СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

# Навчально-науковий інститут (факультет ) інформаційних технологій та електроніки

# (повне найменування інституту, факультету)

# Кафедра \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ комп’ютерно-інтегрованих систем управління\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(повна назва кафедри)

## ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до бакалаврської дипломної роботи

освітній ступінь\_\_\_ бакалавр\_\_\_\_\_\_\_

(бакалавр, магістр)

спеціальність \_\_151 – Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології

(шифр і назва спеціальності)

спеціалізація \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(назва спеціалізації)

на тему «Розробка комп'ютерно-інтегрованої системи контролю та управління теплообмінником стадії утилізації тепла димових газів у виробництві скла»

Виконав: студент групи \_АТП-20д\_ **\_\_\_\_\_\_\_\_\_**  Є.В.Петряєв

( підпис ) (ініціали і прізвище)

Керівник **\_\_\_\_\_\_\_\_\_** Т.Г.Сотнікова\_\_

( підпис ) (ініціали і прізвище)

Завідувачка кафедри **\_\_\_\_\_\_\_\_\_** М.Г. Лорія**\_\_\_\_\_**

( підпис ) (ініціали і прізвище)

Рецензент **\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_**П.Й.Єлісєєв**\_\_\_**

( підпис ) (ініціали і прізвище)

Київ-2024р.

**СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

# Факультет: Інформаційних технологій та електроніки

# Кафедра: Комп’ютерно-інтегрованих систем управління

**Освітньо-кваліфікаційний рівень:** Бакалавр

**Напрям підготовки:** 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

# ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувачка каф. КІСУ

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ М.Г. Лорія

«\_\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2024 року

**ЗАВДАННЯ**

**НА БАКАЛАВРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ**

**ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

**Петряєву Євгену Віталійовичу**

1. **Тема бакалаврської ДР:** «Розробка комп'ютерно-інтегрованої системи контролю та управління теплообмінником стадії утилізації тепла димових газів у виробництві скла»

2. **Керівник роботи**: доц. Сотнікова Т.Г.

Затверджені наказом вищого навчального закладу №204/15.12-С від 28.05.2024 р.

3. **Термін подання роботи здобувачем вищої освіти** 14 \_\_\_\_\_\_\_\_ 2024 р.

4. **Висхідні дані до роботи**:

4.1. Технологічний регламент виробництва.

4.2. Інструкція оператора по експлуатації АСК ТП.

5. **Зміст розрахунково-пояснювальної записки** (перелік питань, які потрібно розробити):

5.1. Вступ.

5.2. Аналіз сучасного стану автоматизації технологічних процесів утилізації тепла димових газів у виробництві скла.

5.3. Аналіз автоматизованих систем контролю та керування технологічними процесами утилізації тепла димових газів у виробництві скла і розробка завдань для виконання бакалаврської дипломної роботи.

5.4. Розробка та аналіз математичних моделей процесу утилізації тепла димових газів у виробництві скла.

5.5. Розробка та аналіз математичних моделей контуру керування процесом утилізації тепла димових газів у виробництві скла.

5.6. Теоретичні дослідження математичних моделей процесу утилізації тепла димових газів у виробництві скла.

5.7. Розробка функціональної схеми АСК ТП процесом утилізації тепла димових газів у виробництві скла.

5.8. Аналіз результатів теоретичних досліджень.

5.9. Висновки.

6. **Перелік графічного матеріалу** (з точним зазначенням обов’язкових креслень)

6.1. Технологічна схема процесу утилізації тепла димових газів у виробництві скла.

6.2. Розгорнута функціональна схема автоматизації стадії утилізації тепла димових газів у виробництві скла.

6.3. Математичні моделі теплообмінника стадії утилізації тепла димових газів у виробництві скла.

6.4. Статичні та динамічні характеристики теплообмінника стадії утилізації тепла димових газів у виробництві скла.

6.5. Результати оптимального керування теплообмінником стадії утилізації тепла димових газів у виробництві скла.

7. **Дата видачі завдання:** 25 \_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2024 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| №  з/п | Назва етапів дипломної роботи | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
| 11. | Аналіз сучасного стану автоматизації технологічних процесів. | 15.05.2024 |  |
| 22. | Аналіз автоматизованих систем контролю та керування технологічними процесами утилізації тепла димових газів у виробництві скла і розробка завдань для виконання бакалаврської дипломної роботи. | 17.05.2024 |  |
| 33. | Розробка математичних моделей процесу утилізації тепла димових газів у виробництві скла. | 23.05.2024 |  |
| 44. | Розробка математичних моделей АСК ТП процесу утилізації тепла димових газів у виробництві скла. | 27.05.2024 |  |
| 55. | Розробка функціональної схеми АСК ТП процесом утилізації тепла димових газів у виробництві скла. | 30.05.2024 |  |
| 66. | Теоретичні дослідження математичних моделей теплообмінника стадії утилізації тепла димових газів у виробництві скла. | 05.06.2024 |  |
| 77. | Аналіз результатів теоретичних досліджень. | 07.06.2024 |  |
| 88. | Оформлення пояснювальної записки дипломної роботи та презентації. | 12.06.2024 |  |

Здобувач вищої освіти \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Є.В. Петряєв

Керівник бакалаврської ДР \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Т.Г. Сотнікова

# РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка 52 сторінки, 8 рисунків, 8 літературних джерел.

КОМП’ЮТЕРНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ, АВТОМАТИЗАЦІЯ, ВИРОБНИЦТВО СКЛА, АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ, АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБ’ЄКТА КЕРУВАННЯ, ВХІДНІ-ВИХІДНІ КООРДИНАТИ, ТЕПЛООБМІННИК СТАДІЇ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛА ДИМОВИХ ГАЗІВ, ОДНОКОНТУРНА СИСТЕМА, СТРУКТУРНО-ЛОГІЧНА СХЕМА, МНЕМОСХЕМА, ПЕРЕДАВАЛЬНА ФУНКЦІЯ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, ЧАСТОТНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ПЕРЕХІДНИЙ ПРОЦЕС.

Об’єктом теоретичного дослідження є теплообмінник стадії утилізації тепла димових газів у виробництві скла.

Мета дипломної роботи: розробка технічного проекту комп’ютерно-інтегрованої системи управління теплообмінником стадії утилізації тепла димових газів у виробництві скла.

Метод дослідження - теоретичний з використанням персонального комп’ютера та пакета Maple.

У ході виконання роботи отримані наступні результати: було проведено ґрунтовний аналіз наукових статей, технічних звітів та публікацій, що стосуються технологій утилізації тепла димових газів та автоматизації процесів у скляному виробництві, розроблено математичну модель інтегрованої системи контролю та управління, яка охоплює процес утилізації тепла димових газів та їх взаємодію з основним виробничим циклом, створено програмне забезпечення для ефективної інтеграції системи контролю та управління в реальний виробничий процес, розроблено рекомендації для оптимізації та подальшого розвитку системи контролю та управління утилізацією тепла димових газів у виробництві скла.

