

Міністерство освіти і науки України  
Шосткинський інститут сумського державного університету  
— Центр заочної та дистанційної форми навчання  
— Кафедра системотехніки та інформаційних технологій  
Спеціальність 6.151 «автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

на тему:

"Система управління технологічним процесом виробництва сірчаної кислоти"

Керівник роботи

викладач, к.т.н.

\_\_\_\_\_

А.Г. Серяков

Дипломник:

студент групи СУз-81Ш

\_\_\_\_\_

В.Д. Сивоконь

Номер залікової книжки:

—



## РЕФЕРАТ

Сивоконь Володимир Дмитрович. Система управління технологічним процесом виробництва сірчаної кислоти. Бакалаврська робота. Шосткинський інститут Сумського державного університету. Шостка, 2022 рік.

Бакалаврська робота містить 74 аркушів пояснювальної записки, з урахуванням 50 рисунків, 14 таблиць; 2 креслень.

Роботу присвячено автоматизації установки з одержання хімічного елементу сірчаної кислоти. Вибрано сучасні засоби автоматизації, розроблено системи сигналізації та захисту відповідно до умов функціонування даної установки. Розроблено процедуру вибору приладів та устаткування з відповідними до технологічного процесу параметрами. Розроблені канали управління, сигналізації та блокування згідно з потребами автоматизації.

Ключові слова: система управління, об'єкт автоматизації, канал управління, контури контролю та управління, пристрої автоматизації.

## SUMMARY

V. Syvokon. Sulfuric acid production process control system. Shostka institute of the Sumy state University. Shostka, 2021 year.

A bachelor work is contained by 74 leaves of explaining message, taking into account 50 pictures, 14 tables; designer document which contains 2 drafts.

Work is devoted to automation of setting upon the receipt of Sulfuric acid production. The modern methods of automation are chosen, the systems of signaling and defence in accordance to the operating conditions of the given setting are developed. Procedure of choice of devices and materials with proper to the technological process parameters is developed. The channels of management, signaling and blocking in accordance with the necessities of automation are developed. Keywords: system of management, object of automation, channel of management, contours of control and managements, devices of automation.

Keywords: process control system that regulates the microprocessor controller, the control algorithm, the adjustable parameter.

## Зміст

Вступ.....	9
1. Опис технологічного процесу виробництва.....	11
сірчаної кислоти .....	11
1.1 Норми технологічного режиму випалу колчедана у печі .....	13
2. Опис технологічного обладнання .....	14
3. Вибір каналів керування, сигналізації та блокувань .....	18
3.1 Вибір регульованих алгоритмів управління .....	19
3.2 Перелік точок технологічного процесу сигналізації, контролю та управління. ....	21
4. Вибір сучасних засобів автоматизації .....	22
4.1 Обґрунтування та вибір регулюючих органів.....	35
4.2 Розрахунок засувки, що регулює подачу повітря.....	43
4.3 Розрахуємо засувку, яка регулює подачу газу для печі. ....	44
4.4 Склад контурів регулювання та контролю.....	45
5 Вибір контролера та програмного забезпечення .....	50
5.1 Обґрунтування вибору контролера.....	50
5.2 Вибір проектної конфігурації контролера.....	52
5.3 Верхній рівень керування. Робоче місце оператора.....	57
5.4 Опис розробленого інтерфейсу оператора та вибір системи SCADA. ....	57
5.5 Опис програми.....	61
5.6 Розробка алгоритму керування технологічним процесом .....	62
5.7 Вибір протоколу обміну інформацією між контролером та верхнім рівнем АСУ ТП.....	65
6. Розрахункова частина .....	66
6.1 Опис вихідної схеми автоматичного регулювання контуру подачі колчедану .....	66
6.2 Побудова математичної моделі об'єкта управління .....	67
6.3 Побудова статичної характеристики .....	70
6.4 Сторонні математичні моделі першого порядку .....	71
6.5 Сторонні математичні моделі методом площ .....	71
6.6 Побудова математичної моделі методом Ротача.....	72
6.7 Вибір остаточної апроксимуючої моделі .....	73
6.8 Синтез регулятора методом ЛАЧХ.....	74
6.9 Визначення параметрів ПІД-регулятора .....	75
6.10 Побудова перехідної характеристики замкненої системи .....	76
Висновок .....	100
Література .....	102

