться в порах. З підвищенням концентрації гідрату окису кальцію і зниженням температури цементуючого речовини силікати кальцію стають більш основними, і це триває до тих пір, поки цегла не буде вивантажено з автоклава. В результаті посилюється твердіння гідросилікатів кальцію і, отже, підвищується міцність силікатної цегли. Одночасно плівки цементуючого речовини сильніше збагачуються випадає з розчину гідратом окису кальцію.

Механічна міцність силікатної цегли, вивантаженого з автоклава, нижче тієї, яку він набуває при наступному витримуванні його на повітрі. Це пояснюється карбонізацією гідрату окису кальцію за рахунок вуглекислоти повітря по формулі:  $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CaCO}_2 = \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$

Таким чином, повний технологічний цикл випалювання цегли в автоклаві складається з операцій очищення і завантаження автоклава, закривання і тиском, другого перепуску, випуску пари в атмосферу, відкривання кришок і вивантаження автоклава. Сукупність усіх перерахованих операцій складає цикл роботи автоклава, що дорівнює 10-13 год.

Випалювання цегли в автоклавах вимагає строгого дотримання температурного режиму: рівномірного нагрівання, витримки під тиском і такого ж рівномірного охолодження. Порушення температурного режиму призводить до браку. Для контролю за режимом випалювання на автоклавах установлені манометри і самописні дифманометри, оснащені годинним механізмом, що записує повний цикл випалювання цегли. З автоклава силікатна цегла надходить на склад.

Альтернативним джерелом енергії для вапняно-випалювальних печей є тверде паливо – кам'яне вугілля. Технологія дозволяє значно скоротити не тільки витрати енергії, а й підвищити якість вапна, що знижує витрати на виробництво будівельних матеріалів з вапна при збереженні високої якості пористих бетонів і силікатної цегли.

Підприємство займається реконструкцією[6] автоклавів для випалювання вапна, установкою парових турбін, переобладнанням котлів на спалювання твердого палива з надійною і відносно недорогий схемою шлаковидання. В даний час здійснено вже 15 проєктів на Україні. Переважно це цукрові заводи, які стоять перед жорсткою необхідністю економії енергоресурсів.

Також на Україні реалізований проект в області будіндустрії – на Білгород-Дністровському заводі пористих бетонів.

Після проведення реконструкції вапняно-обпалювальної автоклаву за рахунок підвищення якості вапна добові витрати сировини зменшилися з 35 до 25 т при тому ж обсязі продукції. Частка палива щодо вапняку зменшилася з 10 до 7%. В результаті витрата вапняку знизився на 25-30%, а витрата палива на 30-35%.

Модернізація парових котлів – інший напрямок діяльності підприємства «ТЕХНОЦУКОР». При цьому проводяться такі заходи:

- модернізація пальникових пристроїв з метою зниження коефіцієнта надлишку повітря і підвищення ККД горіння;
- модернізація котла з метою підвищення надійності експлуатації (заміна чавунних економайзерів на сталеві);
- поліпшення футерування парових котлів за рахунок застосування вогнетривких бетонів.

В собівартості продукції значну частку займає вартість природного газу. Одним з можливих варіантів зниження собівартості є переведення котлів на спалювання твердого палива. Після переобладнання котла на використання твердого палива вартість паливної складової в собівартості продукції скорочується в 3-5 разів. Раніше перехід на використання вугілля стримувався через надмірне утворення шлаку, що вимагає спеціального шлаковидалення. Фахівці підприємства, що мають стаж роботи в енергетиці 20-30 років, використовують технологію, яка успішно вирішує не тільки цю проблему, але і дозволяє отримувати додаткові корисні матеріали.

Модернізація вапняно-випалювальних печей, теплосилового обладнання підприємств і обладнання котелень, ТЕЦ включає кілька видів робіт.

Після проведення робіт можна досягти активності вапна 90% і вище; зменшення витрат сировини на 10-30%; концентрації CO<sub>2</sub> 32% і більше; зме-

ншення витрати палива на 15-45%; зменшення недопалу і перепалу вапна на 15-18%; збільшення продуктивності печі на 10-30%.

До переліку робіт входить узгодження технічного завдання та укладення договору, розробка оптимальних схем і заходів з модернізації, виготовлення проекту або ескізних рішень, монтажні роботи за технологією і автоматизації, пусконаладжувальні роботи, видача замовнику виконавчої документації, інструкцій, здача об'єкта в експлуатацію.

За останні роки проведена модернізація виробництва з випалювання вапна на цукрових заводах в Тернопільській, Київській, Вінницькій, Волинській, Харківській, Хмельницькій, Одеській, Полтавській областях; Республіці Казахстан, а також на Експериментальному заводі пористих бетонів і виробів в м Білгород-Дністровський Одеської обл.

Важливо, що при реконструкції вапняно-випалювальних печей і парових котлів використовуються вогнетривкі бетони виробництва фірми «Алінека». Для ремонту футерування газових печей застосовуються сухі суміші вогнетривких бетонів BRAB40I15 (зона підігріву і охолодження) і BRAB50I17 (зона горіння). Для теплоізоляції виготовляється легка цегла I-9 і I-11. Перевагою вогнетривких бетонів є мінімальна деструкція при високих температурах, висока твердість, в результаті чого знос футеровки печі за рік становить лише 10-12 мм. Перевагою легкої цегли також є відсутність деструкції в умовах високих температур, що також свідчить про значний ресурс експлуатації – 2-3 шари в футеровці печі. [1]

Автоклав прохідного типу СМ-1038 представляє собою циліндричну горизонтальний посудину. Складається з корпусу, двох кришок з механізми підйому, двох байонетних роз'ємів кілець з механізмами повороту, гідроприводу, системи охолодження, блокувальних пристроїв, система автоматичного регулювання і електрообладнання.



Корпус автоклава виконаний у вигляді циліндра, що складається з зварних обичайок. На корпусі є спеціальні майданчики для установки механізмів підйому кришок, повороту байонетних роз'ємів кілець, насосної і розподільної станцій. До зовнішньої поверхні корпусу приварені фланці і штуцери для з'єднання з трубопровідної і контрольно вимірювальною апаратурою, спеціальні обмежуючі, напрямні упори і верхні частини десяти опор кріпляться до фундаменту болтами. Усередині корпусу (у верхній і нижній частині) розташовані також поживні труби паропроводу, перфоровані по всій довжині, що забезпечує рівномірну подачу пара в автоклав. Усередині корпусу вздовж його поздовжньої осі покладений рейковий шлях.

Кришка являє собою зварне сферичне днище з фланцем, виготовлене шляхом штампування або обкатки. Швидкість опускання кришки визначається розміром прохідного перерізу демпферного кільця, розміщеного в штуцері гідроциліндра.

На кришці приварені вушка для шарнірного кріплення її до важеля. Механізм підйому кришки складається з гідроциліндра, хомута і кронштейна.

Кільце служить для щільного закривання кришки автоклава і складається з двох півкілець з'єднаних болтами в діаметральній площині. Кришка закривається поворотом кільця щодо поздовжньої осі автоклава; при цьому зуб байонетного кільця заходить за зуб фланця, утворюючи замок.

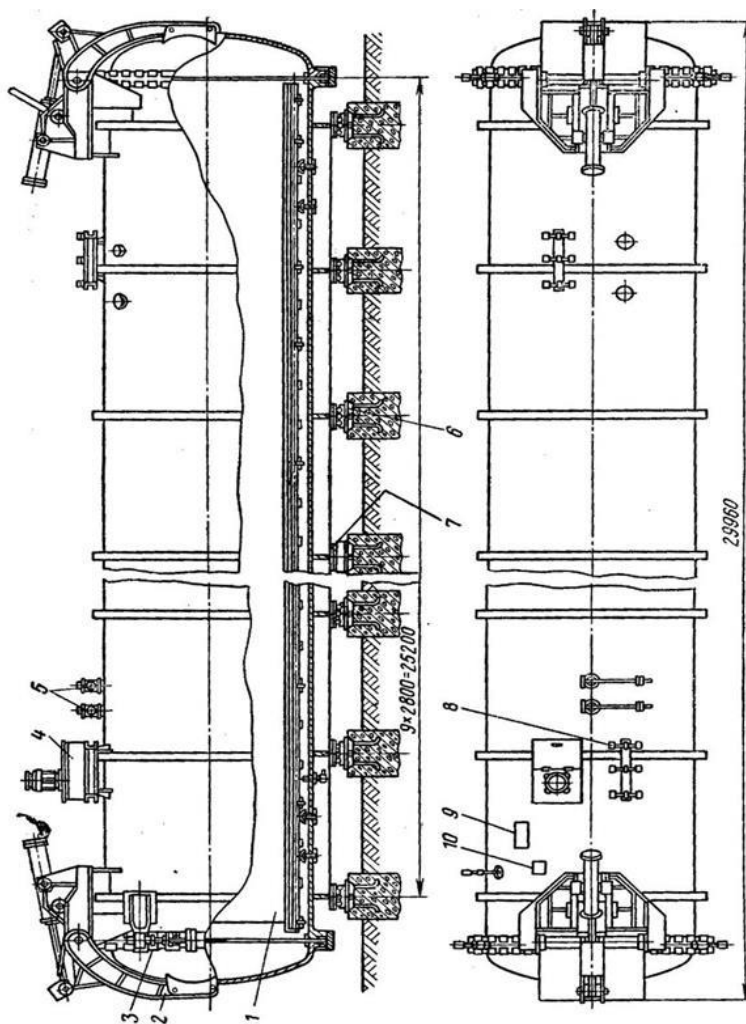


Рисунок 1.3 – Прохідний автоклав СМ-1038:

1 – корпус; 2 – кришка з механізмом підйому; 3 – байонетне кільце з механізмом повороту; 4 – гідронасос; 5 – запобіжний клапан; 6 – рухлива опора; 7 – нерухома опора; 8 – розподільна станція; 9 – контактний манометр; 10 – контактний вентиль

Автоклав ущільнюється гумовою прокладкою спеціального профілю, що встановлюється між корпусом і кришкою. Для запобігання прокладки від перегріву в місці ущільнення за спеціальними кільцевих каналах підводиться проточна вода.

Система охолодження, що складається з спеціального насоса, трубопроводів та арматури, призначена для охолодження і ущільнення кришки авток-

лава. Кількість води на зливний стороні регулюється вентилем. Безпечна робота автоклава забезпечується сигнально-блокувального пристрою. [2]

На основі викладеного можемо визначити мету роботи як:

Дослідити системи автоматизації автоклавної печі для випалювання силікатної цегли та провести дослідження процесу запікання, а також параметрів вихідного продукту.

### **1.5. Об'єкт і предмет дослідження**

На основі викладеного вище можемо назвати наступні предмет та об'єкт дослідження:

Об'єктом дослідження є автоклав для випалювання силікатної цегли після формовки.

Предмет дослідження – розробка системи автоклаву та алгоритму ресурсозбережного управління процесом випалювання силікатної для здійснення задач виробництва.

Щоб забезпечити ресурсозбережне управління виконаємо математичні розрахунки об'єкта дослідження для забезпечення алгоритму управління.

Розрахунок товщини циліндра автоклаву проводиться за формулою:

$$S = (pD_b)/(2,3\varphi [\sigma ] - p) + S_k,$$

де  $p$  – робочий тиск в автоклаві, МПа;  $D_b$  – внутрішній діаметр автоклава, мм;  $\varphi$  – коефіцієнт міцності циліндричної частини автоклава по котра утворює, залежить від типу шва і дорівнює 0,7-1,0;  $[\Sigma]$  – допустиме напруження в стінці може бути прийнято 90-100 МПа;  $S_k$  – запас в товщині стінки на корозію, мм.

*Теплотехнічний розрахунок автоклава[7]*

Для виконання теплотехнічного розрахунку складають баланс теплоти одного автоклава на період роботи та всю масу завантажених виробів. Статті балансу включають прибуткові та видаткові частини теплоти.

Прихід теплоти (кДж / період):

а) з парою:

$$Q_1 = D \cdot i_{\text{п}},$$

де  $D$  – витрата пари за період і визначають після складання теплового балансу, кг;  $i_{\text{п}}$  – питома ентальпія пари [3] або по  $i$ - $d$ -діаграмі в залежності від тиску в подаючому паропроводі, кДж / кг;

б) від екзотермії бетону:

$$Q_2 = q_{\text{екз.ц}} m_{\text{ц}} V_{\text{б}},$$

де  $m_{\text{ц}}$  – витрата цементу на 1 м<sup>3</sup> бетону, кг;  $V_{\text{б}}$  – обсяг бетону в установці, м<sup>3</sup>;  $q_{\text{екз.ц}}$  – кількість теплоти, виділена 1 кг цементу, кДж / кг, яка визначається за емпіричною формулою:

$$q_{\text{екз.ц}} = 0,0023 q_{\text{е28}} (B/C)^{0,44} \theta,$$

де  $q_{\text{е28}}$  – тепловиділення 1 кг цементу через 28 діб тверднення в залежності від його марки, кДж / кг (додаток);  $B / C$  – водо-цементне відношення;  $\theta = t_{\text{б.ср.з}}$  – число градусів при середній температурі бетону і тривалості термообробки  $z$  годин, °С ч;

$$t_{\text{б.ср.}} = (t_{\text{н}} + t_{\text{к}}) 0,5;$$

в) сума прибуткових статей теплоти становить:

$$Q_{\text{прих}} = Q_1 + Q_2, \text{ (кДж / період).}$$

Витрата і втрати теплоти, кДж / період:

а) на нагрів сухої частини бетону:

$$Q_1 = G_{\text{б}} c_{\text{б}} (T_{\text{к}} - T_{\text{н}}),$$

де  $G_{\text{б}}$  – маса сухої частини бетону в камері (автоклаві), яка приймається з технологічного розрахунку кг;  $c_{\text{б}}$  – питома теплоємність сухого бетону, кДж/(кг·°С) [5];  $T_{\text{к}}$ ,  $T_{\text{н}}$  – кінцева і початкова температура бетону, °С;

б) на нагрів арматури, форм і транспортних пристроїв:

$$Q_2 = (G_{\text{а}} + G_{\text{ф}} + G_{\text{тр}}) C_{\text{ст}} (T_{\text{к}} - T_{\text{н}}),$$

де  $G_a$ ,  $G_\phi$ ,  $G_{тр}$  – відповідно, маса арматури у всіх виробках, форм і вагонеток, кг;  $C_{ст}$  – питома теплоємність стали, кДж / (кг·°C), додаток;  $T_k$ ,  $T_n$  – кінцева і початкова температури нагріву арматури, форм і вагонеток, °C.

Так як початкова температура вагонеток і форм різна ( $\Delta t = 5 \cdot 10^0$ °C), витрата теплоти на їх нагрівання визначають окремо.