**ЗМІСТ**

[ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ 6](#_Toc170134070)

[ВСТУП 7](#_Toc170134071)

[Розділ 1. Аналіз сучасного стану автоматизації технологічних процесів утилізації тепла димових газів у виробництві скла 9](#_Toc170134072)

[1.1. Загальна характеристика процесів формування скла 12](#_Toc170134073)

[1.2. Класифікація стекол за хімічним складом 14](#_Toc170134074)

[Розділ 2. Аналіз автоматизованих систем контролю та керування технологічними процесами утилізації тепла димових газів у виробництві скла і розробка завдань для виконання бакалаврської дипломної роботи 19](#_Toc170134075)

[Розділ 3. Розробка та аналіз математичних моделей процесу утилізації тепла димових газів у виробництві скла 22](#_Toc170134076)

[3.1. Структурно-логічний аналіз теплообмінника 22](#_Toc170134077)

[3.2. Розробка математичної моделі апарату 24](#_Toc170134078)

[Розділ 4. Розробка та аналіз математичних моделей контуру керування процесом утилізації тепла димових газів у виробництві скла 32](#_Toc170134079)

[Розділ 5. Теоретичні дослідження математичних моделей процесу утилізації тепла димових газів у виробництві скла 40](#_Toc170134080)

[Розділ 6. Розробка функціональної схеми АСК ТП процесом утилізації тепла димових газів у виробництві скла 43](#_Toc170134081)

[6.1. Автоматизація тепла димових газів 47](#_Toc170134082)

[Розділ 7. Аналіз результатів теоретичних досліджень 49](#_Toc170134083)

[ВИСНОВОК 51](#_Toc170134084)

[ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА 52](#_Toc170134085)

# ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АСУ ТП - автоматизована система керування технологічними процесами;

ФЧХ - фазочастотна характеристика;

АЧХ - амплітудно - частотна характеристика;

УЧХ – уявна частотна характеристика;

ДЧХ - дійсна частотна характеристика;

ПФ - передавальна функція;

АСР - автоматична система регулювання;

АР - автоматичний регулятор;

ОР - об’єкт регулювання;

ВП - вимірювальний перетворювач.

КІСУ - комп’ютерно-інтегровані системи управління;

ФСА - функціональна схема автоматизації;

РО - регулюючий орган;

# ВСТУП

Скло є невід'ємним матеріалом сучасного світу, широко застосовуючись у різноманітних галузях – від будівництва і транспорту до електроніки та космічної техніки. Його універсальність та унікальні властивості зробили його незамінним як у промисловості, так і в побуті.

Розвиток технології виробництва скла відбувається паралельно з науково-технічним прогресом. Інновації у виробничих процесах, вдосконалення обладнання та впровадження автоматизованих систем управління дозволили не лише розширити сфери застосування скла, але й значно підвищити ефективність його виробництва. Особлива увага приділяється питанням ресурсозбереження, енергоефективності та екологічної безпеки.

Сучасне виробництво скляних виробів – від тари до архітектурних елементів – базується на використанні високотехнологічних печей, передового формувального обладнання та автоматизованих систем контролю. Ці технології забезпечують високу продуктивність та якість продукції при оптимізації витрат ресурсів.

Постійно розширюється асортимент скляної продукції: зростає виробництво склопакетів, спеціалізованого автомобільного скла, оптичного волокна та технічних стекол. Це свідчить про динамічний розвиток галузі та зростаючий попит на інноваційні скляні вироби[1].

Дипломна робота присвячена розробці та дослідженню системи, спрямованої на підвищення енергоефективності, зменшення екологічного впливу та оптимізацію продуктивності у виробництві скла. Дослідження включає аналіз літератури, математичне моделювання та програмну реалізацію.

Актуальність теми виходить за межі скляної промисловості, торкаючись глобальних питань енергозбереження та екології. Результати роботи можуть сприяти розвитку інноваційних підходів до утилізації тепла в різних галузях, підтримуючи концепцію сталого розвитку та відповідність екологічним стандартам.

# Розділ 1. Аналіз сучасного стану автоматизації технологічних процесів утилізації тепла димових газів у виробництві скла

Виробництво скла є енергоємним процесом, який супроводжується значними втратами тепла через димові гази. В умовах, коли питання енергоефективності та екологічності виробництва набувають все більшої важливості, автоматизація процесів утилізації тепла димових газів стає ключовим фактором для підвищення ефективності виробництва скла. Автоматизація технологічних процесів включає впровадження систем керування та контролю, що дозволяють забезпечити безперервний моніторинг та регулювання параметрів процесу. Це базується на використанні датчиків, виконавчих механізмів, програмованих логічних контролерів (ПЛК) та систем збору і обробки даних.

1. Системи збору та обробки даних

Сучасні системи автоматизації використовують різноманітні датчики для вимірювання температури, тиску, витрати та складу димових газів. Дані з цих датчиків передаються до центральної системи керування, де вони обробляються і аналізуються. Використання сучасних технологій, таких як Інтернет речей (IoT) та великі дані (Big Data), дозволяє забезпечити точний та оперативний контроль за процесами утилізації тепла.

1.1. Датчики та вимірювальні прилади

Основними компонентами систем збору даних є датчики, які вимірюють ключові параметри процесу. Температурні датчики, такі як термопари та термістори, забезпечують точне вимірювання температури димових газів та робочих середовищ. Датчики тиску, такі як п'єзорезистивні та ємнісні датчики, вимірюють тиск в різних частинах системи, що дозволяє контролювати і регулювати процеси. Датчики витрати, такі як масові та об'ємні витратоміри, використовуються для вимірювання швидкості потоку димових газів та інших рідин або газів. Аналізатори газів вимірюють склад димових газів, що є важливим для оптимізації процесів горіння та утилізації тепла.

1.2. Інтеграція з центральною системою керування

Дані, зібрані з датчиків, передаються до центральної системи керування, де вони обробляються за допомогою програмного забезпечення для аналізу та візуалізації даних. Це дозволяє операторам отримувати реальний час інформацію про стан системи та приймати обґрунтовані рішення щодо її налаштування та оптимізації.

2. Програмовані логічні контролери (ПЛК)

ПЛК відіграють ключову роль у автоматизації процесів утилізації тепла. Вони забезпечують швидке та точне керування виконавчими механізмами, такими як клапани, насоси, вентилятори та теплообмінники. ПЛК можуть бути інтегровані з системами віддаленого моніторингу та керування, що дозволяє оперативно реагувати на зміни умов процесу та оптимізувати роботу обладнання.

2.1. Архітектура та функціонування ПЛК

ПЛК складаються з центрального процесора, модулів вводу/виводу та програмного забезпечення для створення логіки керування. Центральний процесор обробляє дані, отримані від датчиків, і видає команди виконавчим механізмам на основі попередньо запрограмованої логіки. Модулі вводу/виводу забезпечують інтерфейс між датчиками, виконавчими механізмами та центральним процесором.

2.2. Інтеграція з іншими системами

ПЛК можуть бути інтегровані з іншими системами автоматизації через промислові мережі та протоколи зв'язку, такі як Ethernet, Modbus, Profibus та інші. Це дозволяє забезпечити злагоджену роботу різних підсистем та оптимізувати весь процес утилізації тепла.

3. Інтелектуальні системи керування

Інтелектуальні системи керування, засновані на алгоритмах штучного інтелекту (ШІ) та машинного навчання, дозволяють підвищити ефективність утилізації тепла димових газів. Вони здатні прогнозувати поведінку системи, виявляти аномалії та автоматично оптимізувати параметри процесу. Це знижує ризики аварійних ситуацій та підвищує надійність роботи технологічного устаткування.

3.1. Алгоритми ШІ та машинного навчання

Алгоритми ШІ та машинного навчання використовуються для аналізу великих обсягів даних та виявлення закономірностей, які важко помітити за допомогою традиційних методів. Це дозволяє передбачити можливі проблеми та оптимізувати процеси у реальному часі. Наприклад, нейронні мережі можуть бути використані для прогнозування змін температури або тиску в системі на основі історичних даних та поточних вимірювань.

3.2. Переваги інтелектуальних систем керування

Інтелектуальні системи керування дозволяють знизити енергоспоживання, підвищити стабільність роботи обладнання та зменшити вплив на навколишнє середовище. Вони також сприяють зменшенню експлуатаційних витрат за рахунок більш ефективного використання ресурсів та зменшення кількості аварійних ситуацій.