## Вступ

У бакалаврській роботі розглянуто частину процесу промислового виробництва сірчаної кислоти. Слід зазначити, що повний технологічний цикл цього виробництва складається з великої кількості стадій, і в даній роботі розглянутий процес є лише першою стадією: випал колчедана в печі та отримання газу  $\text{SO}_2$  із заданою концентрацією. Друга і третя стадії у цій роботі не розглядаються, кожної з них необхідна своя локальна система, а координації роботи необхідно використовувати систему управління вищого рівня ієрархії управління.

Автоматизація управління технологічним апаратом, агрегатом чи ділянкою (відділенням) сірчано-кислотного виробництва СКП має на меті забезпечити економічно ефективне існування виробничого процесу за мінімальної участі людини (оперативного персоналу). Поряд з конструкторсько-технологічними заходами це завдання вирішується шляхом застосування сучасних методів та технічних засобів автоматизації. Основною метою даного проекту є заміна застарілого контрольно-вимірювального обладнання на сучасне. Складність СКП у тому, що виробництво безперервне, основні апарати технологічної схеми з'єднані послідовно і за перебоїв у роботі одного апарату порушується режим роботи наступних апаратів.

Техніко-економічні показники виробництва сірчаної кислоти та показники якості продукції залежать насамперед від точності дотримання технологічного режиму, узгодженої роботи всіх апаратів та всіх відділень у цілому. Тому запровадження автоматичних методів контролю та регулювання процесів, тобто автоматизація виробництва, має велике економічне значення. У хімічній, зокрема- в сірчано-кислотній промисловості, автоматизація контролю та управління особливо важлива, тому що в ході хімічних процесів можливе виділення в атмосферу виробничих приміщень та навколишнє середовище шкідливих речовин у вигляді газів, пари, пилу та ін. При нормальній автоматизованій роботі сірчано-кислотного виробництва обслуговуючий персонал стежить за технологічним режимом і реєструє його параметри.

Економічний ефект впровадження автоматизації у виробництво сірчаної кислоти визначається головним чином покращенням умов праці, зменшенням витрати сировини, електроенергії, води, поліпшенням інших параметрів, підвищенням інтенсивності процесу, оскільки автоматизований процес можна вести за найвищих (оптимальних) показників. Підтримувати такі показники при ручному регулюванні практично неможливо, тому що навіть незначні відхилення від оптимального режиму можуть призводити до порушення автотермічності процесу або великих виробничих втрат.

Установка сучасної автоматики призведе до покращення основних показників ефективності виробництва:

- Збільшення надійності контрольно-вимірювального обладнання;
- зменшення аварійних зупинок та простою обладнання;
- Поліпшення якості продукції та скорочення шлюбу за рахунок більш точного підтримання технологічного процесу;

- Збільшення кількості продукції, що випускається;
- Зниження витрат на капітальні ремонти;
- Зниження собівартості;
- Зменшення чисельності робочих;
- попередження або повне виключення забруднення навколишнього середовища.

# 1. Опис технологічного процесу виробництва

## сірчаної кислоти

Сірчану кислоту виробляють у великій кількості на сірчаноокислотних заводах. Сировина, що використовується для виробництва сірчаної кислоти: Самородна сірка S, Пірит (сірчаний колчедан)  $\text{FeS}_2$ , Сірководень  $\text{H}_2\text{S}$ , Сульфіди кольорових металів  $\text{ZnS}$ ,  $\text{Cu}_2\text{S}$ .

Зі складу під навісом сірка занурюється грейферним краном у бункер з ґратами 100 – 100 мм далі стрічковим конвеєром, подається в приймальні бункера, пічного відділення. Для усунення пилу сірки проводиться її зволоження.