Для форм:  $G_\phi = N_\phi m_\phi$ , кг,

де  $N_\phi$  – кількість форм в автоклаві, шт.;  $m_\phi$  – маса однієї форми, кг.

Для вагонеток:  $G_B = N_B m_B$ , кг,

де  $N_B$  – кількість вагонеток в одному автоклаві, шт.;  $m_B$  – маса 1 вагонетки, кг.

Тоді:  $Q_a = G_a C_{ст} (T_k - T_n)$ , (кДж);

$Q_\phi = G_\phi C_{ст} (T_k - T_n)$ , (кДж);

$Q_{тр} = G_{тр} C_{ст} (T_k - T_n)$ , (кДж);

$Q_2 = Q_a + Q_\phi + Q_{тр}$ ;

в) на нагрів вологи в бетоні:

$Q_3 = G_b (W/100) c_{вл} (T_k - T_n)$ ,

де  $W$  – вологість бетону, %;  $G_b$  – маса бетону, кг;  $c_{вл}$  – теплоємність вологи, кДж/(кг·°C), додаток;  $T_k$ ,  $T_n$  – початкова і кінцева температури вологи виробу, приблизно рівні відповідній температурі бетону, °C;

г) на випаровування частини вологи (якщо воно відбувається):

$Q_4 = G_b r ([W_1 - W_2]/100)$ ,

де  $W_1$ ,  $W_2$  – початкова і кінцева абсолютні вологості бетону, % (відпускна вологість для більшості бетонних виробів становить 5-7%);  $r$  – теплота пароутворення, що залежить від тиску і температури обробки;

д) на нагрів конструкції установки:

$Q_5 = G_{огр} c_{огр} (T_{ксп} - T_{нсп})$ ,

де  $G_{огр}$  – маса огорож камери (70% маси автоклава), кг;  $c_{огр}$  – питома теплоємність матеріалу огорожі стали, кДж / (кг · °С);  $T_{ксп}$ ,  $T_{нсп}$  – середня температура огорожі в кінці і на початку періоду, °С;

е) у зовнішнє середовище через огородження:

$$Q_6 = \alpha_{сум} (T_{стсп} - T_{вн}) \cdot F_{огр} \cdot Z \quad 3,6,$$

де  $\alpha_{сум}$  – сумарний коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);

$$\alpha = A \sqrt[4]{t_m - t_{oc} + c_{ст} / (t_m - t_{oc}) [([T_M + 273]/100)^4 - ([t_{oc} + 273]/100)^4]},$$

де  $A$  – коефіцієнт, що залежить від форми автоклава і дорівнює 2,2;  $t_m$  – температура поверхні автоклава, °С;  $t_{oc}$  – температура навколишнього середовища, °С;  $c_{ст}$  – коефіцієнт випромінювання сірого тіла, рівний 4,64 Вт/(м<sup>2</sup>·°С);  $T_{стсп}$ ,  $t_{вн}$  – середня температура зовнішньої стінки огорожі і температура навколишнього повітря, °С;  $F_{огр}$  – площа поверхні огородження, м<sup>2</sup>;

$$F_{огр} = \pi D l + (\pi D^2)/2,$$

$Z$  – час тепловологісної обробки, г;

ж) з конденсатом:

$$Q_7 = [D - (kD + V_{св} \cdot \rho_{п})] \cdot c_k \cdot t_k,$$

де  $c_k$  і  $t_k$  – відповідно, питома теплоємність і температура конденсату, кДж/(кг·°С) і °С, ( $c_k = 4,18$  і  $c_k = 100$ );  $D$  – маса пара, яка визначається після рішення рівняння теплового балансу, кг;  $k$  – частка втрати пара, яка приймається від 0,05 до 0,2 в залежності від ступеня герметичності установки;  $V_{св}$  – обсяг камери, не зайнятий виробами, формами і транспортними засобами, м<sup>3</sup>;  $\rho_{п}$  – щільність пари в кінці обробки їх, кг/м<sup>3</sup>;

з) з парою пішли через нещільності:

$$Q_8 = D \cdot k \cdot i_{псп},$$

де  $i_{псп}$  – середня за період ентальпія пара,  $i_{псп} = 2781$  кДж / кг;  $D$  – маса пара, яка визначається після рішення рівняння теплового балансу;

і) з парою, що заповнює вільний об'єм установки:

$$Q_9 = V_{св} \cdot \rho_{п} \cdot i_x,$$

де  $i_x$  – питома ентальпія конденсату по температурі пара, прийнята за його тиску, вологості і приблизно дорівнює  $i_{\text{пер}}$ , кДж/кг.

*Рівняння теплового балансу*

$$Q_{\text{прих}} = Q_{\text{розх}};$$

$$Q_1 + Q_2 = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8 + Q_9.$$

Вирішуючи рівняння теплового балансу, знаходять витрата пара  $D$ . Потім складають зведену відомість теплового балансу і визначають питома витрата пара:

$$d = D / V_6,$$

де  $V_6$  – обсяг бетону в установці за один період, м<sup>3</sup>.

### **1.6. Висновки до розділу 1. Постановка задачі дослідження.**

В рамках даного розділу було проведено загальну характеристику агрегату як технологічної схеми.

Описано конструкцію агрегату випалювання силікатної цегли, наведено технологічну схему процесу.

Оглянуто деякі з відомих систем автоматизації автоклавів для сушіння силікатної цегли, розроблено схема матеріально-технічних потоків.

Визначено об'єкт та предмет дослідження та встановлено функціональні завдання автоматизації.

Можемо сформулювати наступні задачі дослідження:

1. Запропонувати функціональну схему автоматизації технологічного процесу сушіння силікатної цегли всередині автоматизованої печі автоклавного типу;

2. Розробити принципи вибору технічних засобів автоматизації (таких як датчики, контролери, комплектні електроприводи та іншу) а також здійснити їх вибір;

3. Розробити системи автоматичного керування виконавчими механізмами автоклаву;
4. Розробити локальні системи автоматичного регулювання технологічних параметрів;
5. Розробити систему керування режимами роботи печі;
6. Розробити алгоритм управління автоклавом та його програмне забезпечення;
7. Провести аналіз ефективності функціонування системи автоматизації через виконання математичного (імітаційного) моделювання.



## РОЗДІЛ 2. ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ

У САУ тепловим режимом в автоклавах застосовують програмне керування, що забезпечує режим підйому, стабілізації і зниження температури, впуску та випуску теплоносія – пари, перепуск пари з одного автоклава в інший за визначеним графіком та ін.

Автоклави випалювальних відділень зазвичай пов'язані в єдину систему. Досвід експлуатації показав, що виконавчі механізми на парових магістралях необхідно ставити швидкодіючими, постійно закритими, що забезпечує безпеку знаходження робочих всередині автоклава після закінчення обробки їх.

Прогрів холодного автоклава на першій стадії випалювання проводиться за рахунок перепускного пара. Відкривається вентиль впуску пари з іншого охолодженого автоклава. Всі інші, паропроводи перекриті. Через 3-5 хв після початку прогріву відкривається вентиль лінії конденсату, і з автоклава видаляється утворений конденсат і повітря. Лінія конденсату відкрита 54-56 хв. Перепуск триває 20-25 хв, потім перекривається паропровід конденсатовідводу і проводиться підвищення тиску і ізотермічна витримка на рівні  $1,2 \cdot 10^6 - 1,8 \cdot 10^6$  Па.

Для зниження тиску в автоклаві пар спочатку випускається в один із сусідніх автоклавів через паропровід перепускного пара, а потім залишився пар випускається через паропровід залишку пара. Одночасно з висновком залишку пара виробляється вторинний висновок конденсату. Цикл випалювання закінчується, відкривається кришка, і з автоклава вивантажуються вагонетки з готовою продукцією.

Автоклав, як об'єкт, в якому протікає тепловий процес, характеризується навантаженням, тобто кількістю енергії, що витрачається для випалювання. Кількість тепла, необхідне для ведення процесу, на різних фазах по різ-

ному. Найбільше навантаження відбувається в період підвищення температури і тиску, коли тепло витрачається на нагрів маси всередині автоклава. У період ізотермічної витримки в автоклаві температури на рівні 180-200 ° С теп, витрачається тільки на відшкодування втрат у навколишнє середовище. У порівнянні з періодом підвищення температури теплове навантаження період ізотермічної витримки в кілька разів менше.

Автоклав є двоємнісним об'єктом. Він має ємність на стороні подачі і на стороні споживання. Ємність на стороні споживання складається з кількості тепла, де підігрівається маса, а ємність на стороні подачі - з кількості тепла в теплоносії – парі.

Між ємностями існує опір, так як передача тепла відбувається протягом деякого часу, що залежить від коефіцієнта теплопередачі матеріалів і тиску пара.

Автоклав як теплової об'єкт має властивість самовирівнювання. У регулюванні процесу обробки їх існують два напрямки: регулювати процес по температурі або по тиску. Однак якщо регулювання ведеться тільки по температурі, то неможливо точно регулювати коливання тиску автоклави, відповідні процесу технології твердіння розчинної маси. При цьому позначається велика інерційність об'єкта регулювання. Якщо ж регулювання ведеться тільки по тиску, то ділянку підйому від до 9,8-104 Па залишається нерегульованим, так як підйом тиску і його реєстрація починається тільки 99,08 ° С. Прийнято вважати, що доцільно вести регулювання по температурі на початку процесу випалювання (підйом температури і тиску) і по тиску в період ізотермічної витримки і охолодження. При автоматизації автоклавів для введення і виведення пари та конденсату повинні застосовуватися тільки постійно закриті виконавчі механізми (закриті клапани), що відкриваються тільки на час відповідного впливу на них. У цьому полягає особливість автоматизації системи на відміну від автоматизації одиночних автоклавів. При автома-

тизації одиночних автоклавів вхід пара встановлюється н.з., а. вихід – н.о. виконуючий механізм. Застосування двох механізмів взаємно протилежним напрямком дії дозволяє під'єднати їх до однієї вихідний лінії регулятора і здійснити програмне регулювання за допомогою відповідного регулятора. На автоклавах запарочне відділення заводу (тобто при групі автоклавів) повинні бути встановлені і на час написання або на виведення пара і конденсату постійно закриті клапани.

Для автоматизації процесу випалювання в системі автоклавів не придатні регулятори, які мають один вихідний канал. У цьому випадку потрібен програмний регулятор з двома вихідними каналами. Один канал повинен бути використаний для управління виконавчими механізмами впуску, а другий-випускання пари. При автоматизації процесу випалювання в автоклавах необхідно враховувати наступні вимоги: надійність системи автоматичного регулювання і простоту в експлуатації; управління тепловим процесом автоклава за програмою; вибір для застосування в подачі пара постійно закритих виконавчих механізмів; забезпечення вторинного використання, пара; висновок конденсату двічі протягом циклу; забезпечення автоматичного регулювання за допомогою пристроїв по можливості мінімальної вартості; повна безпека в роботі.

Схеми автоматизації автоклавів базуються на різних спеціалізованих регуляторах.

Автоматична система теплового регулювання автоклавів складається з комплекту регулюючих і вимірювальних приладів з уніфікованим вихідним сигналом постійного струму 0-5 мА; призначена для автоматичного програмного регулювання, контролю, сигналізації та запису температури і тиску. Ця система забезпечує: програмне регулювання процесу по температурі і тиску; вимір і запис регульованого параметра; подачу світлового і звукового сигналів при відхиленні регульованого параметра від заданого значення; заборона

подачі теплоносія при відкритій або неповністю закритій кришці автоклава і повторне використання відпрацьованого пара.

Дослідивши функціональні завдання автоматизації АСУТП[8], а також відповідні галузеві та державні стандарти для визначення норм контрольованих параметрів в системі, наводимо параметри контролю, регулювання, сигналізації й логічного керування.

Таблиця 2.1 – Вибір і обґрунтування параметрів контролю, регулювання, сигналізації та логічного управління.

Найменування об'єкта	Найменування контурів	Номинальне значення параметрів	Регістрація	Відображення	Сигналізація	Регулювання
Автоклав	Температура в зоні підігріву	170 <sup>0</sup> С	+	+	+	+
	Розрядження	40-50 кПа	+	+	+	+
	Концентрація CO <sub>2</sub> в димових газах	1,1 %	+	+	+	+
Трубопровід подачі повітря в зону нагріву	Витрата	380 м <sup>3</sup> /Г	+	+	+	-
	Тиск	0,9 МПа	+	+	-	-
Трубопровід подачі палива	Тиск	0,5 МПа	+	+	-	-
	Витрата	303 м <sup>3</sup> /Г	+	+	+	-
Трубопровід відкачки повітря з автоклаву	Тиск	0,9 МПа	+	+	-	-
	Витрата	380 м <sup>3</sup> /Г	+	+	+	-
Вентилятор	Робота	-	+	+	-	-
Штовхач вагонеток	Робота приводу	-	+	+	-	-
Димосос	Робота	-	+	+	-	-
Механізми підняття дверей	Робота	-	+	+	-	-

Метою вибору технічних засобів є визначення найбільш ефективного методу вимірювання для кожного технологічного параметра. Обраний метод

і завдання вимірювання повинні задовольняти характеру середовища, бути найбільш точним.

Обґрунтування і вибір технічних засобів включає вибір первинного вимірювального перетворювача, проміжних перетворювачів, засобів централізованого контролю та управління, виконавчих механізмів та регулюючих органів.

#### *Опис контрольованих параметрів системи*

Контроль температури. Умови випалювання, тобто швидкість підвищення і подальшого зниження температури, характеризують режим горіння. Неправильно підібраний режим або режим, забезпечений з недостатньою точністю, може спричинити перевитрату палива, збільшити терміни випалу, знизивши тим самим продуктивність автоклаву, а так само викликати такі дефекти продукту, як плями і тріщини, знизити міцність, термо- і хімічну стійкість. Таким чином, температура є одним із принципово важливих параметрів технологічного процесу, а отже, необхідний їй контроль.

Контроль тиску. Температура на ділянках автоклаву прямо залежить від витрати палива і повноти його згорання (а значить, і від витрати повітря). Так, щоб дозувати подаються на пальник паливо і повітря, необхідно знати їх тиск у відповідних трубопроводах.

Контроль витрати. Очевидно, контроль витрати палива необхідний з економічних мотивів. Вимірювання витрати проводиться методом змінного перепаду тиску.

Контроль концентрації. З міркувань безпеки ведення виробництва необхідний контроль витоку газу. Природний газ вибухонебезпечний при його об'ємної концентрації від 5% до 15% в суміші з повітрям. Таким чином, необхідний контроль концентрації природного газу.