4. Використання рекуператорів

Рекуператори дозволяють утилізувати тепло димових газів шляхом нагрівання повітря, яке використовується для горіння. Автоматизація процесу роботи рекуператорів включає контроль температури і витрати газів, що забезпечує оптимальне використання тепла та зменшує споживання палива.

4.1. Принцип роботи рекуператорів

Рекуператори працюють за принципом теплообміну між гарячими димовими газами та холодним повітрям, яке подається на горіння. Це дозволяє значно знизити витрати палива та підвищити ефективність горіння.

4.2. Автоматизація процесу

Автоматизовані системи керування рекуператорами забезпечують підтримку оптимальних температурних режимів та попередження перегріву або переохолодження. Це дозволяє знизити витрати на енергію та підвищити надійність роботи системи.

5. Теплообмінники

Теплообмінники використовуються для передачі тепла від димових газів до робочого середовища, такого як вода або пар. Автоматизовані системи керування теплообмінниками забезпечують підтримку оптимальних температурних режимів і попередження перегріву або переохолодження.

5.1. Типи теплообмінників

Існує декілька типів теплообмінників, що використовуються в системах утилізації тепла димових газів, включаючи пластинчасті, трубчасті та спіральні теплообмінники. Кожен тип має свої переваги та недоліки в залежності від умов експлуатації та вимог до ефективності.

5.2. Автоматизація роботи теплообмінників

Автоматизовані системи керування теплообмінниками забезпечують підтримку оптимальних температурних режимів та ефективне використання теплової енергії. Це дозволяє знизити експлуатаційні витрати та підвищити надійність роботи системи[2,3].

## 1.1. Загальна характеристика процесів формування скла

Формування скла є комплексним процесом, під час якого відбувається перетворення скломаси у різноманітні вироби. Цей процес характеризується взаємодією явищ теплопровідності, теплообміну та руху рідини, причому в'язкість скломаси може суттєво змінюватися. Особливістю розплавленої скломаси є її поступове застигання при переході з рідкого в твердий стан, на що значно впливає в'язкість.

Процес формування скловиробу складається з двох основних етапів: формування та фіксації форми. На етапі формування пластична скломаса набуває необхідної форми майбутнього виробу. Ключову роль тут відіграють реологічні та поверхневі характеристики скломаси, такі як в'язкість і поверхневий натяг, а також їх зміна залежно від температури. Етап фіксації форми передбачає закріплення конфігурації сформованого виробу під час твердіння скломаси.

Важливими параметрами процесу формування є робочий інтервал в'язкості скломаси, відповідний температурний інтервал та тривалість формування. Робочий інтервал в'язкості визначає межі зміни в'язкості скломаси до моменту, коли зовнішній шар виробу вже не піддається деформації.

При формуванні скловиробів значний вплив мають хімічний склад скла, тип формуючих пристроїв, температурний режим, форма виробу та умови охолодження. Ці фактори впливають на швидкість твердіння скломаси, що в свою чергу визначає якість виробу та ефективність склоформуючих машин.

Механізоване формування порожніх скляних виробів вважається одним з найскладніших виробничих процесів. Сучасні машини виконують цей процес у декілька етапів: подача скломаси, попереднє та остаточне формування, охолодження. При цьому висуваються специфічні вимоги до в'язкості та швидкості твердіння скла.

Існує ряд методів формування скляних виробів, кожен з яких має свої особливості та сфери застосування. Серед них: видування, пресовидування, пресування, відцентроване формування, витягування, прокатка, флоат-метод, роздув струменя скломаси, молірування, спінювання та виливка. Кожен метод використовується для виготовлення певних типів скляних виробів, від побутового посуду до технічного скла та будівельних матеріалів.

Вибір методу формування залежить від бажаних характеристик кінцевого продукту та особливостей виробничого процесу. Важливо враховувати комплекс вимог при виборі складу скла та умов охолодження, щоб забезпечити оптимальну швидкість твердіння, високу продуктивність машин та відмінну якість готової продукції[4].

На рисунку 1.1. представлені приблизні характеристики найбільш поширених методів формування скляних виробів.

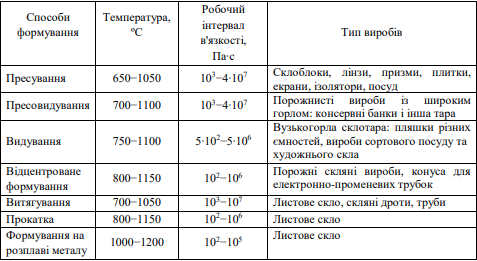


Рисунок 1.1. - В’язкістні і температурні інтервали для основних способів формування скловиробів

**1.2.** **Класифікація стекол за хімічним складом**

Промислове скло класифікується за технічними характеристиками та призначенням на чотири основні групи: архітектурно-будівельне, технічне, тарне та сортове.

Архітектурно-будівельне скло охоплює різноманітні види, такі як листове будівельне та декоративне скло, яке використовується для облицювання, мармурування та виготовлення мозаїчної плитки і смальти. Також до цієї групи входять скла для тепло- і звукоізоляції, які включають піноскло та скловолокнисті матеріали, а також скляна освітлювальна арматура, внутрішнє обладнання та конструктивно-будівельні елементи, такі як склопакети, склоблоки, профільне скло і скляна черепиця.

Листове скло виробляють різними технологіями, зокрема методом флоат, прокату і вертикального витягування. Флоат-скло є плоским, прозорим або забарвленим натрій-кальцій-силікатним склом з паралельними вогненно полірованими поверхнями, що виготовляється шляхом безперервного розтікання розплавленого скла через металеву ванну. Прокатне листове скло формується шляхом прокату скломаси між двома валками або на столі, а тягнене листове скло виробляють методом вертикального витягування.

Листове скло може мати різні характеристики, включаючи безбарвне, заглушене, матоване, поліроване та сонцезахисне.

Безбарвне листове скло представляє собою прозоре натрій-кальцій-силікатне скло, яке виготовляється методами флоат або вертикального витягування без будь-якої додаткової обробки поверхонь. Воно має форму плоских прямокутних аркушів з тонкою товщиною відносно довжини і ширини.

Глушене листове скло є непрозорим (молочного або іншого кольору) і має гладку лицьову поверхню та дрібнорифлену з іншого боку.

Матоване листове скло є непрозорим, але пропускає світло через грубку поверхню з одного боку.

Поліроване листове скло обробляється механічним шліфуванням і поліруванням, що забезпечує плоскопаралельні поверхні і виключає оптичні викривлення у відбитому світлі.

Сонцезахисне листове скло складається з трьох видів: теплопоглинаюче, тепловідбивне і електрохімічно забарвлене. Теплопоглинаюче скло зменшує пропускання інфрачервоної радіації, тепловідбивне має покриття для підвищеної відбивності в інфрачервоній області, а електрохімічно забарвлене скло має спеціальне забарвлене покриття для різних областей спектра світла[5].

Скло "мороз" має неповторюваний візерунок, схожий на засніжене скло, на одній з його поверхонь.

Скло з покриттям є листовим склом з нанесеним покриттям для зміни різних властивостей.

Скло багатошарове складається з одного або кількох шарів неорганічного скла, які з'єднані з плівковими або рідкими полімерними матеріалами, або силікатними покриттями. Це конструктивний матеріал, що забезпечує підвищену міцність та ізоляційні властивості.

Скло поліроване армоване є прозорим натрій-кальцій-силікатним склом з гладкими паралельними полірованими поверхнями, обробленими методом шліфування й полірування.