Днищем бункера є стрічковий живильник, який подає сірку в піч. Рух газів печі відбувається під впливом розрідження, створюваного нагнітачем Е – 1700, що у кислотному відділенні. Під газорозподільну решітку печі повітродувкою Е – 400 – 12 подається атмосферне повітря. Регулювання подачі сірки в піч здійснюється зміною швидкості руху стрічки живильника за допомогою оборотів двигуна.

Кількість продукту, що подається, регулюється шляхом підтримки розрядження перед димососом ДН-17 НЖ.

Для розігріву печі встановлені 2 форсунки, що працюють на газу, що подається трубопроводами.

Пекти розігрівується газом до 1000С. При досягненні цієї температури починається завантаження сірки у піч. Після загоряння сірки форсунки гасяться і подальший прогрів сірки, що надходить, відбувається теплом, що виділяється палаючої сірки.

Газ, що виходить із печі з температурою 750 - 9500С, надходить на охолодження в котел утилізатор типу ВТКУ-13/40, де охолоджується до 300 – 450С.

Котел – утилізатор живиться хімічно чистою водою. Хімічно очищена вода надходить до пічного відділення з котельного цеху з температурою 20 – 300С. Далі надходить у деаератор, у якому відбувається виділення з неї кисню та вуглекислого газу. З деаератора насосом поживна вода подається в барабани котлів-утилізаторів. Барабан має сепаруючий пристрій для безперервного продування котла. Нормальний рівень води в барабані знаходиться на осі барабана. Безперервна та періодична продування котлів служать для підтримання нормального водно-хімічного режиму котлів.

Виробляється котлами-утилізаторами пара з температурою 2490С під тиском відводиться і використовується для охолодження киплячого шару печі. З печі перегріта пара вводиться та використовується в інших цехах технологічного процесу.

Оксид заліза  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (огарок), що утворився, у виробництві сірчаної кислоти не використовують. Але його збирають та відправляють на металургійний комбінат, на якому з оксиду заліза отримують метал залізо та

його сплави. Отже виконується принцип хімічного виробництва - безвідходність виробництва.

ДРУГА СТАДІЯ - окиснення  $\text{SO}_2$  в  $\text{SO}_3$  киснем. Протікає у контактному апараті.

ТРЕТЯ СТАДІЯ – поглинання  $\text{SO}_3$  сірчаною кислотою. Протікає у поглинальній вежі.



## 1.1 Норми технологічного режиму випалу колчедана у печі

Контрольований параметр норми та технічні показання

Склад колчедану ГОСТ 444-75

Температура в киплячому шарі, °С 750+20

Температура випалювального газу, °С

на виході з печі 850-950

після котла-утилізатора 440-450

після електрофільтра 350-390

Концентрація діоксиду сірки, %

на виході з печі 14,0+0,5

Опір киплячого шару, кП печі КС-200 10,0-13,0

Вміст сірки в недогарку трохи більше 1%

Розрідження печі, кПа 1, 7-3, 50

на виході з печі 1,7-2,30

на виході з котла-утилізатора 1,7-2,00

Витрата поживної води на котел-утилізатор, т/год 9

Тиск пари в котлі-утилізаторі, МПа 4,0-4,2

Температура перегрітої пари 03 300-400

Питома витрата повітря, м<sup>3</sup>/ч 7000-10000

Інтенсивність печі КС

подова, т/(м<sup>2</sup>-сут) 8-10

об'ємна, т/(м<sup>3</sup>-сут) 0,8-1,0

Вміст горілого пилу в випалювальному газі, г/м<sup>3</sup>

після печі 300-360

після котла-утилізатора 230-280

Розподіл виходу недогарка по пічному блоку, %

з печі 4-6

з котла-утилізатора 15-20

з циклонів 65-75

Вихід пари на 1 т 45%-го сухого колчедану, т

Насиченого 1,4

перегрітого 1,2

## 2. Опис технологічного обладнання

Необхідність створення оптимальних умов випалу сірчаного колчедану в киплячому шарі, охолодження випалювального газу та його очищення від пилу визначає важливу апаратурно-технологічну схему пічного відділення. Схема пічного відділення, обладнаного печами КС, що працюють на флотатійному колчедані, наведено на рис. 1