#### *Управління температурою в зоні випалювання автоклаву*

Зважаючи на істотну інерційність температури всередині печі для управління температурою газів зони випалу організовано двопозиційне регулювання. Так, по досягненню температурою деякого значення  $T_{max}$ , що визначається експериментально, закриваються двопозиційні заслінки трубопроводів, що підводять паливо і повітря до відповідної пальника. Навпаки, якщо температура впала до якоїсь  $T_{min}$ , роботу пальника слід відновити.

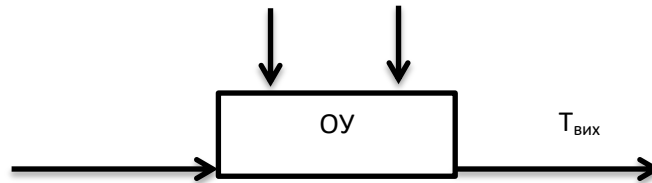


Рисунок 2.1 – Структурна схема управління температурою зони випалу автоклаву

Параметри, що впливають на температуру газів в зоні випалу  $T_{вих}$ :

- 1) Витрати палива і повітря, що подаються на пальник –  $F_T$ , в;
- 2) Температура цегли, що виходить із зони нагріву –  $T_{вх}$ ;
- 3) Тепловтрати –  $\Theta$ .

Останні два можна віднести до внутрішніх (неконтрольованих) збурень.

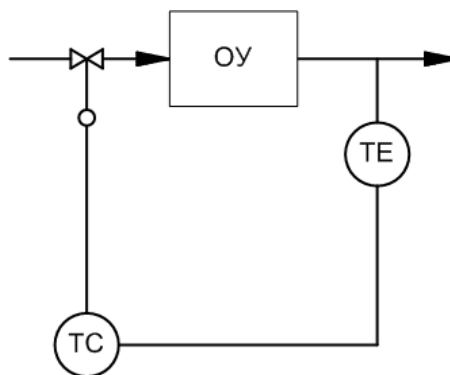


Рисунок 2.2 – Принципова схема САУ температурою зони випалу автоклаву

Величина регульованого параметра  $T_{вих}$  – температури зони випалу – перетворюється первинним перетворювачем (термопарою) в термоерс і пода-

ється на регулятор температури. Регулятор порівнює отриманий сигнал із завданням і, на підставі цього порівняння, формує регулюючий вплив, що змінює положення заслінки виконавчого пристрою.

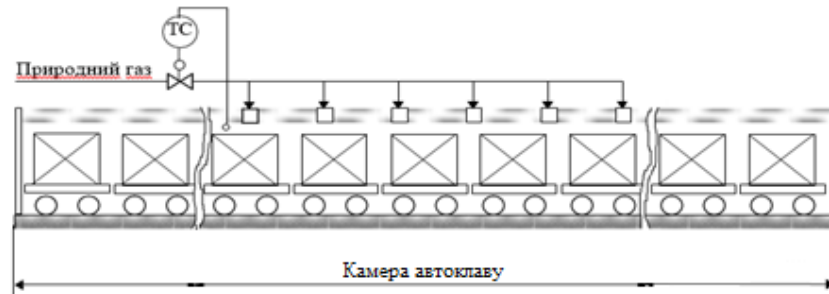


Рисунок 2.3 – СКТ в зоні випалювання

Такий спосіб керування температурним режимом зони випалювання розглянутий. Завдання даної системи керування – зниження енергозатрат та покращення якості виробів. Для досягнення даної мети змінюють витрату палива на окремих групах пальників в залежності від розподілення температури в зоні випалювання. Описана система регулювання дозволяє точно підтримувати температурний режим зони випалювання печі. Її вдосконалення запропоновано у рис. 2.2. Система містить вимірювачі 1 – 3; клапани 4 – 6; регулятори витрати палива 7 – 9; блок уставок регуляторів 10; блок керування штовахачем 11; поширювач імпульсів 12; блок порівняння 13; блок завдання часу штовхання 14.

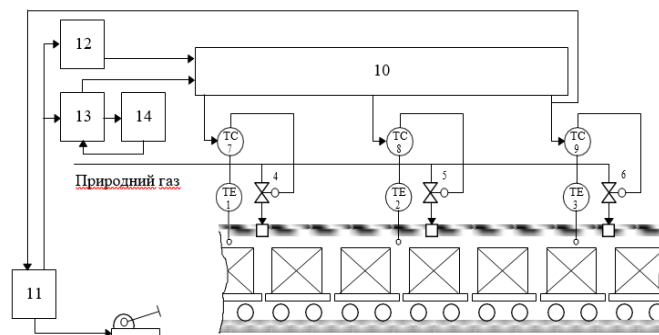


Рисунок 2.4 – Керування температурою в зоні випалювання

За допомогою розподіленої подачі палива система дозволяє точно керувати температурним режимом. Перевагою розглянутої системи керування

слід вважати залежність теплової обробки виробів від інтервалу штовхання вагонеток.

Слід відмітити, що одною із основних причин зниження показників роботи автоклавів є наявність великих температурних перепадів по висоті печі (до 250 К). За умови відсутності температурних перепадів в печах по висоті КЦУ садки, час випалювання виробів можна зменшити. Одним із ефективних способів зменшення температурних перепадів по висоті робочого каналу в зоні випалювання печі є організація нижнього прогріву садки з виробами на рівні вагонеточних платформ з використанням довгофакельних швидкісних пальників, які розташовані тангенціально відносно садки та здійснюють закрутку газоповітряного потоку за рахунок високої кінетичної енергії реактивного струменя. Така система керування дозволяє досить точно підтримувати температурний режим не тільки вздовж зони випалювання, але й по її висоті.

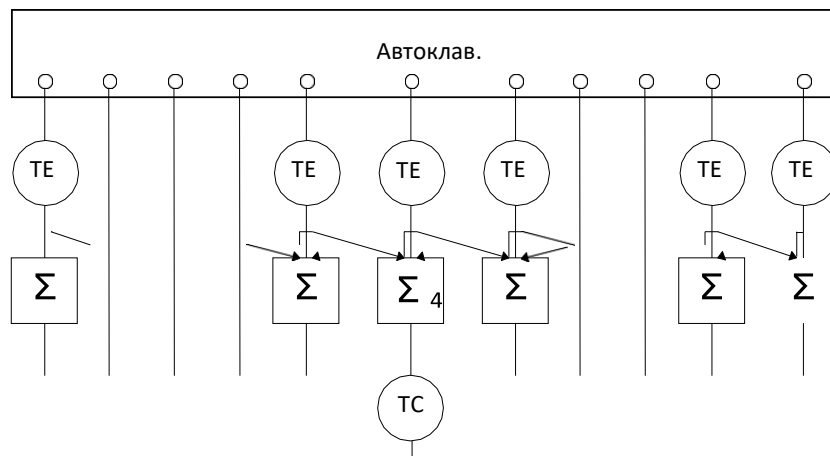


Рисунок 2.5 – Схема контролю температури теплоносія автоклаву.

За рахунок додаткового контролю сигналів термопар 1, 3, якщо розірвана лінія контролю термопар 2 на регулятор витрати палива 5 подається сигнал з компенсуючого суматора 4, який зменшує витрату палива до поперед безпечного рівня, попереджуючи вихід пальника з ладу через перегрівання.

Тепловий режим автоклавів визначається витратою палива і повітря на пальниках та інтенсивністю перемішування природного газу з повітрям на



виході сопла пальника. Тому, потрібно проводити контроль та регулювання витрати палива та повітря на кожному пальникові печі. Витрату природного газу, що йде на спалювання доцільно контролювати при сталому тиску газу в трубопроводі, оскільки при одному і тому положенні РО на газопроводі витрата газу буде змінюватися із зміною тиску. Щоб усунути небажану зміну витрати газу до печі за рахунок зміни тиску в газопроводі, його стабілізують.

Співвідношення між витратами палива і повітря для спалювання важливий параметр, що характеризує повноту згорання палива. Кількість повітря залежить від витрати палива. Для повного спалювання палива і одержання необхідної температури горіння слід підтримувати постійний надлишок повітря, вибір якого обумовлюється ефективністю спалювання палива в конкретній печі.

В атоклавах для контролю витрати палива і повітря для спалювання широке розповсюдження отримало встановлення на трубопроводах вимірвальних діафрагм.

Керування для регулювання співвідношення витрат паливо – повітря для спалювання розглядаються і забезпечують підтримку необхідної витрати повітря для повного спалювання палива. Проте таке регулювання витрати повітря не забезпечує постійних умов спалювання палива, тому що коефіцієнт надлишку повітря змінюється в залежності від складу та теплотності палива.

Отже, для ефективного спалювання палива бажано здійснювати допоміжний контроль димових газів, наприклад за аналізом  $CO_2 + SO_2$  та  $O_2$ . У публікаціях розглядаються системи автоматичного регулювання співвідношення повітря – природний газ на пальниках за складом продуктів спалювання з врахуванням температури первинного та вторинного повітря, а також умов їх перемішування. Регулювати процес горіння палива на пальниках за

складом продуктів спалювання можливо за наявності швидкодіючих та надійних газоаналізаторів.

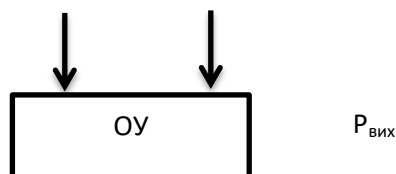
Автоматизація процесу спалювання палива в автоклаві передбачає програмне керування відсіканням газу під час аварійного режиму, блокування дверей та штовхача печі.


Регулювання температури в автоклаві шляхом зміни витрати природного газу пов'язано із зміною об'єму димових газів, що викликає зміну аеродинамічного опору в автоклаві при русі димових газів. Тобто, необхідно регулювати розрідження або зменшувати пропускну здатність димоходів. Це досягається підтримкою постійного тиску в робочій частині печі зміною положення регулюючого шиберу перед димососом або димовою трубою.

Отже, аеродинамічний режим – наступна характеристика печі, яка повинна стабілізуватися. Розрідження тиску в зоні нагрівання контролюється за допомогою колокольного дифманометра, сигнал з якого подається на регулятор, який керує поворотною заслонкою, що розташована на трубопроводі видалення димових газів. Аналогічна схема регулювання перепаду тиску в зоні охолодження. Виконуючий механізм, в цьому випадку, діє на поворотну заслонку трубопроводу видалення гарячого повітря, який розташований на стику зон випалювання та охолодження. Недоліком цієї системи регулювання є неможливість коригування витяжної сили димових газів в залежності від витрати природного газу. На рис. представлена система керування тиску в зоні підігріву, яка дозволяє враховувати витрату палива.

#### *Управління тиском палива в газопроводі*

Для стабільної роботи всіх газових пальників необхідно, по-перше, знизити вхідний надлишковий тиск подаваного палива  $P_{вх}$  до необхідного  $P_{вих}$  і, по-друге, підтримувати його постійним незалежно від витрати палива  $F$  пальниками печі.



  
 Рисунок 2.6 – Структурна схема управління тиском палива в газопроводі

Параметри, що впливають на тиск палива, що подається на пальники:

- 1) вхідний тиск –  $P_{вх}$ ;
- 2) витрата палива –  $F$ ;
- 3) кут повороту регулюючої заслінки –  $\alpha$ .

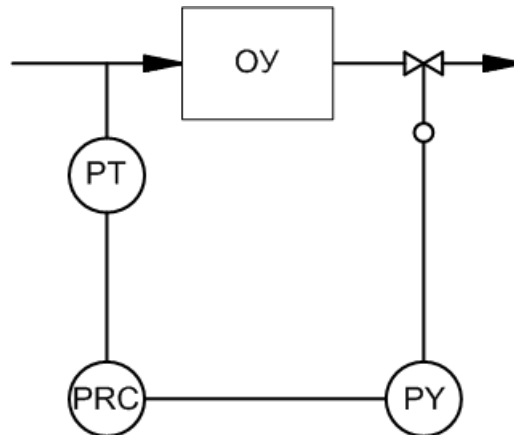


Рисунок 2.7 – Принципова схема САУ тиском палива

Тиск палива  $P_{вх}$ , що прибуває з газорегуляторного пункту, перетворюється датчиком тиску в уніфікований струмовий сигнал. Цей сигнал передається на регулятор тиску, де по заданому закону регулювання формується керуючий вплив у вигляді уніфікованого струмового сигналу. Цей сигнал надходить на електропневмоперетворювач і, вже у вигляді уніфікованого пневматичного сигналу подається на пневмоклапан, де змінюється кут повороту його засувки. Таким чином, клапан являє собою змінний гідравлічний опір, за допомогою якого САУ знижує занадто високий вхідний тиск і підтримує його на заданому рівні  $P_{вих}$ .

#### *Управління витратою охолоджуючого повітря*

Для того щоб охолодження обпаленої цегли проходило відповідно до заданого технологічного режиму, необхідно управляти витратою атмосферного повітря  $F_{вих}$ , що направляється в зону охолодження.

Параметри, що впливають на витрату повітря  $F_{\text{вих}}$ :

- 1) витрата, створюваний роботою відцентрового вентилятора –  $F_{\text{вх}}$ ;
- 2) гідравлічний опір внутрішньої архітектури печі –  $\Delta P$ ;
- 3) кут повороту регулюючої заслінки –  $\phi$ .

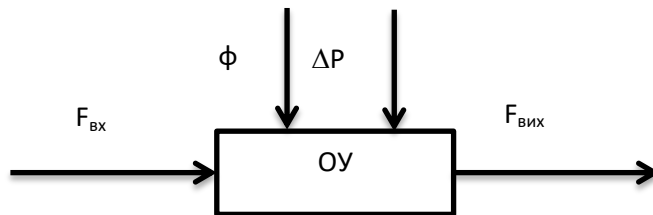


Рисунок 2.8 – Принципова схема САУ витратою охолоджуючого повітря

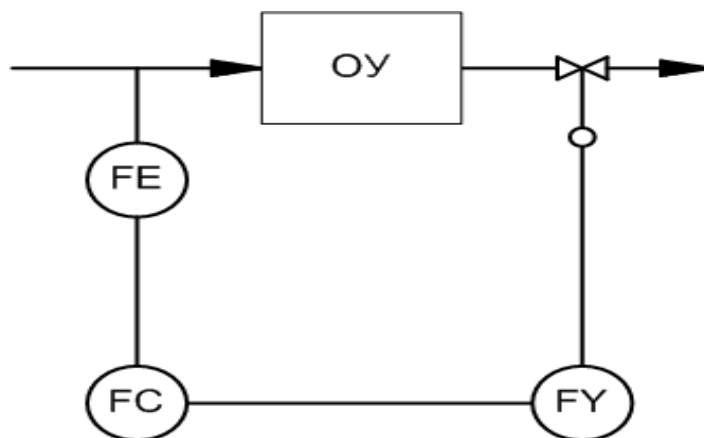


Рисунок 2.9 – Принципова схема САУ витратою охолоджуючого повітря

Витрата атмосферного повітря  $F_{\text{вх}}$ , що задається роботою відцентрового вентилятора, перетворюється вихровим витратоміром в уніфікований струмовий сигнал. Цей сигнал передається на універсальний П-регулятор, де по заданому закону регулювання формується керуючий вплив у вигляді сигналу 4-20 мА. Цей сигнал надходить на електропневмоперетворювач. Потім, після перетворення, сигнал подається на пневмоклапан, де змінюється кут повороту його засувки. Створюється змінний гідравлічний опір, що призводить до зміни  $F_{\text{вх}}$  відповідно до закону регулювання.