Скло профільоване будівельне, з армуванням дротом або без нього, є напівпрозорим склом, яке виготовляється методом відливання і прокатки в U-подібній формі, при цьому може бути армоване або без армування.

Скло термічно загартоване одношарове безпечне є натрій-кальцій-силікатним склом, яке проходить процес нагріву і швидкого охолодження, що забезпечує йому підвищену стійкість до механічних і термічних навантажень.

Скло візерункове є прозорим або забарвленим натрій-кальцій-силікатним склом, виготовленим методом безперервної виливки та прокатки.

Скло візерункове армоване є прозорим або забарвленим натрій-кальцій-силікатним склом, в яке в процесі виготовлення вбудовується сталева сітка, що забезпечує підвищену міцність. Поверхні можуть мати рельєфний або гладкий вигляд.

Склоблоки є скляними виробами, отриманими шляхом пресування і герметичного заповнення порожнин, призначеними для використання у вертикальних будівельних конструкціях, наприклад у стінах.

Склопакет - це конструкція з двох або більше листів скла, розділених рамками, що забезпечує високу міцність і стійкість. Вони герметично ущільнені, щоб запобігти проникненню вологи та інших зовнішніх впливів.

Скляні плитки - це скляні вироби, які можуть бути повнотілими або порожніми, використовуються для горизонтальних будівельних конструкцій, наприклад у перекриттях.

Черепиця скляна - це скляні вироби, виготовлені шляхом пресування, призначені для створення світлопрозорих покриттів на будівлях.

Сортове скло виготовляється з кришталевих, безбарвних або забарвлених скляних матеріалів і використовується для побутових цілей та декоративного оформлення. Воно включає скляний посуд, сувеніри, вази та інші художньо-декоративні вироби[6].

Технічне скло поділяється на багато підгруп залежно від його властивостей і застосування, таких як кварцове, оптичне, електровакуумне, хіміко-лабораторне, транспортне, термостійке та інші, і використовується у виробництві і спеціалізованих галузях промисловості.

Кварцове скло є однокомпонентним силікатним склом, яке отримують з розплавленого кремнезему без кристалізації. Воно поділяється на прозоре технічне, оптичне і особливо чисте. Прозоре кварцове скло характеризується високою чистотою SiO2 (99,98% мас.) і високою пропускною спроможністю в ультрафіолетовій і видимій областях спектра. Непрозоре кварцове скло має меншу чистоту (SiO2 ≥ 99,5% мас.) через велику кількість газових включень, що розсіюють світло. Кварцове скло застосовується в оптиці, світлотехніці, електротехніці, металургії та інших галузях.

Електровакуумні і електротехнічні скла використовуються для виготовлення деталей електровакуумних приладів, ламп, електронно-променевих трубок, скла для рентгенівської і електронної техніки. Вони мають склади з різноманітними компонентами, такими як SiO2, B2O3, Al2O3, Na2O, K2O, Li2O, CaO, PbO, MgO, BaO.

Хіміко-лабораторне скло використовується для хімічного посуду, приладів і апаратів у лабораторній практиці. Воно складається з багатокомпонентних силікатних скель, які мають підвищену хімічну стійкість за рахунок зменшеного вмісту оксидів лужних металів і присутності оксидів B2O3, Al2O3, TiO2 і ZrO2.

Термостійке скло використовується для виробництва термометрів, ртутних перемикачів та інших термостійких виробів.

Медичне скло використовується для упаковки і зберігання медичних препаратів, ін'єкційних розчинів і має склади з підвищеним вмістом SiO2, Al2O3, B2O3 і зменшеним вмістом оксидів лужних і лужноземельних металів.

Скляне волокно виготовляють різними методами з розплавленого скла і використовують для виробництва тепло- і звукоізоляційних матеріалів, склопластиків та інших матеріалів у будівництві і промисловості[7].

# Розділ 2. Аналіз автоматизованих систем контролю та керування технологічними процесами утилізації тепла димових газів у виробництві скла і розробка завдань для виконання бакалаврської дипломної роботи

Процес виготовлення скломаси, яка використовується для створення склошариків, відбувається у скловарній печі ванного типу, виготовленій з хромокісних матеріалів. Він поділяється на кілька етапів:

1. Завантаження сировинної суміші: Сировинна суміш, що містить склобій (ерклез або скловолокно), пересипана у заданому співвідношенні, транспортується по монорейці у контейнерах до приймальних бункерів ванної печі. Далі суміш завантажується в бункери за допомогою завантажувальних карманів і подається в піч механічними шнековими завантажувачами.

2. Розподіл зон печі. Ванна піч розділена на чотири зони:

- Завантажувальна зона: відбувається розплавлення сировини.

- Варильна зона: Повний перехід суміші в рідкий стан, виділення газів і шлаку.

- Освітлювальна зона: очищення скломаси від домішок і освітлення.

- Виробнича зона: охолодження суміші і подача для виготовлення продукції.

Температурний режим у перших трьох зонах становить 1590°C.

Газопостачання та пальники

Газопостачання печі здійснюється від заводської газової мережі з тиском 0,2 МПа. Газ регулюється газорегулювальним клапаном (ГРК) перед входом у піч, що знижує тиск до 0,02 МПа. Газ подається до технологічних зон печі з використанням витратомірів, регулювальних органів (РО) та систем блокування "газ-повітря". Для нагріву печі використовують пальники комбінованого типу ГК-35 з тризонною подачею газу та повітря в залежності від зони.

Система відведення димових газів

Система відведення димових газів передбачає використання рекуператора та димової труби. Рекуператор дозволяє ефективно утилізувати тепло димових газів, повертаючи його в процес і тим самим підвищуючи енергоефективність виробництва. Охолодження бункерів, завантажувальних карманів та завантажувачів здійснюється водяними холодильниками з використанням технічної води.

Стан печі

Загальний стан печі може бути визначено як ремонт, холодний простій, виводка, гарячий простій, робота, планове спинення або аварійне спинення відповідно до технологічного процесу.

Автоматизовані системи контролю та керування (АСКК) відіграють ключову роль у забезпеченні стабільності та ефективності процесу утилізації тепла димових газів. Основні завдання АСКК включають:

- Моніторинг температурних режимів у різних зонах печі.

- Регулювання подачі газу та повітря до пальників.

- Контроль за виділенням газів і шлаку у варильній зоні.

- Очищення та освітлення скломаси в освітлювальній зоні.

- Охолодження та транспортування скломаси у виробничій зоні.

-Відведення та утилізація димових газів із використанням рекуператора.

Автоматизація цих процесів дозволяє забезпечити високу якість продукції, знизити витрати на енергію та підвищити екологічну безпеку виробництва.

На основі аналізу сучасного стану автоматизації технологічних процесів утилізації тепла димових газів у виробництві скла можна виділити наступні завдання для виконання бакалаврської дипломної роботи:

1. Дослідження сучасних систем автоматизації в скловарній промисловості.

2. Розробка моделі процесу утилізації тепла димових газів.

3. Аналіз ефективності використання рекуператорів у системі відведення димових газів.

4. Розробка алгоритмів керування температурним режимом у різних зонах печі.

5. Впровадження системи моніторингу та діагностики\*\* стану печі.

6. Оцінка впливу автоматизації на енергоефективність\*\* та екологічну безпеку виробництва.

7. Розробка рекомендацій щодо модернізації існуючих систем автоматизації.