Робота такої системи полягає в тому, що регулювання температури здійснюється шляхом зміни подачі газоповітряної суміші. Якщо в печі змінилася температура, то датчик фіксує це і подає сигнал автоматичному регулятору, який у свою чергу виробляє сигнал управління і посиляє його на виконавчий механізм. Двигун починає обертатися в сторону, відповідну закриттю або відкриттю клапана (залежно від збільшення або зменшення температури в ТОУ), який через редуктор пов'язаний з вихідним валом двигуна. Зміна положення заслінки приводить до відповідної зміни витрати газоповітряної суміші, а отже і до зміни температури в ТОУ.

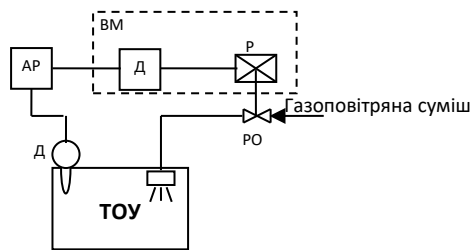


Рисунок 2.10 – Функціональна схема контура управління температурою в ТОУ.

де: ТОУ – технологічний об'єкт управління;

АР – автоматичний регулятор;

ВМ – виконавчий механізм – включає двигун (Д) і редуктор (Р);

Р – регулюючий орган – заслінка клапана;

Д – датчик.

Автоматичне регулювання температури в печі дуже важливе| для отримання| високоякісної цегли, оскільки в даний час є одним з найпоширеніших будівельних матеріалів в світі. | цегли зводяться не тільки житлові будівлі, але і виробничі приміщення, і його якість визначає тривалість експлуатації і надійність цих споруд.

*Система стабілізації аеродинамічного режиму*

На трубопроводі природного газу 1 встановлена діафрагма 2 для контролю витрати палива. За витратою природного газу визначається кількість  $Q$  продуктів спалювання та розраховується значення завдання тиску.

Регулятор 3 керує поворотною заслінкою 5 за допомогою електромашинного виконуючого механізму 4, стабілізуючи тиск в зоні нагрівання.

Однією з причин виникнення температурних перепадів по висоті тунелю печі є підсос холодного повітря з нещільностей стиків вагонеток та пісочного затвору, в результаті чого знижується температура теплоносія та збільшується опір на шляху його руху. Для зменшення підсосів повітря з навколишнього середовища та збільшення температури в автоклаві, необхідно зменшити перепад тиску між пічним каналом та підвагонеточним простором. Тобто, разом з регулюванням тиску в пічному каналі автоклаву, необхідно регулювати тиск в підвагонеточному просторі таким чином, щоб перепад тиску між тунелем і підвагонеточним простором були близькі до нуля. Перепад тиску вимірюється колокольним дифманометром. Регулятор впливає на подавання повітря в підвагонеточний простір або на видалення повітря з пічного каналу.

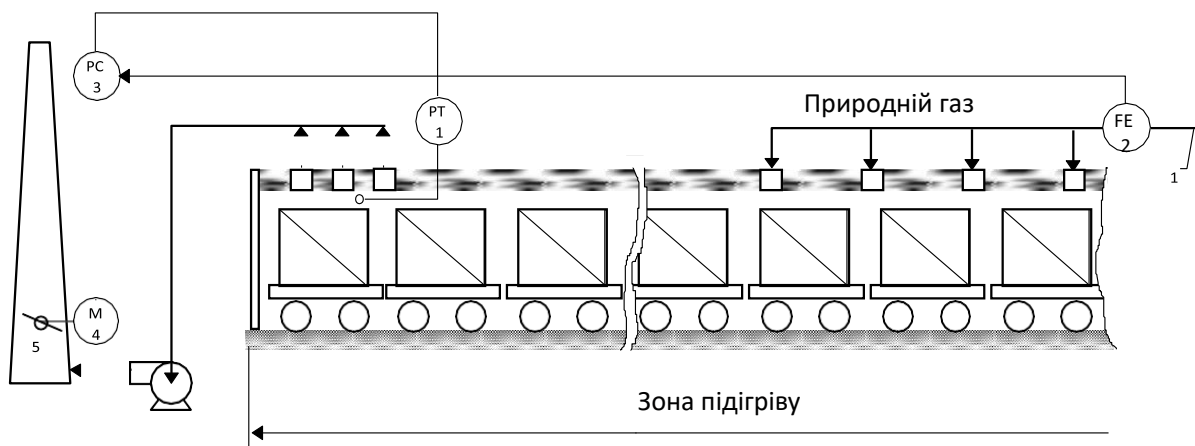


Рисунок 2.11 – Система стабілізації аеродинамічного режиму автоклаву.

Функціональна схема автоматизації є основним технічним документом, що визначає структуру і характер автоматизації технологічних процесів і

оснащення їх приладами та засобами автоматизації. Функціональні схеми автоматизації можуть розроблятися з більшим чи меншим ступенем деталізації

Схему виконано відповідно до ГОСТ 21-404-85 за правилами, функціональна схема автоматизації процесу наведена в додатках.

Вибрані технічні засоби автоматизації згруповані в поле креслення за призначенням і метою функціонування.

### РОЗДІЛ 3. ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Вимірювання і контроль тиску в лінії подачі газу, повітря в печі здійснюється за допомогою вимірювального перетворювача "Сапфір – 22 – ДА – ЕХ"[9] (поз.11-1; 13-1; 14-1; 18-1; 22-1). Сигнал з вимірювального перетворювача (поз. 13-1; 14-1; 18-1; 22-1) надходить до блоку БРУ-42 (поз. 13-2; 14-2; 19-2; 22-2) далі до перетворювача С100 (поз. 13-3; 14-3; 22-3). Відображення поточного значення параметра виводиться на аналогово-цифровий термінал.

Вимірювання розрядження в зоні підігріву здійснюється за допомогою перетворювача різниці тисків "Сапфір -22 -ДД - Ех" (поз 18-1) сигнал з якого надходить на блок ручного управління БРУ-42 (поз. 19-2), далі на безконтактний пускач ПБР – 2М (поз 19-3). Відображення поточного значення параметри виводиться на аналогово – цифровий термінал.

Вимірювання витрати паливного газу, повітря по основній лінії здійснюється методом змінного перепаду тиску за допомогою камерної діафрагми ДК 25 (поз.4 -1; 4-7; 6-1; 6-4; 10-1; 20-1), що по допомогою імпульсних трубок з'єднана з дифманометром типу Сапфір 22ДД – Ех (поз. 4 -2; 4 -6; 6-2; 6-3; 10-2; 20-2). Сигнал із вторинного приладу надходить на блок ручного управління БРУ-42 (поз.5 -3; 6-5; 21-1), далі надходить до безконтактного пускач ПБР – 2М (поз.5-4; 6-6; 21 -2). Відображення поточного значення параметра виводиться на аналогово – цифровий термінал.

Вимірювання і регулювання температури в зоні випалу здійснюється перетворювачем термоелектричним ТХА – 1199[9] (поз. 3-1; 5-1), які мають вбудований перетворювач. Керуючий сигнал від Simatic S7 – 300 подається на блок ручного управління БРУ-42 (поз. 3-3; 5-3), далі надходить до безконтактного пускача ПБР – 2М (поз. 3-4; 5-4). Далі сигнал надходить в дифманометра типу Сапфір 22ДД – Ех (поз.4 -2; 6-2). Вимірювання і регулювання



температури в зонах охолодження і підігріву здійснюється термоперетворювачами опору ТХК – 1199 (поз.9-1; 1-1), які мають вбудовані перетворювачі. Керуючий сигнал від Simatic S7 – 300 подається на блок ручного управління БРУ-42 (поз. 9-3), далі надходить до безконтактного пускача ПБР – 2М (поз.9-4). Далі сигнал надходить в дифманометра типу Сапфір 22ДД – Ех (поз.10 – 2).

Вимірювання і контроль концентрації CO<sub>2</sub> димових газів здійснюється аналізатором "Хоббіт -А" 16542-97 (поз.2 – 1). Сигнал із вторинного приладу надходить на вхід Simatic S7 – 300. Відображення поточного значення параметра виводиться на аналогово – цифровий термінал.

Також регулювання роботи вентиляторів, димососа, гідравлічного штоухача вагонеток, механізму підняття дверей здійснюється включенням і вимиканням їх в ручному дистанційному режимі з блоку БРУ -32 (поз.12 -1; 13-1; 14-2; 16-2; 17-2 ; 22-2) і пускача ПБР – 3А (поз.12 -2; 13-3; 14-3; 17-3; 22-3) і тиристор його перетворює (13-3; 14-3; 22-3)

Можемо бачити список позиційних позначень на функціональній схемі автоматизації (див. додаток Б) в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Позиційні позначення на ФСА.

Позиція	Назва та технічні характеристики приладу. Завод-виробник.	Тип, марка устаткування	Кількість	Маса одиниці, кг
<b>Датчики</b>				
4-1,4-7, 6-1, 6-4, 10-1, 20-1	Діафрагма камерна. Умовний тиск 25 МПа. Умовний прохід 50 мм. Виконання 2. Виробник ВО «Геофізприлад» м.Івано-Франківськ.	Дк-25	6	0,5

4-2, 4-6, 6-2, 6- 3,10-2, 20-2	Перетворювач вимірювальний різниці тиску. Межі вимірювання 0-15 МПа. Клас точності 0,5%. Надмірний тиск 16 МПа. Вихідний сигнал 0-5 мА. Іскробезпечний. Напруга живлення 220 В 50 Гц. Виробник: "АТ СП Манометр", м Харків.	Сапфір 22 ДД- ЕХ	6	12
11-1, 13- 1,14- 1,18-1, 22-1	Перетворювач вимірювальний надлишкового тиску. Межі вимірювань 0-40 МПа. Клас точності 0,5%. Надмірний тиск 40 МПа. Вихідний сигнал 0-5 мА. Іскробезпечний. Напруга живлення 220 В 50 Гц. Виробник: "АТ СП Манометр", м.Харків.	Сапфір 22 ДА- ЕХ	6	11,9
3-1, 5-1	Перетворювач термоелектричний одинарний платиновий, межі вимірювання (-40-1100) 0С. Клас точності 2.Електрическа опірність 20 Ом. Допустиме відхилення 1,5%. Луцький приладобудівний завод.	ТХА- 1199	2	4
1-1, 9-1	Перетворювач термоелектричний одинарний платиновий, межі вимірювання (-40-800) °С. Клас точності 1. Електричний опір 20 Ом. Допустиме відхилення 1,5%. Луцький приладобудівний завод.	ТХК- 1199	2	2,25
2-1	Газоаналізатор вмісту СО <sub>2</sub> . Похибка 2,5%. Вихідний сигнал 0-5 мА. Виробник: ВО "Мікроприлад", м.Львів	ХОБ- БИТ-А 16542- 97	1	12
<b>Виконавчі механізми</b>				

3-5, 4-5, 5-5,6- 7,9-5,19- 4, 21-3	Механізм електричний однооборотний. Номінальний обертальний момент на вихідному валу 6,3 Н · м, номінальний час повного ходу вихідного валу 10 с, номінальне значення повного ходу вихідного валу 0,25 рад, споживана потужність 46 Вт. Виробник АТ "Арматек", Санкт-Петербург.	МЕВ- 6,3/10- 0,25-01	6	6,5
<b>Електричні прилади</b>				
3-3, 5-3, 9-3, 13- 2, 14-2, 19-2, 21- 1, 21-2, 22-2	Блок ручного дистанційного керування. Живлення змінною напругою 24 В з частотою 50 Гц. Інтервал вимірювання від 0-5 мА. Виробник: м Чебоксари ВО "Електроприлад".	БРУ-42	7	0,8
3-4, 5-4, 6-6, 9-4, 12-2, 13- 3, 14-3, 17-3,19- 3, 21-2, 22-3	Пускач безконтактний реверсивний. Живлення змінною напругою 24 В з частотою 50 Гц. Інтервал вимірювання від 0-5 мА. Виробник: м Чебоксари ВО "Електроприлад".	ПРБ-2М	7	4,5
12-1, 12- 2, 14-2, 15-2, 16- 2, 17-2, 22-2	Блок ручного дистанційного керування. Живлення змінною електричною напругою 24 В з частотою 50 Гц. Інтервал вимірювання від 0-5 мА. Виробник: м Чебоксари, ВО "Електроприлад".	БРУ-32	12	3,0

12-2, 13-3, 14-3, 17-3, 22-3	Пускач безконтактний реверсивний. Живлення змінною напругою 24 В з частотою 50 Гц. Виробник: м Чебоксари ВО "Електроприлад".	ПБР-3А	12	1,5
<b>Засоби керуючої електронної техніки</b>				
	Контролер малоканалний багатофункціональний. Кількість входів-виходів в базовій моделі контролера: аналогові входи – 4, аналогові виходи – 1, дискретні входи – 3, дискретні виходи – 5. Живлення: змінна напруга 220 В частотою (50 ± 1) Гц, споживана потужність не більше 10 Вт. Габаритні розміри блоку контролера (96 х 96 х 240) мм; робоча температура від 0 ° С до плюс 60 ° С.	Simatic S7-300	1	0,8
	Керуючий комп'ютер. Intel Pentium G630 (2.7 ГГц) / RAM 4 ГБ / HDD 500 ГБ / nVidia GeForce GT630, 1 ГБ, монітор 17 "/ Клавiатура / Миша / Принтери	ІВМ РС	1	20

### **Висновки до розділу 3.**

Таким чином було підібрано обладнання, необхідне для досягнення цілей роботи розроблюваної системи управління.

Перелічено всі обрані для забезпечення діяльності системи пристрої та вказано критерії вибору.

Створено звідну таблицю засобів автоматизації системи з вказанням моделей і кількостей одиниць обладнання, за куповуваного для забезпечення функціонування автоклаву.

Підібрано мікропроцесорний пристрій управління, датчик для збору інформації про стан системи, пристрої для узгодження сигналу, виконавчі механізми для здійснення управління системою, а також пристрої введення та відображення інформації.