# Розділ 3. Розробка та аналіз математичних моделей процесу утилізації тепла димових газів у виробництві скла

* 1. **Структурно-логічний аналіз теплообмінника**

Технологічний об'єкт керування (ТОК) - це сукупність технологічного обладнання та процесів, що виконуються на ньому відповідно до інструкцій або регламентів. До ТОК відносяться:

- технологічні агрегати та установки (групи машин), які реалізують самостійний технологічний процес;

- окремі виробництва (цехи, дільниці) або виробничий процес всього підприємства, якщо управління має переважно технологічний характер, тобто впровадження раціональних режимів роботи взаємопов'язаних агрегатів (дільниць, виробництв).

Спільно функціонуючі ТОК і керуюча автоматизована система управління технологічним процесом (АСУ ТП) утворюють автоматизований технологічний комплекс (АТК).

Кожухотрубні теплообмінники широко застосовуються в різних технологічних процесах для нагрівання та охолодження різних матеріальних потоків, наприклад, для конденсації пари. Вони мають значну інерційність і великий час запізнення, а їх ефективність оцінюється за температурою продукту на виході.

Розглянемо кожухотрубний теплообмінник як об’єкт керування.

У теплообмінник надходять два потоки – теплоносій *FТ* і продукт, що охолоджується *FP*. Витрату теплоносія можна легко стабілізувати і використовувати для внесення ефективних регулюючих впливів. Витрата продукту *FP* визначається іншими технологічними процесами і в більшості випадків може бути стабілізованою. У разі зміни витрати *FP* до теплообмінника надходитимуть сильні збурення. Температури потоків *FТ* і *FP*на вході в теплообмінник, а також питомі теплоємності *СТ* і *СP*визначаються технологічними режимами інших процесів. Тому стабілізувати їх під час протікання процесу нагрівання або охолодження неможливо. До збурюючих факторів належать температура навколишнього середовища та властивості теплопередавальної стінки внаслідок відкладання солей і корозії.

Кожухотрубні теплообмінники мають одну вихідну регульовану координату, яка підлягає стабілізації, – температуру  продукту на виході. Вхідною регулюючою координатою можуть формально бути як витрата продукту *FP*, так і витрата теплоносія. У більшості випадків для стабілізації температури використовується витрата .

Відповідно до вищесказаного структурно-логічна схема кожухотрубного теплообмінника матиме вигляд, показаний на рисунку 3.1.

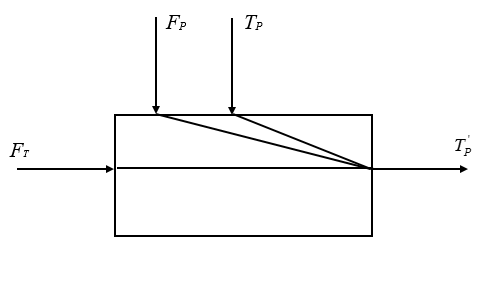


Рисунок 3.1. Структурно-логічна схема об’єкта керування

Теплообмінники як об’єкти керування мають велике запізнення, що впливає на роботу АСР. Щоб зменшити цей вплив, вимірювальний перетворювач потрібно розмістити якомога ближче до теплообмінника, використовувати ПІ – регулятори.

Автоматичний контроль необхідно проводити за витратами теплоносія та продукту, температурами потоків на вході в об’єкт та виході з нього. Витрати необхідно знати для розрахунку техніко-економічних показників процесу, а витрату *FP* і температуру  - для оперативного керування ним.

Сигналізації підлягають температура  і витрата *FP* продукту. Оскільки різке падіння *FP* може привести до аварійної ситуації, пристрої захисту мають перекривати лінію подавання теплоносія.

* 1. **Розробка математичної моделі апарату**

У кожухотрубних теплообмінниках теплота передається у дві стадії: від теплоносія до трубок, по яких протікає продукт, що охолоджується, і від трубок до продукту. Отже, тепловий баланс описується системою із двох рівнянь:

; (3.1)

, (3.2)

де – теплота, яка передається теплоносієм;

 – кількість теплоти, яка накопичується у матеріалі трубок;

 – теплота, яка передається від трубок до нагріваючого газу;

– кількість теплоти, яка накопичується у нагріваючому газі;

– теплота, яка витрачається з вихідним потоком;

– витрати теплоти у навколишнє середовище.

Кількість теплоти, яка надходить у теплообмінник, залежить від виду теплоносія. За отриманим завданням теплоносієм є газ зі стадії абсорбції СО2, тому кількість теплоти дорівнює:

, (3.3)

де  - теплоємність теплоносія;

– температура теплоносія; – час.

Якщо теплообмінник має теплову ізоляцію на його поверхні, то втрати теплоти  незначні і становлять приблизно (3..5)% кількості теплоти, яка надходить з теплоносієм. Якщо втрати теплоти у навколишнє середовище суттєві, їх необхідно визначити за формулою:

 (3.4)

де - коефіцієнт віддачі з поверхні теплообмінника;

- його зовнішня поверхня;

- температура стінки;

- середня температура навколишнього середовища.

Кількість теплоти, яка накопичується у матеріалі трубок і нагріваючому газі, відповідно становить:

  (3.5)

де ,- маса відповідно трубок і газу у теплообміннику;

,- їх теплоємності;

, - температура стінки та газу.

Теплота, яка витрачається з потоком газу на виході теплообмінника:

, (3.6)

а яка приходить з вхідним потоком,

, (3.7)

де - температура газу на вході теплообмінника.

Кількість теплоти, яка передається від стінки трубок до газу шляхом тепловіддачі, визначається за формулою:

, (3.8)

де - коефіцієнт тепловіддачі від трубок до газу;

- загальна поверхня трубок.

Так як теплоносієм є димовий газ, то згідно з рівняннями (3.3), (3.4) … (3.8) система набуде вигляду:

;

. (3.9)

Тепловий баланс кожохотрубного теплообмінника описується системою рівнянь (3.9), перше з яких описує баланс теплоти теплоносія, а друге- для нагріваючого продукту.

Після розділення системи на *dt* дістанемо:

 (3.10)

. (3.11)

За цього вважаємо, що втрати теплоти  незначні і ними можна знехтувати, а також, що за допустимих відхилень температури зміна теплоємностей ,і  незначна і нею можна також знехтувати. Крім того умовимось, що коефіцієнт тепловіддачі також змінюється незначно.

Сталими параметрами будемо вважати масу стінок , поверхню  і масу продукту у теплообміннику .

До змінних параметрів відносяться: температура стінки , температура теплоносія , витрата теплоносія , температура продукту на вході  і на виході  теплообмінника, а також витрату .

Змінні параметри об’єкта керування запишемо так:



Підставимо ці рівняння у (3.10) і (3.11), в результаті чого матимемо:

 (3.12)

 (3.13)

Після відповідного перемноження та знехтування складовими малого ступеня важності дістанемо:

 (3.14)

(3.15)

Рівняння статики:

 (3.16)

 (3.17)

Вилучимо відповідно рівняння (3.17) і (3.16) із (3.15) і (3.14). В результаті отримаємо:

 (3.18)

 (3.19)

Запишемо рівняння (3.18) і (3.19) і відносній формі, попередньо позначивши:

В результаті маємо:

 (3.20)

 (3.21)

Розділимо рівняння (3.20) на , а (3.21) на  і введемо такі позначення:



Тоді рівняння (3.20) і (3.21) набудуть вигляду:

 (3.22)

 (3.23)

Оскільки температура  стінки є проміжним параметром, її потрібно вилучити із рівняння (3.21). Для цього необхідно розв’язати рівняння відносно вихідної величини  . Із рівняння (3.23) знайдемо :

 (3.24)

а також її похідну:

 (3.25)

Підставимо рівняння (3.24) і (3.25) у (3.22). В результаті дістанемо:

 (3.26)

Введемо подальші позначення:

Тоді рівняння математичної моделі кожухотрубного теплообмінника становитиме:

 (3.27)

Передавальні функції об’єкта керування з урахуванням часу запізнення:

за каналом регулювання:

 (3.28)

за каналом збурення:

 (3.29)

 (3.30)

 (3.31)

# Розділ 4. Розробка та аналіз математичних моделей контуру керування процесом утилізації тепла димових газів у виробництві скла

З регламенту параметри для теплообмінника стадії утилізації тепла димових газів у виробництві скла наступні:

Витрата димових газів  кг/с.

Температура газів на вході в кожухотрубний теплообмінник °С.

Температура газів на виході з кожухотрубного теплообмінника °С.

Тиск насиченої пари кгс/см2.

Маса газів всередині теплообмінника  кг.

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки трубок до газів кДж/(м2·с·°С).

Питома теплоємність сталевих теплопередаючих трубок  кДж/кг·°С.

Загальна поверхня трубок  м2.

*Рп*= 5 кгс/см2 значення:

Температури насиченої пари *0С,*

*Ї*ї густина  кг/м3,

Питома теплота конденсації *кДж/кг* .

Використовуючи дані з регламенту для поверхні теплообміну  м2 знаходимо довжину труб теплообмінника  та кількість трубок теплообміннику шт.

Вага кожухотрубного теплообмінника:  кг (для труби 25×2 довжиною *l=1.5 м*)*.*

Причому вага труб в теплообміннику складає приблизно чверть його загальної ваги:

=121.25кг

Приймаємо діаметр трубок теплообмінника: 25×2 мм.

Тоді внутрішній діаметр трубок теплообмінника:



Розрахуємо питому теплоємність повітря на вході та виході з теплообміннику, проводячи лінійну інтерполяцію, причому значення теплоємності при температурах 0°С та 100°С з регламенту.

При температурі 0Степлоємність дорівнює  кДж/кг·°С, а при температурі 0С відповідно  кДж/кг·°С.,при температурі 0С теплоємність дорівнює  кДж/кг·°С,при відповідно 

Тоді питома теплоємність газів на вході в теплообмінник:

**> **



Перерахуємо в системі СІ:

**> **

кДж/кг·°С

Питома теплоємність газів на виході з теплообміннику:

**> **



В системі СІ:

**> **

кДж/кг·°С

З рівняння статики (3.18) знайдемо витрати пару, яка необхідна для нагрівання суміші, беручи до уваги, що *кДж/кг* .



 кг/с.

Обчислимо сталі часу:

**> **



**> > **



Коефіцієнти передачі:

**> **



**> **



**> **



**> **



**> **



Знайдемо параметри математичної моделі:

**> **



**> **



**> **



**> **



**> **



Підставивши значення параметрів у рівняння математичної моделі кожухотрубного теплообмінника (3.29) матимемо:





З отриманої математичної моделі виходить, що зв’язки між вихідним параметром *y*2 і вхідним *х*2 та збуренням *z* незначні і за практичних розрахунків ними можна знехтувати. Тоді математична модель набуде вигляду:



Передавальна функція об’єкта керування за каналом регулювання:

.

Підводячи підсумок, зазначимо: кожухотрубний теплообмінник як об’єкт керування описується диференційним рівнянням другого порядку, а це значить, що за певних умов перехідна його функція може бути коливальною, якщо .

У даному випадку це відношення становить 10,79>2. Отже можна зазначити, що перехідний процес описується рівнянням аперіодичної ланки другого порядку.

Знайдемо час запізнення теплообмінника за каналом зміни теплоносія.

Кожухотрубні теплообмінники, як правило, регулюються зміною теплоносія. Вони є протиточними, тобто теплоносій рухається назустріч потоку продукту, що нагрівається. У цьому разі час запізнення складається із часу запізнення припливу теплоносія  і часу передачі теплоти через стінку трубок :

.

Для визначення  необхідно виконати наступні розрахунки.

Розраховуємо площу та об’єм теплоносія.

Площа:

,

де - внутрішній діаметр кожуху,  (враховуючи, що 325 мм - зовнішній діаметр кожуху .

- зовнішній діаметр трубок теплообмінника, =25 *мм*.

 м2

Об’єм:

**> **



**> **



Кількість теплоти, яка необхідна для нагрівання речовини:

**> **



**> **



**> **



Згідно з часом запізнення передаточна функція кожухотрубного теплообмінника за каналом регулювання набуде вигляду:



Після розрахунку модель передавальної функції з часом запізнення має такий вигляд:



Рисунок 4.1. Крива перехідного процесу об’єкта керування

На графіку видно, що час регулювання становить 280с.

Графіки частотних характеристик показані на рисунках 4.2. - 4.5.

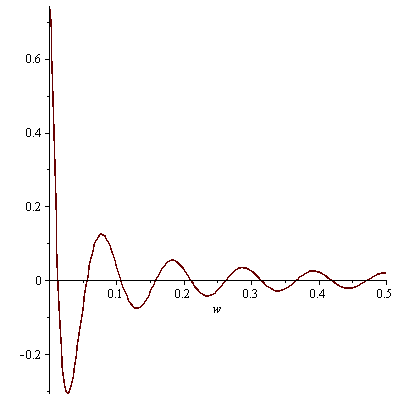


Рисунок 4.2. Дійсна частотна характеристика

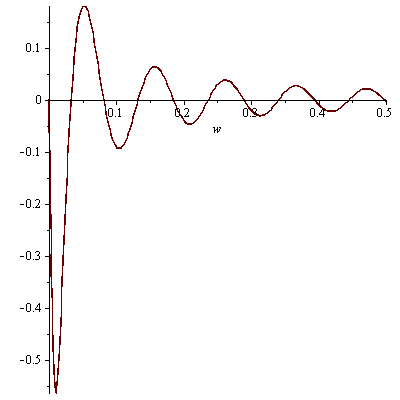


Рисунок 4.3. Уявна частотна характеристика

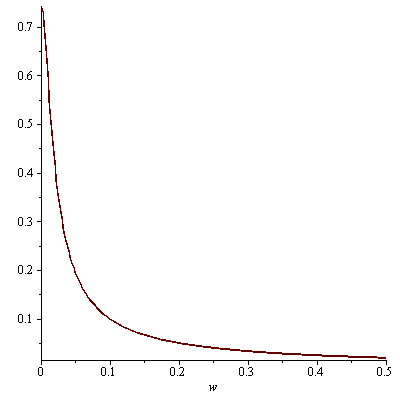


Рисунок 4.4. Амплітудо-частотна характеристика



Рисунок 4.5. Фазо - частотна характеристика

# Розділ 5. Теоретичні дослідження математичних моделей процесу утилізації тепла димових газів у виробництві скла

Утилізація тепла димових газів у виробництві скла є важливим етапом, що дозволяє знизити енергетичні витрати та підвищити ефективність виробничого процесу. Одним з ключових елементів цього процесу є теплообмінник, робота якого повинна контролюватися для забезпечення стабільних та оптимальних умов теплообміну. В рамках цього дослідження було проаналізовано математичну модель роботи одноконтурної системи з пропорційно-інтегральним (ПІ) регулятором, що контролює теплообмінник на стадії утилізації тепла димових газів. Розглянемо отримані результати та висновки з графіка динаміки змін контрольованої змінної.

Перехідний процес

На графіку представлено перехідний процес, що характеризується швидким збільшенням значення контрольованої змінної на початковому етапі. Це свідчить про адекватну реакцію системи на початковий сигнал або зміну умов роботи. Швидке зростання значення змінної забезпечується пропорційною складовою ПІ регулятора, яка реагує на відхилення від заданого значення.