Можемо вважати цілі розділу досягнутими. Перейдемо до огляду системи автоматичного керування електроприводами виконавчих механізмів.

## РОЗДІЛ 4. СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ ВИКОНАВЧИХ МЕХАНІЗМІВ

### **4.1. Використання систем електроприводу у автоматизації автоклаву для випалювання силікатної цегли**

Основним застосуванням електроприводу для системи автоматизації автоклавів є вентилятори та компресори. Розглянемо особливості застосування систем електроприводу для автоматизації вентиляції та компресорів.

Сучасні адміністративно-виробничі будівлі відрізняються великою різноманітністю приміщень за видами шкідливих виділень і вимогам до внутрішнього мікроклімату. Змінний протягом доби або інших часових проміжків режим роботи будівлі визначає нерівномірне навантаження на систему вентиляції і кондиціонування повітря (СВКВ). У години підвищених навантажень СВКВ повинна забезпечувати необхідний повітрообмін, при знижених навантаженнях, т. Е. Система повинна переводитися в енергозберігаючий режим.

Наведемо основні функції системи управління СВКВ:

1. Регулювання температури і вологості повітря, що надходить в систему повітропроводів припливної вентиляції; підтримання параметрів повітря в межах санітарних норм і спеціальних вимог в приміщеннях завдяки управлінню кондиціонерами-доводчиками.

2. Переклад систем припливної та витяжної вентиляції в енергозберігаючі режими роботи в години знижених навантажень, зокрема, автоматичне закриття засувки на повітроводах, які обслуговують приміщення при його переході в неробочий стан і відповідне зниження потужності вентиляційних установок припливної та витяжної вентиляції, а також відпрацювання заданих алгоритмів включення і виключення місцевих вентиляційно-кондиціонуючих установок.

3. Переклад систем в аварійні режими функціонування в зумовлених ситуаціях, зокрема, виключення агрегатів загальнообмінної припливної та витяжної вентиляції і запуск аварійної вентиляції для видалення диму при пожежі (здійснюється при спрацьовуванні пожежної сигналізації).

4. Індикація технологічних параметрів окремих вузлів СВКВ на локальних пультах управління з можливістю настройки цих вузлів і зв'язок з рівнем диспетчерського управління; повідомлення оператора при відмові окремих пристроїв і агрегатів (наприклад, на двигун вентилятора поданий сигнал включення, але двигун не працює), а також при виникненні передаварійних ситуацій (наприклад, на фільтрі занадто великий перепад тисків, що свідчить про його засміченні).

5. Повідомлення оператора в разі, якщо будь-які вузли СВКВ знаходяться в робочому стані, хоча за регламентом їм належить бути виключеними.

На рис. 4.1 показана функціональна схема СУ припливної вентиляційної установки[15]. Атмосферне повітря закачується в систему вентилятором (можливо кількома) при відкритій вхідній заслінки 1, керованої електродвигуном 2. Фільтр 3 забезпечує очищення повітря від пилу і зважених часток. Підвищення перепаду тиску на фільтрі, що вимірюється датчиком 4, вище допустимої норми відбивається сигналізацією на локальному пульті управління і ПК оператора. У камері зрошення 5 повітря контактує з крапельками води, що подається під тиском, створюваним насосом 6, до форсунок розподільних колекторів. Залежно від температури розбризкується води здійснюється фазовий перехід води в пару або з пара в воду, в результаті чого повітря відповідно зволожується або осушується. Цільова вологість повітря вимірюється датчиком 7 і регулюється шляхом зміни витрати теплоносія в теплообмінному апараті 8 регулюючим клапаном 9. розбризкує в камері зрошення вода накопичується в баку 10, рівень в якому вимірюється датчиком 11.

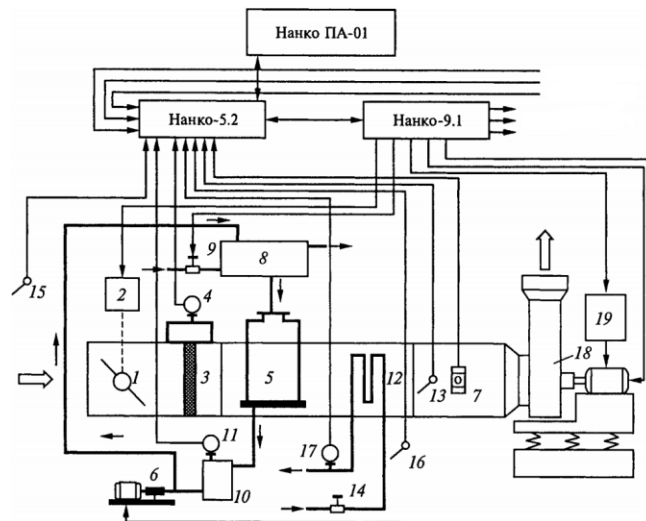


Рисунок 4.4 – Функціональна схема СУ припливної вентиляційної установки

При досягненні водою в баку рівня нижнього або верхнього допустимого рівня контролер видає керуючі сигнали насосу на підкачування не вистачає, або відкачування надлишкового об'єму води. Оброблений в камері зрошення повітря надходить в калорифер 12. Його цільова температура вимірюється датчиком 13 і регулюється шляхом зміни витрати теплоносія в змійовику калорифера клапаном 14. Автоматична система управління забезпечує заходи щодо захисту калорифера від замерзання води (теплоносія) в трубах. При мінусовій температурі зовнішнього повітря, що вимірюється датчиком 15, в разі зниження температури теплоносія, температура датчика 16, нижче заданої межі або при падінні тиску в трубопроводі теплоносія, вимірюваного датчиком 17, нижче заданої межі система автоматично відпрацьовує аварійний режим: вимикається електродвигун вентиляторної установки 18, перекривається вхідні заслінка 1, і максимально відкривається клапан 14 на трубопроводі теплоносія. На ПК оператора виводяться відповідні повідомлення. Для зниження енергоспоживання передбачається управління електродвигуном вентиляційної установки 18 за допомогою перетворювача частоти 19. При переході окремого приміщення в неробочий стан контролер подає керуючий сигнал на закриття заслінок які обслуговують дане приміщення



повітропроводів, а також керуючий сигнал на перетворювач частоти, що знижує частоту двигуна і відповідно його енергоспоживання.

#### 4.2. Імітаційне моделювання управління електроприводом автоклаву

За замовчуванням модель асинхронного двигуна з розділу бібліотеки SimPowerSystems[16] дається для фазного ротора (рис. 4.5, а).

Клеми А, В, С служать для підключення до трифазної напруги, клеми а, b, с – виходи обмотки ротора. Параметри двигуна для модифікації SI Units в абсолютних одиницях вводяться через діалогове вікно, яке викликається подвійним клацанням по зображенню двигуна (рис. 4.5). У рядку Rotor type пропонується два варіанти: Wound – двигун з фазним ротором і Squirrel-cage – короткозамкнений двигун (з білячою кліткою). У рядку Reference frame пропонується три варіанти вибору системи координат: Rotor – обертається з ротором з однаковою частотою; Stationary – нерухома, найбільш природна для нас; Synchronous – система координат, синхронно обертається з частотою напруги. Параметри асинхронного двигуна вводяться в наступні рядки в абсолютних одиницях.

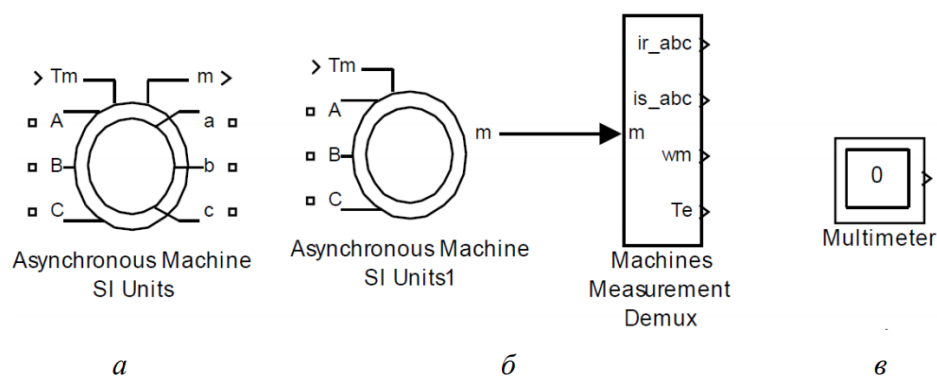


Рисунок. 4.5. Віртуальна модель асинхронної машини:

а – модель в абсолютних одиницях двигуна з фазним ротором; б – модель короткозамкнутого двигуна; в – вимірювальний інструмент

Слід мати на увазі, що ці параметри в довідниках і каталогах не наводяться, а розраховуються за допомогою різних методик, наприклад так, як це розглянуто в попередньому пункті.

Найчастіше застосовується короткозамкнений двигун[16] (рис. 4.5, б). До виходу  $m$  підключається спеціальний демультіплексор Machines Measurement Demux, що знаходиться в розділі SimPowerSystems в підрозділі Machine. Тип машини змінного струму відображається у рядку Machine type, яка відкривається подвійним клацанням лівої кнопки миші (рис. 4.7, 4.8).

По входу  $T_m$  задається активний момент навантаження в Н. м На виходу програми Simulink на робочому полі моделі повинен бути розміщений блок Multimeter (рис. 4.5, в), інакше процес моделювання блокується.

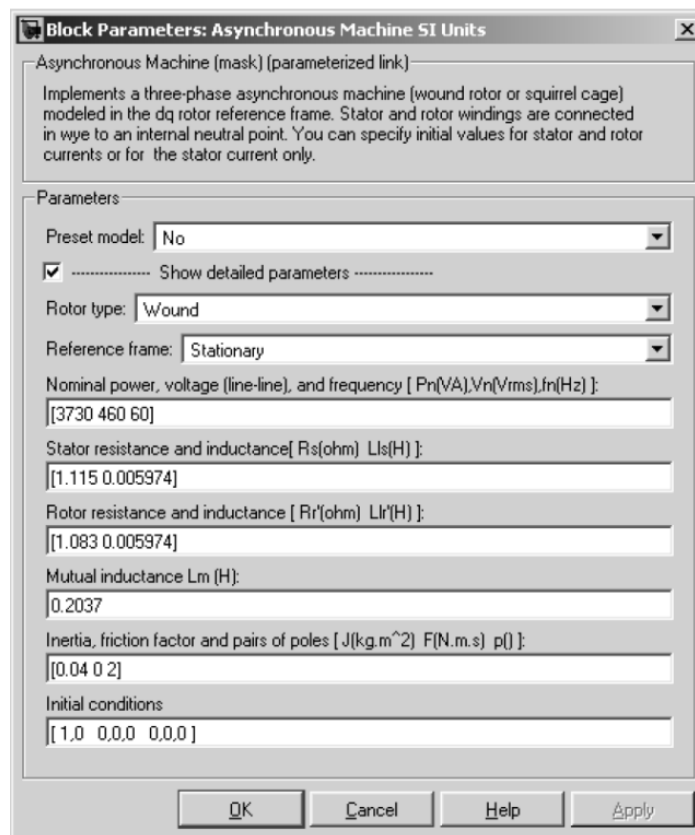


Рисунок 4.6 – Вікно введення параметрів двигуна в абсолютних одиницях

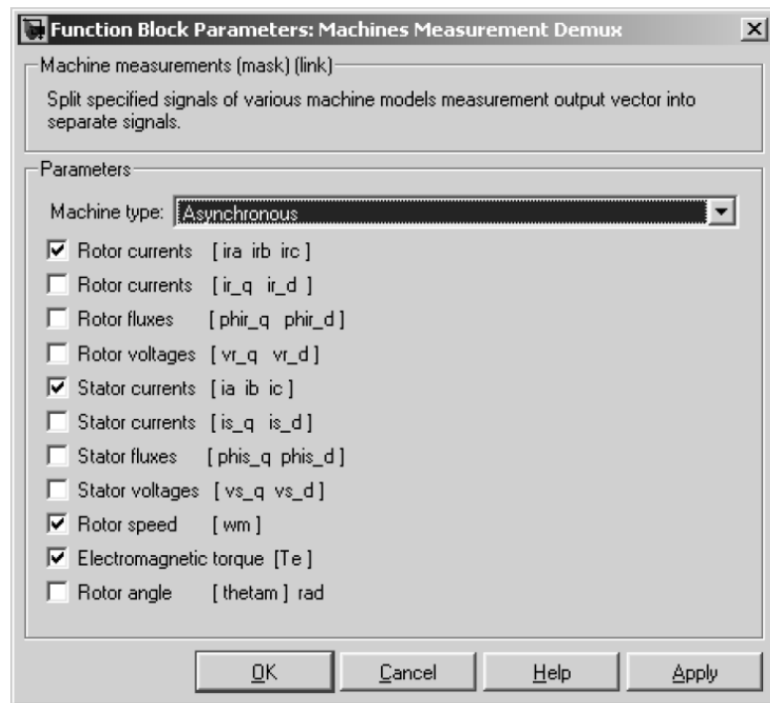


Рисунок 4.7 – Вікно вибору типу машини і переліку вихідних змінних

На рис. 4.8 представлена схема моделювання процесів пуску і реверсу асинхронного короткозамкнутого двигуна при включенні на фазну напругу 220 В, 50 Гц (380 В лінійне) з реверсом шляхом зміни порядку чергування фаз за допомогою перемикачів Switch і Switch1 [16]. Час моделювання прийнято 0,6 с і реверсу - через 0,3 с. Активний момент навантаження заданий 30 Н.м. Для побудови динамічної механічної характеристики використаний графічний пристрій XY Graph.

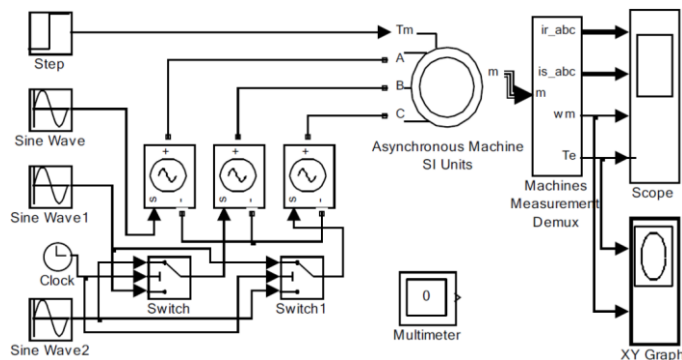


Рисунок 4.8. Модель реверсивного електроприводу змінного струму з прямим включенням двигуна в мережу

Налаштування задаючих генераторів синусоїдального сигналу, керованих джерел напруги і перемикачів показана на рис. 4.9.