Далі спостерігається поступове вирівнювання, що вказує на входження системи в усталений режим. Протягом періоду між 100 і 300 одиницями часу змінна наближається до свого усталеного значення, що свідчить про ефективність інтегральної складової ПІ регулятора у компенсації помилок.

Усталений режим

Після приблизно 300 одиниць часу система входить в усталений режим, досягаючи значення контрольованої змінної близько 0.7. Це означає, що ПІ регулятор успішно стабілізує систему, забезпечуючи постійне значення змінної, що є критично важливим для ефективного теплообміну.

На графіку також видно невелике перевищення усталеного значення перед тим, як змінна стабілізується. Це перерегулювання є типовим для систем з ПІ регуляторами і свідчить про правильний підбір параметрів регулятора. Незначне перерегулювання можна зменшити шляхом додаткового налаштування пропорційної складової регулятора.

Стабільність системи

Стабільність системи підтверджується відсутністю коливань після досягнення усталеного режиму. Значення контрольованої змінної не коливається і залишається на одному рівні, що вказує на стійкість системи. Це є важливим аспектом для забезпечення надійного і безперервного теплообміну.

Переваги ПІ регулятора

ПІ регулятор ефективно компенсує помилки за рахунок інтегральної складової, дозволяючи системі досягати усталеного значення без постійної похибки. Це особливо важливо для теплообмінних процесів, де стабільність температури має критичне значення для якості виробленого скла. Завдяки правильному підбору параметрів, регулятор забезпечує гарне слідкування за заданим значенням, що важливо для технологічного процесу.

Параметри ПІ регулятора підібрані загалом вдало, але можливе невелике зменшення коефіцієнта пропорційної складової для зменшення перерегулювання.

Необхідно перевірити, чи усталене значення дійсно відповідає необхідному технологічному параметру в реальних умовах виробництва скла.

Представлене теоретичне дослідження математичної моделі одноконтурної системи з ПІ регулятором показало, що система є ефективною для контролю теплообмінника на стадії утилізації тепла димових газів у виробництві скла. Графік роботи системи демонструє швидкий перехідний процес і стабільність в усталеному режимі, що забезпечує надійний тепловий обмін і стабільність технологічного процесу. Такі результати підтверджують доцільність використання ПІ регулятора для управління теплообмінниками в умовах виробництва скла, забезпечуючи ефективне використання тепла димових газів і зниження енергетичних витрат.

**Розділ 6. Розробка функціональної схеми АСК ТП процесом утилізації тепла димових газів у виробництві скла**

Автоматизована система контролю та керування технологічними процесами (АСК ТП) забезпечує ефективне та стабільне функціонування технологічних процесів. В контексті утилізації тепла димових газів у виробництві скла, така система дозволяє оптимізувати використання енергетичних ресурсів, знижувати витрати на енергію та мінімізувати вплив на навколишнє середовище.

Функціональна схема АСК ТП включає в себе кілька основних компонентів, кожен з яких виконує свою специфічну функцію:

1. Датчики та вимірювальні прилади:

- Температурні датчики: для вимірювання температури димових газів та теплоносія.

- Тискові датчики: для вимірювання тиску в різних частинах системи.

- Витратоміри: для вимірювання витрат газу та теплоносія.

- Аналізатори газу: для визначення складу димових газів.

2. Контролери:

- ПЛК (програмовані логічні контролери): для обробки даних від датчиків, виконання алгоритмів керування та передачі команд виконавчим механізмам.

- РРК (регулятори параметрів керування): для підтримки заданих параметрів процесу.

3. Виконавчі механізми:

- Клапани: для регулювання потоку газу та теплоносія.

- Насоси: для циркуляції теплоносія.

- Пальники: для регулювання подачі палива.

4. Людино-машинний інтерфейс (HMI):

- Системи візуалізації: для відображення інформації про стан процесу та параметрів керування.

- Системи управління: для налаштування параметрів та втручання в процес.

5. Комунікаційні системи:

- Мережеві з'єднання: для передачі даних між компонентами системи.

- Протоколи зв'язку: такі як Modbus, Profibus, Ethernet.

Функціональна схема АСК ТП процесом утилізації тепла димових газів представлена наступним чином:

1. Збір та обробка даних:

- Датчики (температурні, тискові, витратоміри) збирають дані про стан процесу.

- Дані передаються до контролерів (ПЛК) для обробки.

2. Аналіз та регулювання:\*\*

- Контролери аналізують дані, порівнюють їх з заданими значеннями і приймають рішення щодо коригуючих дій.

- Регулятори параметрів керування (РРК) забезпечують підтримку заданих параметрів (наприклад, температури, тиску).

3. Передача команд:

- Контролери передають команди виконавчим механізмам (клапанам, насосам, пальникам) для регулювання процесу.

4. Візуалізація та контроль:

- Системи HMI відображають поточний стан процесу та дозволяють операторам втручатися в процес за потреби.

- Оператори можуть налаштовувати параметри системи, реагувати на аварійні ситуації.

5. Зворотній зв'язок:

- Виконавчі механізми виконують команди і забезпечують зворотній зв'язок через датчики для постійного моніторингу та коригування процесу.

ФСА кожухотрубного теплообмінника процесом утилізації тепла димових газів у виробництві скла представлена на рисунку 6.1.

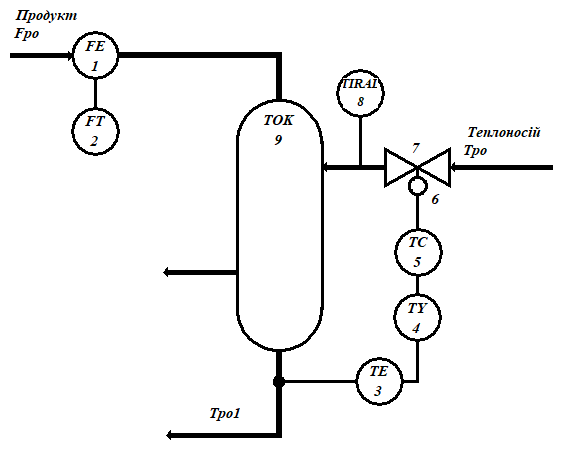
****

Рис. 6.1. Функціональна схема автоматизації стадії утилізації тепла димових газів одноконтурним АСР

Контроль температури продукту:

Датчик 3 вимірює температуру продукту Tро, який виходить з технічного об’єкта керування (ТК) 9. Сигнал з датчика передається до перетворювача 4, де він перетворюється на відповідний сигнал для регулятора 5. Регулятор 5, відповідно до закону регулювання, керує виконавчим механізмом 6, що пов'язаний з регулюючим органом 7. Регулюючий орган 7 змінює свій поперечний перетин, змінюючи витрату для підтримки температури продукту на заданому рівні. Якщо витрата перевищує мінімально допустимий рівень, сигналізація 8 подає попереджувальний сигнал.

Параметри, що підлягають автоматичному регулюванню

1. Температура повітря на виході з теплообмінника регулюється зміною витрати відхідних димових газів для підтримки заданої температури.

2. Температура скломаси в зонах завантаження, варіння та освітлення ванної печі регулюється шляхом зміни витрати природного газу, що подається в піч для згоряння, підтримуючи необхідну температуру в кожній зоні.

3. Температура скломаси в зоні виробітку регулюється зміною витрати природного газу для забезпечення стабільної температури у виробничій зоні печі.

4. Рівень скломаси в зоні виробітку: підтримується на заданому рівні (максимальне відхилення ±1 мм) шляхом регулювання витрати шихти, яка подається в піч шнековими завантажувачами.