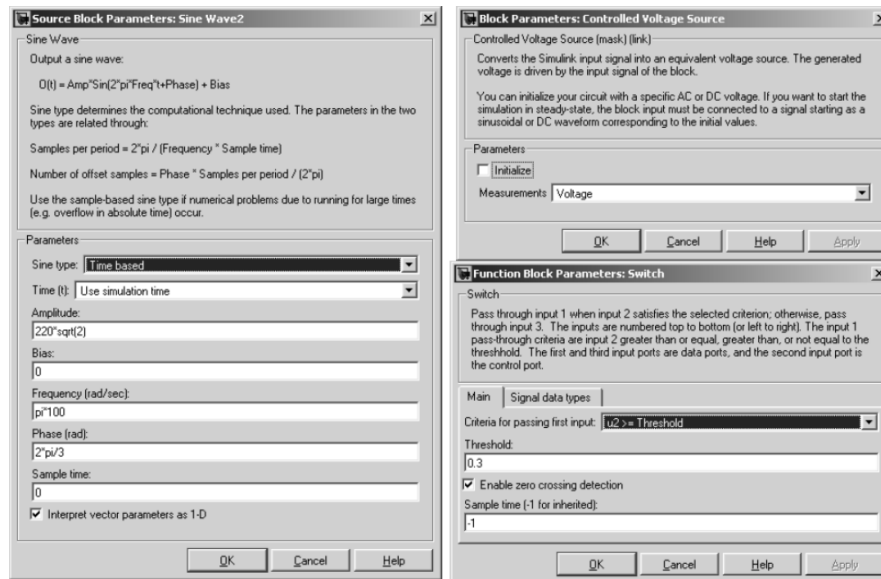


Рисунок 4.9. Налаштування блоків управління моделі приводу змінного струму

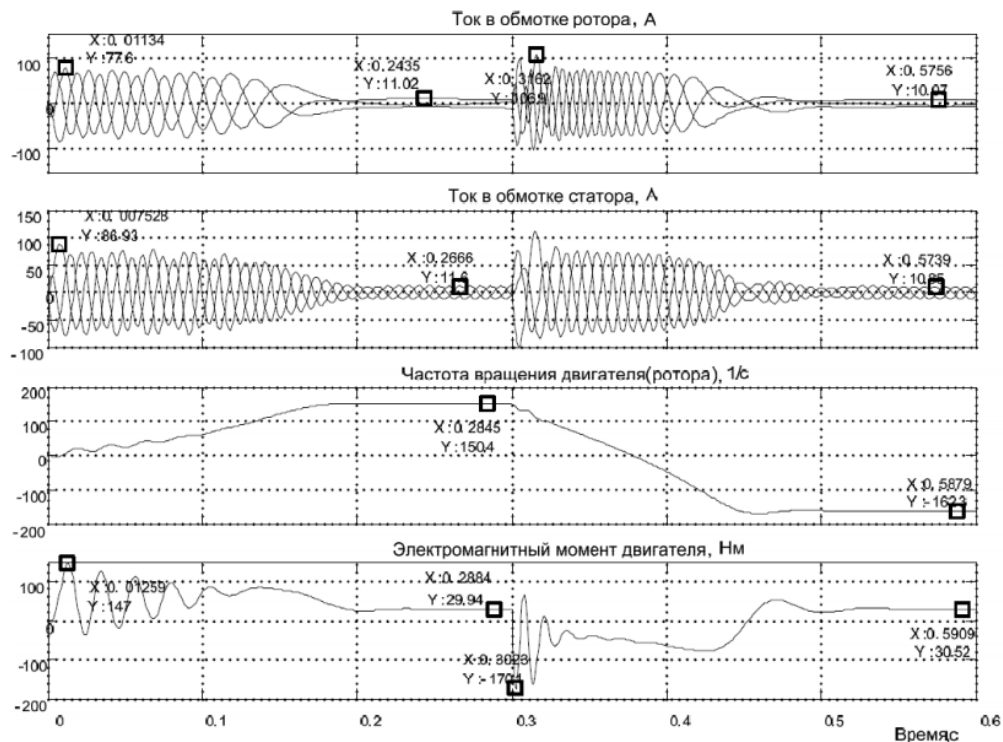


Рисунок 4.10. Перехідні процеси пуску і реверсу асинхронного двигуна  
Результати моделювання процесів пуску і реверсу представлені на рис. 4.11. Поточне значення струмів представлено в кожній фазі. На першому ча-

совому відрізку від 0 до 3 с на двигун подається напруга з прямим чергуванням фаз. Двигун розганяється під навантаженням 30 Н.м «вперед» (позитивний знак частоти обертання). Пусковий струм в обмотці статора досягає амплітудного значення 86,93 А. Приблизно такого ж значення досягає струм в обмотці ротора 77,6 А, так як виводиться значення струму ротора в обмотці ротора, приведений до обмотці статора.

Електромагнітний момент двигуна носить коливальний характер, що призводить до погіршення пускових властивостей двигуна і є недоліком асинхронного двигуна. Максимальне значення поточного значення моменту склало при пуску «вперед» 147 Н. м При збільшенні частоти обертання коливання моменту двигуна загасають, інтенсивність росту частоти обертання зростає. При цьому струм статора зменшується при незмінній частоті 50 Гц, в той же час ток в обмотці ротора теж зменшується, але зі зменшенням частоти струму ротора. Це пояснюється вибором нерухомої системи координат. У сталому режимі (поточний час трохи менше 3 с) частота обертання досягає значення  $150,4 \text{ с}^{-1}$  (при  $\omega_0 = (1500 \cdot 2\pi) / 60 = 157 \text{ с}^{-1}$ ), момент двигуна - 29,94 Н.м (при навантаженні 30 Н.м), амплітудне значення струму статора - 11,6 А, амплітудне значення струму ротора - 11,02 А.

У момент часу 3 з проводиться реверс двигуна шляхом зміни порядку чергування фаз. Це завдання виконують перемикачі Switch. Йде перехідний процес реверсу: струм в обмотці ротора досягає 106,9 А амплітудного значення (рис. 4.11), частота струму в обмотці ротора трохи менше 100 Гц. Відбувається протитечійне гальмування (двигун включений «назад», а ще обертається «вперед»). Момент двигуна і раніше має коливальний характер, максимальне значення становить -170,1 Н. м 169 У міру зменшення частоти обертання коливальність моменту загасає, частота обертання досягає нуля і починає рости в негативній області, яку ми назвали «назад». Частота обертання досягає значення  $-162,3 \text{ с}^{-1}$  (рис. 4.11), що перевищує частоту ідеального хо-

лостого ходу 157 с<sup>-1</sup>, що свідчить про те, що двигун працює в режимі генераторного гальмування і розвиває позитивний момент 30,52 Н.м, рівний заданому моменту навантаження 30 Н. м Струм ротора і статора зменшився до сталого значення, відповідного навантаженні 30 Н.м.

На рис. 4.11 приведена знята під час пуску і реверсі механічна характеристика двигуна. Коливальний характер моменту при пуску і реверсі істотно змінює вид механічної характеристики.

При пуску максимальний момент досягає значення 150 Н.м, проте середнє значення, що визначає інтенсивність пуску, невелика. Найбільш близька до статичної механічна характеристика, розрахована при пуску двигуна «назад».

Двигун розвиває пускової момент -51,77 Н.м (рис. 4.11),[16] максимальний момент -76,6 Н.м при частоті обертання -111,2 с<sup>-1</sup> і розганяється до частоти обертання, більшої, ніж частота ідеального холостого ходу.

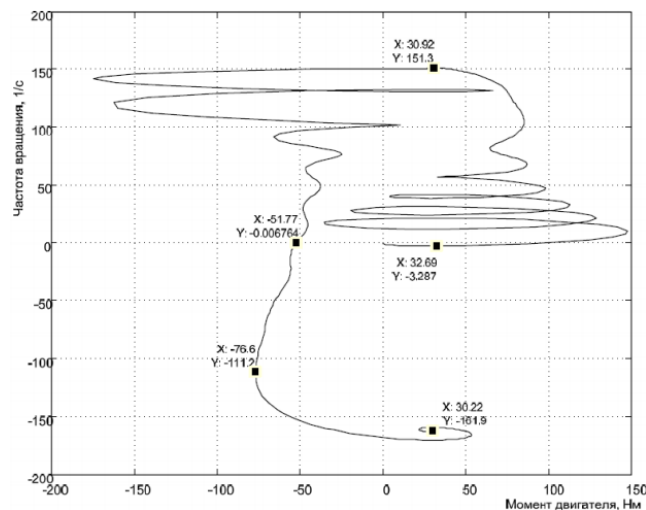


Рисунок 4.11 – Динамічна механічна характеристика асинхронного двигуна під час пуску і реверсі з активним моментом навантаження 30 Н \* м

На рис. 4.12 показана структура асинхронного двигуна з векторним керуванням із застосуванням перетворювача частоти з широтноімпульсної мо-

дуляцією. Введено контур струму з реальним перетворювачем. Все обурення, що діють в реальному двигуні враховані.

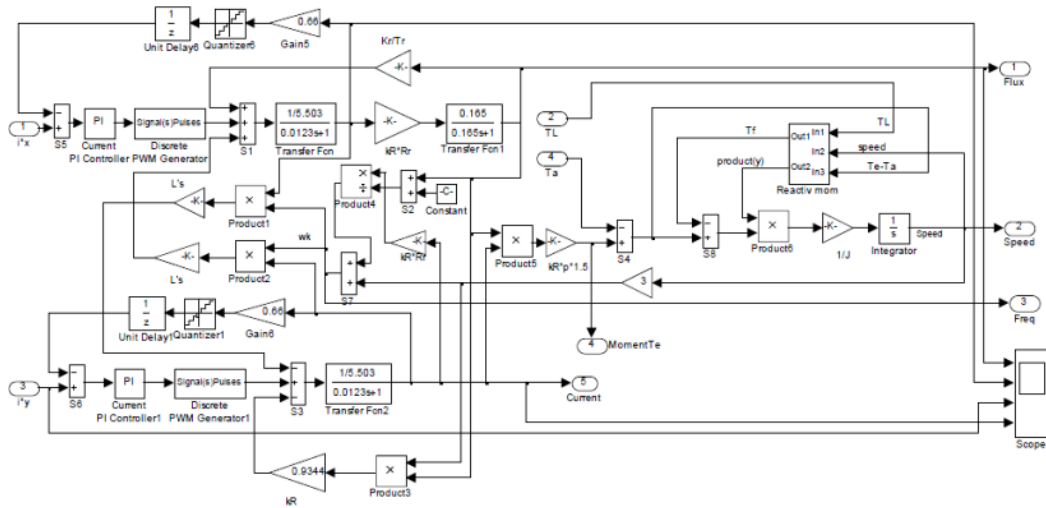


Рисунок 4.12 – Структура асинхронного двигуна з векторним керуванням із застосуванням перетворювача частоти з широтно- імпульсною модуляцією

### 4.3. Висновки до розділу 4

В результаті розгляду даного розділу [16] нами було описано механічну модель системи автоматичного електроприводу.

Далі було описано особливості автоматизації систем електроприводу автоклавів для випалювання силікатної цеглі.

Математичну модель підтверджено імітаційним моделюванням процесу управління електроприводом автоклаву. Моделювання показало характеристики моделі, які дозволяють зробити висновок про оптимальне, ресурсозбережне управління електроприводом.

Перейдемо до розгляду системи автоматичного регулювання температури та вологості в камері печі.

## РОЗДІЛ 5. СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ТА ВОЛОГОСТІ В КАМЕРІ ПЕЧІ

### 5.1. Принципи регулювання температурою та вологістю у автоклавній печі

Температура є показником термодинамічної стану системи і використовується як вихідна координата при регулюванні теплових процесів. Динамічні характеристики об'єктів в системах регулювання температури залежать від фізико-хімічних параметрів процесу і конструкції апарату. Тому загальні рекомендації по вибору АСР температури сформулювати неможливо, і потрібен аналіз кожного конкретного процесу[17].

До загальних особливостей АСР температури можна віднести значну інерційність теплових процесів і промислових датчиків температури. Тому одна з основних завдань при проектуванні АСР температури - зменшення інерційності датчиків.

Розглянемо, наприклад, динамічні характеристики термометра в захисному чохлі (рис. 5.1).

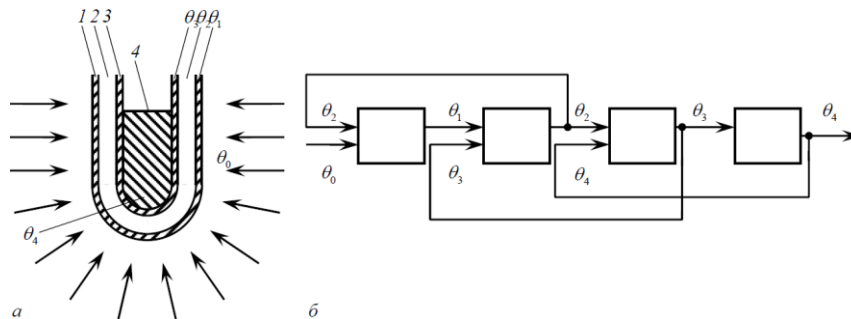


Рисунок 5.1 – Принципова (а) і структурна (б) схеми термометра:

1 – захисний чохлі; 2 – повітряний прошарок; 3 – стінка термометра; 4 – робоча рідина.

Структурну схему термометра можна уявити як послідовне з'єднання чотирьох теплових ємностей (рис. 5.1, б): захисного чохла 1, повітряного прошарку 2, стінки термометра 3 і власне робочої рідини 4. Якщо знехтувати



тепловим опором кожного шару, то всі елементи можна апроксимувати апериодичними ланками 1-го порядку, рівняння яких мають вигляд:

$$M_j c_{pj} \frac{d\theta_j}{dt} = \alpha_{j1} F_{j1} (\theta_{j-1} - \theta_j) - \alpha_{j2} F_{j2} (\theta_j - \theta_{j+1}),$$

$$j = \overline{1,4}; \quad \theta_5 = 0$$

або

$$T_j \frac{d\theta_j}{dt} + \theta_j = k_{j1} \theta_{j-1} + k_{j2} \theta_{j+1},$$

де

$$T_j = \frac{M_j c_{pj}}{\alpha_{j1} F_{j1} - \alpha_{j2} F_{j2}};$$

$$k_{j1} = \frac{\alpha_{j1} F_{j1}}{\alpha_{j1} F_{j1} - \alpha_{j2} F_{j2}}; k_{j2} = \frac{\alpha_{j2} F_{j2}}{\alpha_{j1} F_{j1} - \alpha_{j2} F_{j2}};$$

$M_j$  – маса відповідно чохла, повітряного прошарку, стінки і рідини;  $c_{pj}$  – питома теплоємність;  $\alpha_{j1}$ ,  $\alpha_{j2}$  – коефіцієнти тепловіддачі;  $F_{j1}$ ,  $F_{j2}$  – поверхні тепловіддачі.