5. Тиск димових газів (тяга) у печі стабілізується за рахунок зміни витрати димових газів, що відходять через байпасну лінію для підтримки необхідного тиску.

6. Стабілізація витрати димових газів на виході з теплообмінника забезпечується автоматичним регулюванням для підтримки постійної витрати димових газів.

Параметри, що підлягають автоматичному контролю

1. Витрата природного газу на праву групу пальників контролюється для забезпечення рівномірного подавання газу до пальників правої групи.

2. Витрата природного газу на ліву групу пальників контролюється для забезпечення рівномірного подавання газу до пальників лівої групи.

3. Витрата повітря, що надходить у піч для горіння контролюється для підтримки необхідного співвідношення газу і повітря, забезпечуючи оптимальні умови горіння.

Система блокувань у скловарній печі

1. Блокування за наявності полум'я на пальниках у трьох технологічних зонах реалізується шляхом відсічення подачі природного газу у випадку виявлення полум'я, що дозволяє запобігти аварійним ситуаціям.

**6.1. Автоматизація тепла димових газів**

У дипломній роботі застосовано режим безпосередньо-цифрового керування (БЦК). Цей метод передбачає обробку та передачу сигналів у цифровій формі без конвертації в аналогові сигнали. Такий підхід дозволяє здійснювати управління системою за допомогою цифрових алгоритмів та обчислювальної техніки.

Ключові особливості режиму БЦК включають:

1. Використання цифрових сигналів у бінарному коді

2. Застосування аналогово-цифрових перетворювачів (АЦП)

3. Реалізація управління через цифрові алгоритми

4. Підвищена стійкість до шумів та збурень

5. Можливість гнучкого програмування

6. Використання мікроконтролерів та процесорів

БЦК широко застосовується в сучасних системах керування, включаючи промислові процеси, автоматизовані системи та робототехніку.

Мікропроцесорна система технологічного контролю та управління (МСТКУ-М) складається з наступних основних блоків:

1. РГ1 і РГ2 - гальванічні розв'язки для захисту мікропроцесорного контролера

2. АЦП і ЦАП - для перетворення між аналоговими та цифровими сигналами

3. ЦІП - для цифро-імпульсного перетворення

4. ЦДП і ДЦП - для перетворення між цифровими та дискретними сигналами

5. АЛГО - блок алгоритмічного перетворення для обробки цифрових сигналів

МСТКУ-М працює з уніфікованими струмовими сигналами, що оптимізує обробку та обмін даними в системі керування. Така конфігурація забезпечує ефективну роботу системи в режимі безпосередньо-цифрового керування, поєднуючи переваги цифрової обробки сигналів з гнучкістю програмного управління.

# Розділ 7. Аналіз результатів теоретичних досліджень

Теплообмінники, як об'єкти керування, відрізняються значними запізненнями, що суттєво впливає на роботу автоматичних систем регулювання. Для зниження цього впливу важливо розміщувати вимірювальні пристрої якнайближче до теплообмінника і використовувати пропорційно-інтегральні (ПІ) регулятори.

Ключові параметри, що підлягають автоматичному контролю, включають витрату теплоносія та продукту, а також температури потоків на вході і виході з об'єкта. Необхідність моніторингу температури і витрати FP продукту для запобігання аварійним ситуаціям підтверджена.

Дослідження математичної моделі показало, що система з ПІ-регулятором демонструє швидкий перехідний процес на початковому етапі, стабільність в усталеному режимі з мінімальним перерегулюванням, а також ефективність компенсації помилок і слідкування за заданими значеннями.

Основні параметри, які підлягають автоматичному регулюванню у виробництві скла, включають температуру повітря і скломаси в печах, рівень скломаси в зоні виробництва, тиск димових газів та їх витрату на виході з теплообмінника.

Використання режиму БЦК забезпечує ефективність за рахунок обробки сигналів у цифровій формі, використання цифрових алгоритмів та підвищеної стійкості до шумів і збурень, що є ключовими для автоматизованих систем управління.

Мікропроцесорна система технологічного контролю та управління (МСТКУ-М) включає гальванічні розв'язки, аналого-цифрові та цифро-аналогові перетворювачі, цифро-імпульсні перетворювачі та блок алгоритмічного перетворення. Використання уніфікованих струмових сигналів спрощує обробку та обмін даними в системі керування.

Цей аналіз підтверджує значущість вибраних підходів у сучасних технологіях автоматизації і керування, що сприяють підвищенню ефективності та надійності процесів у виробництві скла.

# ВИСНОВОК

У дипломній роботі було проведено дослідження та аналіз автоматизованих систем і управління технологічними процесами. Визначені вхідні та вихідні параметри, розроблена структурно-логічна схема для відображення послідовності етапів утилізації тепла димових газів у виробництві скла. Розроблена математична модель об'єкта керування, включаючи рівняння матеріально-теплового балансу та передавальну функцію для взаємозв'язку вхідних та вихідних сигналів. Застосовуючи цю математичну модель, було визначено передавальну функцію, час запізнення, а також побудовано криві перехідного процесу і графіки частотних характеристик технологічного апарату.

Теоретичні дослідження підтвердили ефективність застосування ПІ-регулятора для контролю теплообмінника в процесі утилізації тепла димових газів у виробництві скла. Система демонструє швидкий перехідний процес і стабільність в усталеному режимі, що забезпечує надійний тепловий обмін і стабільність технологічного процесу.

Режим безпосередньо-цифрового керування (БЦК) забезпечує ефективне управління за рахунок використання цифрових сигналів і алгоритмів. Це дозволяє підвищити стійкість до шумів, забезпечити високу точність і гнучкість програмування. МСТКУ-М, у свою чергу, забезпечує необхідні перетворення та обробку сигналів для реалізації БЦК, спрощуючи інтеграцію та управління уніфікованими струмовими сигналами.

Отримані результати створюють теоретичну базу для подальшої розробки та впровадження автоматизованої системи керування процесом утилізації тепла димових газів у виробництві скла.

# ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Автоматизовані системи управління технологічного процесу в хімічних виробництвах: курс лекцій / Укладач Л.В.Борисова. ‒ Х.: НУЦЗУ, 2015. – 98 с.
2. А.О. Бобух. Автоматизовані системи керування технологічними процесами: Навч. посібник. – Харків: ХНАМГ, 2006. – 185 с.
3. Балакірєв B.C. Оптимальне управління процесами хімічної технології/BC. Балакірєв, В.М. Володін, A.M. Цирлін. - М.: Хімія. 1978. - 383 с.
4. Є.П. Стефані. Основи побудови АСУ ТП / Навч. посібник для вузів. - М.: Видавництво, 1982. - 352 с.
5. Стенцель Й.І. Автоматизація технологічних процесів хімічних виробництв: Уч. Пос. - К.: ІСІО, 1995. - 360с
6. Стенцель Й.І. Математичне моделювання технологічних об'єктів управління: Навч. посібник. - К: ІСДО. 1993. -328 с.
7. Стенцель Й.І., Поркуян О.В. Автоматизація технологічних процесів хімічних виробництв: Підручник. - Луганськ: Вид-во Східноукр. нац. ун-ту ім.. В.Даля, 2010. - 300 с.
8. Стенцель Й. І., Проказа О. І., Литвинов К. О., Кузнєцова О. В. Комп'ютерні системи автоматизації технологічними процесами виробництва аміачної селітри. Підручник/Під ред. проф. Й. І. Стенцеля. – Сєвєродонецьк: Вид-во Східноукр. нац. ун-ту, 2020. - 320 с., 162 іл., Табл. 20.