Як видно з рівнянь (3.1), основними напрямками зменшення інерційності датчиків температури є:

- підвищення коефіцієнтів тепловіддачі від середовища до чохла в результаті правильного вибору місця установки датчика; при цьому швидкість руху середовища повинна бути максимальною; при інших рівних умовах більш краща установка термометрів в рідкій фазі (в порівнянні з газоподібною), в конденсується парі (у порівнянні з конденсатом) і т. п. ;

- зменшення теплового опору і теплової ємності захисного чохла в результаті вибору його матеріалу і товщини;

- зменшення постійної часу повітряного прошарку за рахунок застосування наповнювачів (рідина, металева стружка); у термоелектричних перетворювачів (термопар) робочий спай припаивається до захисного чохла;

- вибір типу первинного перетворювача; наприклад, при виборі термометра опору, термопари або манометричного термометра необхідно врахувати, що найменшою інерційністю володіє термопара в малоінерційний виконанні, найбільшою - манометричний термометр.

Метою регулювання автоклавних печей є позичена сталості температури продукту на виході з печі.

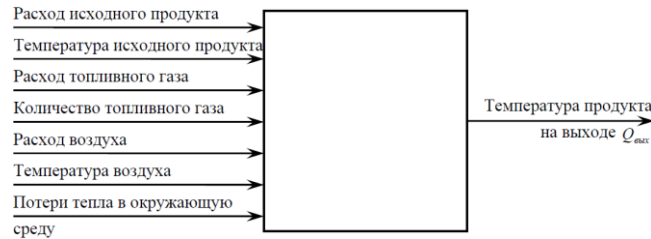


Рисунок 5.2 – Структурна схема регулювання трубчастих печей.

Збуреннями об'єкта є:

- Витрата і температура вихідного продукту.
- Теплотворная здатність палива.
- Кількість і температура повітря, що подається для спалювання палива.
- Втрати тепла в навколишнє середовище.

Ці обурення можна компенсувати за допомогою АСР температури продукту на виході з печі, що управляє подачею палива в піч. Однак трубчасті печі мають запізненням по передачі тепла від димових газів через стінку змійовика до Року Польщі по змійовику продукту. Крім того, перехідний процес по каналу "витрата палива – температура продукту на виході" триває кілька годин. Тому при використанні одноконтурної АСР динамічна помилка і час регулювання досягає великих значень.

Разом з тим температура газів над перевальних стінкою досить швидко реагує на зміну режиму роботи печі, обумовлене зміною кількості паливного газу, що подається на спалювання.

Тому істотне поліпшення якості регулювання температури продукту на виході з печі може бути досягнуто застосуванням каскадної схеми регулю-

вання, рис. 5.2, що складається з регулятора температури продукту на виході з печі (коригувальний регулятор), що впливає на завдання регулятора температури газів над перевальних стінкою (стабілізуєчий регулятор), який управляє подачею палива в піч. Стабілізуєчий регулятор починає компенсувати виникаючі обурення, що впливають на процес згоряння палива перш, ніж вони призведуть до зміни температури продукту.

При різкій зміні перевантаження печі по витраті нагрівається продукту і при наявності обурення по витраті палива використовують також вище описану схему каскадного регулювання, стабілізуєчий регулятор якої впливає на регулятор співвідношення витрат продукту і палива. В цьому випадку регулятор співвідношення управляє подачею палива в піч, рис. 5.3.

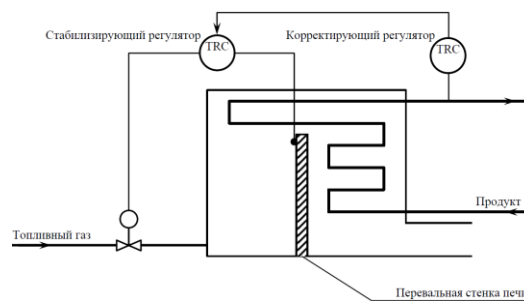


Рисунок 5.3 – Схема пов'язаного регулювання процесу в трубчастій печі.

При примусовій подачі первинного повітря оптимальний його витрата, при якому температура в топці приймає максимальне значення підтримують за допомогою регулятора співвідношення паливний «газ – повітря», що забезпечує задане значення коефіцієнта надлишку повітря, що визначає інтенсивність процесу згоряння.

Якщо при цьому теплотворна здатність палива істотно змінюється, то на регулятор співвідношення направляють коригувальний сигнал від регулятора стабілізації вмісту кисню в топкових газах. Це забезпечує повне згорання палива і високу якість регулювання.

Сильним обуренням режиму роботи трубчастих печей з боку паливного газу є зміна його тиску. Ця зміна компенсують введенням в АСР температури продукту на виході з печі додаткового регулятора тиску, завдання який подають від регулятора температури в топковому просторі.

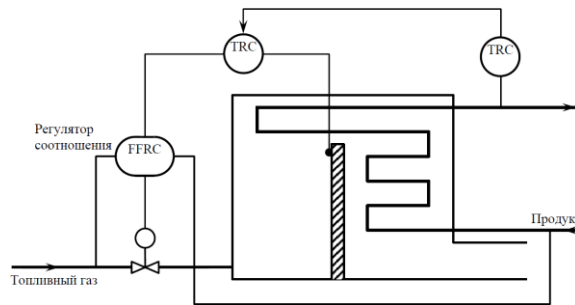


Рисунок 5.4 – Каскадна схема регулювання трубчастої печі з регулятором співвідношення "паливний газ – продукт".

Такі системи забезпечують якісне регулювання витрати паливного газу, так як витрата газу в великій мірі залежить від його тиску.

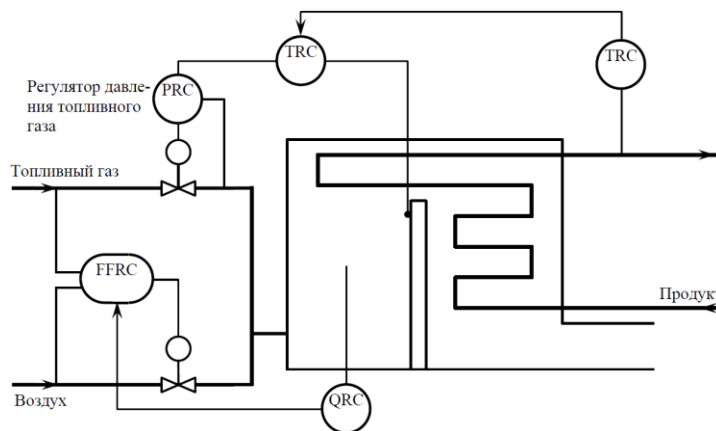


Рисунок 5.5 – Каскадна схема регулювання температури продукту на виході з регулятором співвідношення "паливний газ – повітря" і корекцією за вмістом кисню в топкових газах.

Так як залежність температури в топці від співвідношення "паливо - повітря" має екстремальний характер, при автоматизації трубчастих печей застосовують системи екстремального регулювання.

На рис. 5.6 екстремальний регулятор відшукує максимальні значення температури димових газів над перевальних стінкою, впливаючи на регуля-

тор співвідношення "паливний газ – повітря", керуючий подачею первинного повітря.

При регулюванні співвідношення "паливний газ – повітря" необхідно забезпечити заходи безпеки, так як при нестачі повітря в топці може утворитися вибухонебезпечна суміш. Слід передбачити обмеження витрати палива так, щоб ці витрати ніколи не перевищували максимально допустимого значення, що відповідає поточному значенню витрати повітря. При зменшенні витрати повітря щодо певного значення потрібно обов'язково автоматично зменшувати подачу палива в топку. [5]

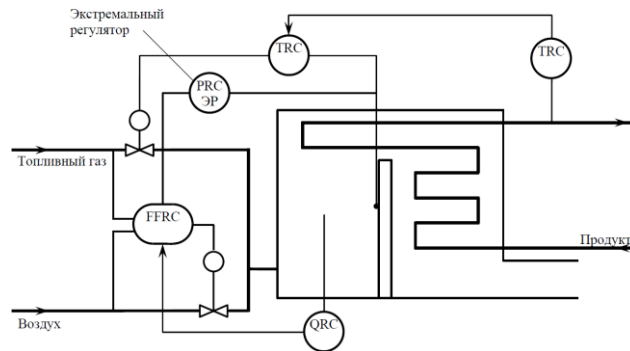


Рисунок 5.6 – Схема регулювання температури продукту в печі з екстремальним регулятором, коригуючих співвідношення "газ – повітря".

## 5.2. Імітаційне моделювання процесу регулювання температури і вологості в автоклаві

Для визначення закону регулювання, необхідного в досліджуваній системі, слід визначити передавальну функцію (ПФ) об'єкта управління. Для отримання перехідної характеристики процесу проведено експеримент, електрична схема якого приведена на рис. 5.7. В експерименті на мові програмування C ++ реалізований нагрів автоклаву, з інтервалів в 2 секунди за допомогою аналогового датчика ТІ LM335 зафіксовані показники температури протягом 70 секунд, які надходять на монітор послідовного порту комп'ютера (малюнок 8), до якого підключена палата Arduino UNO, і можуть бути відслі-

дковані в режимі реального часу[18]. Програмна реалізація експерименту представлена в Додаток В.

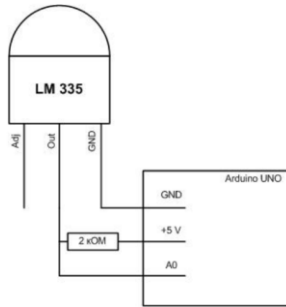


Рисунок 5.7 – Електрична схема експерименту

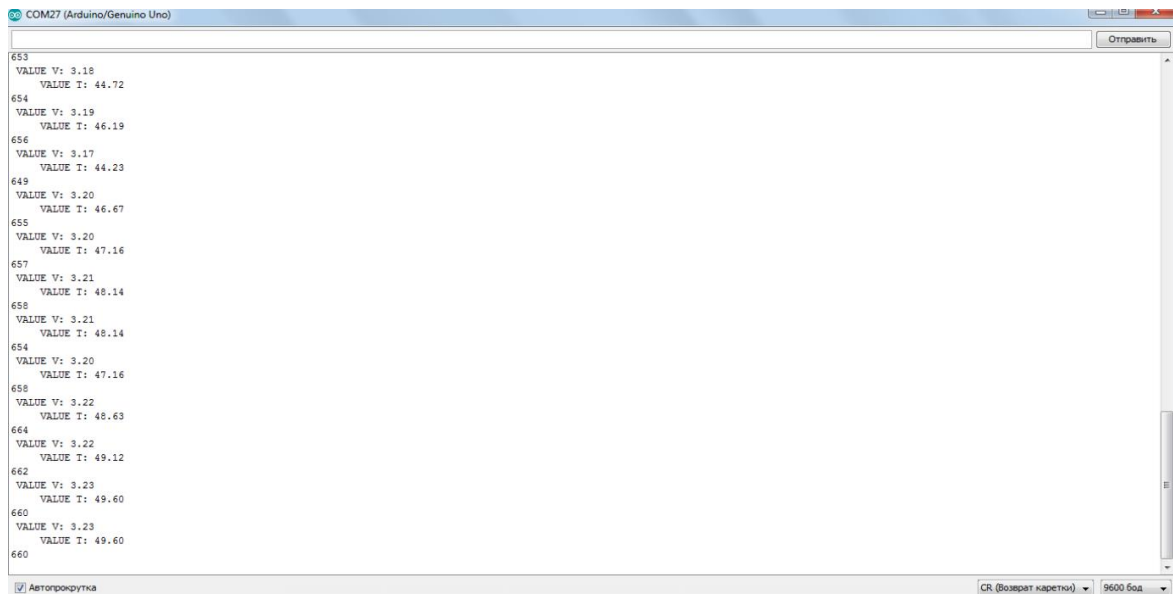


Рисунок 5.8 – Монітор послідовного порту плати Arduino UNO

На основі знятих показань з датчика температури в математичному пакеті MathCAD побудований графік перехідного процесу, зображений на рис. 5.9. На основі графіка можна зробити висновок про те, що перехідний процес відповідає аперіодичної ланки першого порядку, але має перешкоди, тому за допомогою вбудованої функції апроксимації даних був отриманий графік ідеального перехідного процесу (рис. 5.10), за допомогою якого була визначена передатна функція об'єкта управління. При цьому для того, щоб перехідна характеристика починалася в нулі, задамо початкові умови експерименту: кімнатна температура дорівнює  $38^{\circ}\text{C}$ .

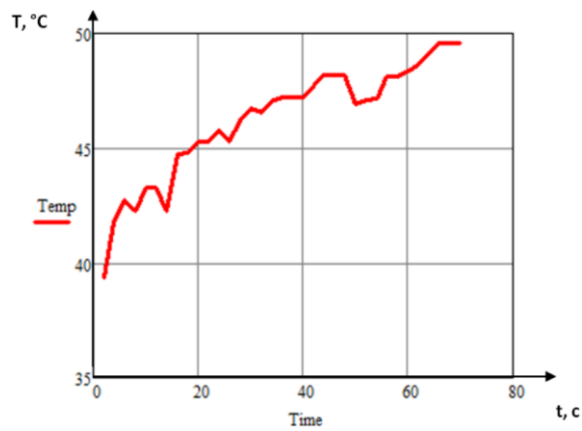


Рисунок 5.9 – Графік експерименту

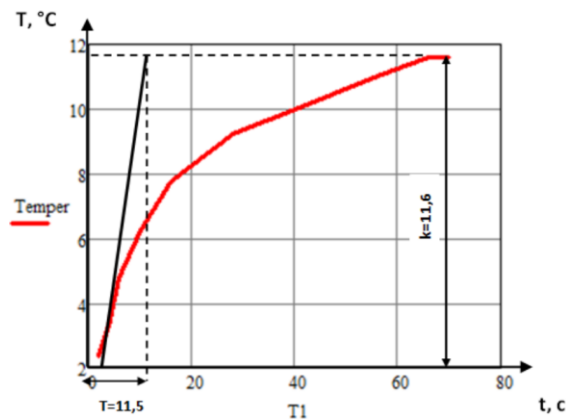


Рисунок 5.10 – Графік перехідного процесу експерименту

Стале значення температури при постійно включеної печі становить  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ , початок перехідного процесу при якому температура досягає  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  представлена на рис. 5.10, оскільки не надається можливості вивести параметри ОУ на граничний рівень в силу технічних особливостей установки, то при ідентифікації моделі ОУ необхідно врахувати ці параметри і на їх основі визначити передавальну функцію системи. Функція аперіодичної ланки першого порядку має такий вигляд:

$W(s) = \frac{k}{T \cdot s + 1}$ . За графіком перехідного процесу визначається на основі коефіцієнта посилення  $k$  і постійної інтегрування  $T$ , що характеризує інерційність ланки. У програмному пакеті MATLAB побудована перехідна характеристика системи, на основі якої отримана переда-

вальна функція системи  $W(s) = \frac{120}{150 \cdot s + 1}$  і перевірена її достовірність (рис. 5.11).

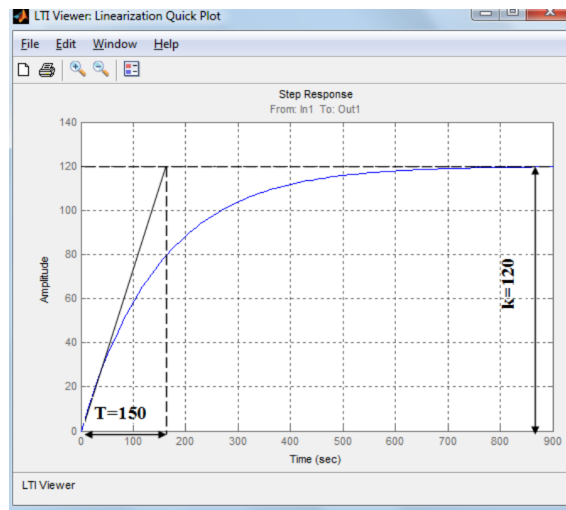


Рисунок 5.11 – Графік перехідного процесу САР температури в програмному пакеті MATLAB

### *Вибір закону регулювання*

САР температури доповнена функцією включення, відключення вентилятора і нагрівального елементу, а також реалізована компенсація напруги між всією системою і мікропроцесором за допомогою двопозиційного регулювання. У досліджуваній системі програмно реалізовані фільтрація вхідного сигналу і ПІ-регулювання для стабілізації вимірних значень. Удосконалена система представлена на рис. 5.12.

В ході вивчення роботи системи і на основі аналізу характеристик законів регулювання був обраний закон ПІ-регулювання, так як він може забезпечити більшу точність регулювання при великих, але плавних змінах навантаження. ПІ-регулятор має на тлі ПІІ закону регулювання істотний недолік - залишкове відхилення регульованого параметра, яке впливає на якість системи в цілому. І – 26 регулятор має великий час регулювання, що неприпустимо для систем подібного роду.

### *Пошук настройки ПІІ-регулятора*

Дана система має один чутливий елемент і здійснює обробку одного вхідного сигналу на регулятор, отже, вона є одноконтурною системою регулювання. У таких системах застосовуються десятки методів параметрів на-



стройки регуляторів. Розрахунок коефіцієнта передачі регулятора  $k_p$ , постійної інтегрування  $T_i$ , постійної диференціювання  $T_d$  є безпосередньо налаштуванням регулятора.

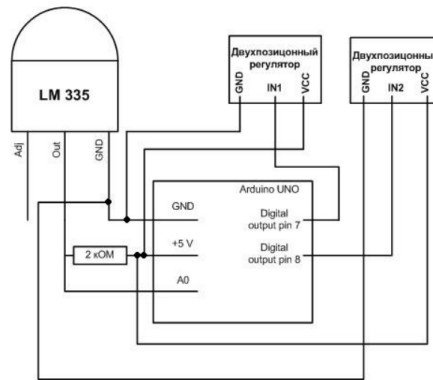


Рисунок 5.12 – Електрична схема САР температури

### Метод Зіглера-Нікольса

Для настройки ПІ-регулятора використано кілька методів, одним з яких є метод Зіглера-Нікольса, який ґрунтується на пошуку параметрів відгуку об'єкта на одиничний стрибок, якими є  $a$  і  $L$ , зображені на рис. 5.13 [6]. На основі цих параметрів розраховуються коефіцієнти різних законів регулювання, формули для розрахунку яких наведені в таблиці 5.1.

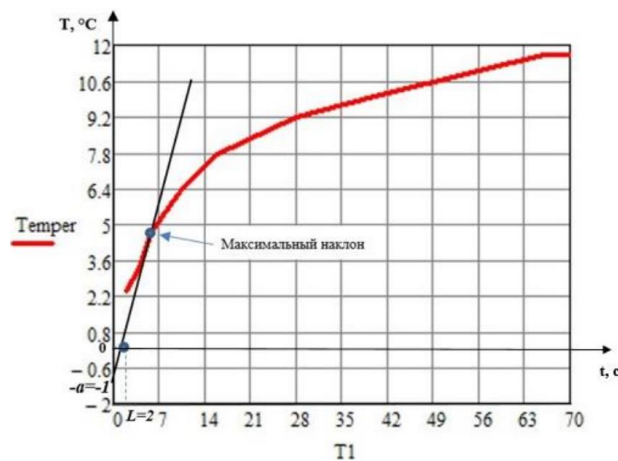


Рисунок 5.13 – Перехідна характеристика об'єкта з параметрами відгуку об'єкта на одиничний стрибок  $a$  і  $L$

Розрахунок налаштувань для ПІ-регулятора за методом Зіглера-Нікольса:

$$k_p = 0,9/a = 0,9/1 = 0,9$$

$$T_u = 3 \cdot L/k_p = 3 \cdot 2/0,9 = 6,66$$

Щоб оцінити якість системи для знайдених параметрів регулювання, в програмному пакеті MATLAB змодельована структурна схема системи (рисунки 5.14), на основі якої отримана перехідна характеристика системи з ПІ-регулюванням (рисунки 5.15), по якій визначені основні показники якості САР температури.

Таблиця 5.1 – Формули для розрахунку коефіцієнтів регулятора методом Зіглера-Нікольса по відгуку на стрибок

Регулятор	$k_p$	$T_u$	$T_\theta$
<b>П</b>	$1/a$	-	-
<b>ПИ</b>	$0,9/a$	$3 \cdot L/k_p$	-
<b>ПІД</b>	$1,2/a$	$0,9 \cdot L/k_p$	$0,5 \cdot L/k_p$

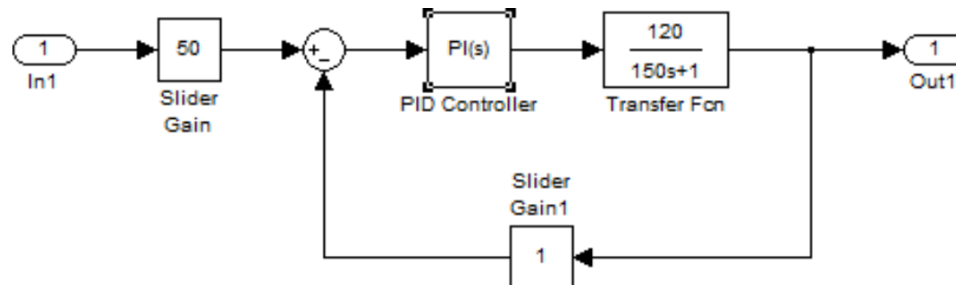


Рисунок 5.14 – Структурна схема САР температури

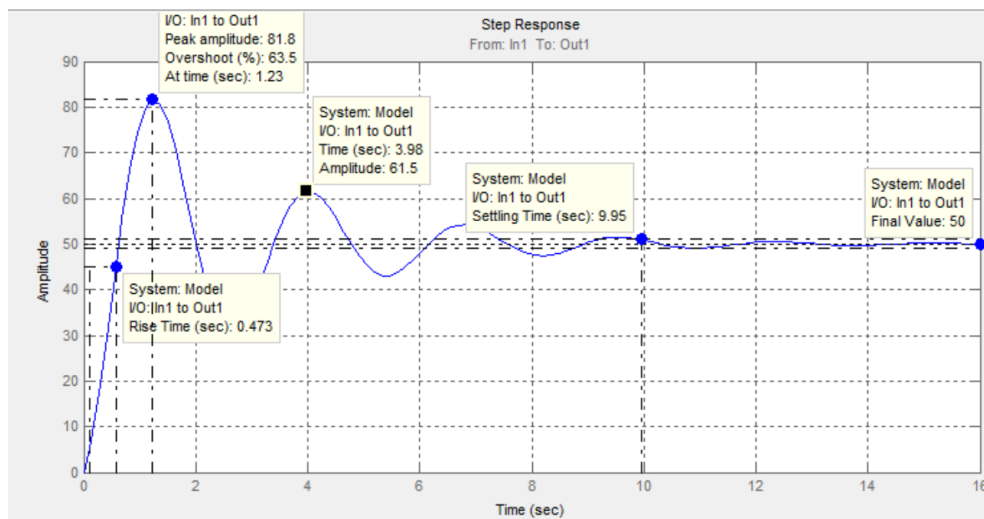


Рисунок 5.15 – Перехідна характеристика системи з налаштуванням коефіцієнтів ПІ-регулятора методом Зіглера-Нікольса

В ході аналізу перехідної характеристики системи з налаштуванням параметрів ПІ-регулятором методом Зіглера-Нікольса отримані наступні показники якості системи на основі графіка перехідного процесу в пакеті MATLAB (рис. 5.15):

- встановилися відхилення  $y_{уст} = 170$  при заданій установці в 170;
- час регулювання  $t_p = 19,95$  м;
- максимальне перерегулювання  $\sigma = 6,35\%$ ;
- число перерегулювань  $\delta = 3$ ;
- максимальне значення регульованої величини  $\max y = 181,8$ .

Даний аналіз дозволяє зробити висновок про те, що налаштування регулятора, отримані методом Зіглера-Нікольса, впливають на характер перехідного процесу в такий спосіб: коливання в системі мають повільний загасаючий характер, перерегулювання перевищує допустимі норми, що знижує точність системи в цілому, але дані результати виправдані тим, що сам метод ґрунтується тільки на двох параметрах системи.

## **Висновки до розділу 5**

В рамках даного розділу описано основні засади автоматичного регулювання температури і вологості у автоклавній печі для випалювання цегли.

Також було проведено імітаційне моделювання процесу нагріву та сушіння цегли через дослідження температурних режимів нагрівача.

Виконане налаштування ПІ-регулятора для об'єкта управління за методом Зіглера Нікольса та надано оцінку результатів процесу регулювання поряд з графіками перехідних процесів.

Розроблений керуючий код системи управління контуром температури та неведений в додатках (додаток В).

Перейдемо до висновків по роботі.

## **ВИСНОВКИ**

В рамках проведення даної роботи виконано опис технологічного процесу випалювання цегли у автоклавній печі. Складено технологічну схему процесу та схему інформаційно-матеріальних потоків АП.

Виконано опис контурів регулювання та контролю та опис контрольованих в системі параметрів. На основі викладеного опису складено функціональну схему автоматизації.

Розроблено критерії вибору, обрано ПЛК, узгоджувальні пристрої, виконавчі механізми та засоби зчитування інформації та проведено опис обраних засобів.

На основі інформації складено електричну принципову схему та наведено окремим кресленням. Також розроблено алгоритм управління системою, який був використаний у наступному етапі розробки даної системи – при створенні програми управління пичю. Код управління температурою та вологістю у печі наведено у додатку В. Також наведено текстовий опис принципів керування технологічним процесом.

Розділи 4 і 5 присвячено детальному описові підсистем автоматизації процесів управління електроприводом та нагрівом і вологістю. Виконано імітаційне моделювання та налаштування на системи оптимального регулювання.

Вважаємо завдання дипломної роботи успішно виконаними.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Чуловський М. І. Модернізація вапняно-випалювальних печей і котельних з метою зниження витрат енергоресурсів. УДК 666.92. Силікатна цегла: наука і практика. Будівельні матеріали. 2010. Вип 9 (669). С. 18-19.
2. Мордасов Д. М. Оборудование и автоматизация процессов производства и обработки материалов: учебное пособие / Д. М. Мордасов, Д. О. Завражин. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. – 96 с. ISBN 978-5-8265-1550-1.
3. Кузнецова Г.В., Морозова М.М. Технологія силікатних стінових пористих матеріалів автоклавного твердіння: навчальний посібник / Г.В. Кузнецова, М.М. Морозова. – К.: Вид-во Київськ. держ. архітект.-буд. ун-ту, 2016. – 120 с.
4. Макаров, А. М. Системы управления автоматизированным электроприводом переменного тока : учеб. пособие / А. М. Макаров, А. С. Сергеев, Е. Г. Крылов, Ю. П. Сердобинцев; ВолгГТУ. – Волгоград, 2016.– 192 с. ISBN 978-5-9948-2076-6
5. Кузьменко Н.В. Навчальний посібник для студентів заочної форми навчання з дисципліни "Автоматизація технологічних процесів і виробництв". Частина I. Конспект лекцій. Ангарськ: АГТА, 2017. 78 с.
6. Denisenko V. PID-regulators: issues of implementation. [Electronic resource]. URL: <http://www.cta.ru/cms/f/374303.pdf> (access date 02.12.2020).
7. Морозова М.М. Установки періодичної дії для обробки їх будівельних виробів і конструкцій: навчальний посібник. – К.: КГАСУ, 2019. – 96 с.
8. Комар А.Г., Баженов Ю.М., Сулименко Л.М. Технологія виробництва будівельних матеріалів. – М. : Вища школа, 1990. – 446 с.
9. Боженів П. І. Технологія автоклавних матеріалів. – С.-П., 2018.

10. Vakhnina M.P., Anishchenko A.A. Production of silicate bricks. – М., 1989
11. Воробйов В. А. Будівельні матеріали. – М., 2017
12. Воронін В. П., Заровнятних В.А. Ефективна силікатна цегла на основі золи ТЕС і порошкоподібного вапна / Будівельні матеріали, №8 – М., 2020.
13. Гвоздарев І. П. Виробництво силікатної цегли – М., 1951.
14. Мітрохіна М. М., Хвостенко С.І. Використання відходів ТЕС у виробництві силікатної цегли. – М., 2017.
15. Pavlenko V.I., Tusheva I.S. Radiation monitoring of lime and silicate brick production / Building materials, №4, 2019.
16. Khavkin L.M. Silicate brick technologies. 1982.
17. Старостіна І.В., Євтушенко О.І., Рубанов Ю.К. Використання самораспадаючихся електросталеплавильних шлаків при виробництві силікатних бетонів // Екологія - освіта, наука і промисловість: Зб. доповідей Міжнародної науково-методичної конференції. – Білгород: Видавництво ПП Круть С.А., 2002. – Ч.3. – С. 228-233.
18. Матвеев В.І., Бабушкін Г.М., Мчедлов-Петросян О.П. Термодинаміка силікатів. – М.: СтрійВидат, 2019. – 408 с.