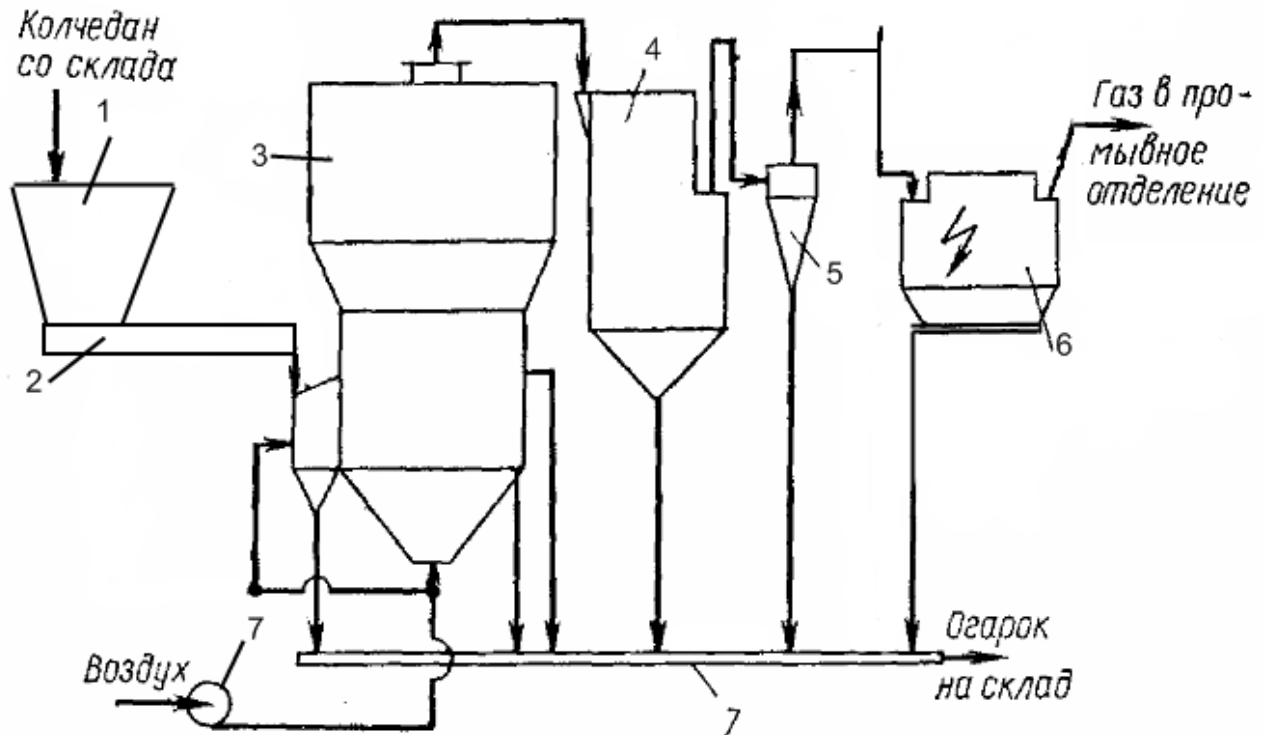


Рисунок 1- Схема пічного відділення при випаленні колчедану:

1- бункер; 2 – стрічковий живильник; 3 – піч КС; 4 – котел-утилізатор; 5 – циклон; 6 – електрофільтр; 7 - система транспортування недогарка (редлер або гідровидалення).

**Пічне відділення** має циліндричну форму із розширенням у верхній частині. Загальний об'єм печі 222 м<sup>3</sup>. Конус шахти печі сталевий, усередині футерований вогнетривкою цеглою. Днище у чотирьох секторах залито вогнетривким бетоном, у двох секторах, що примикають до завантажувачів сірки, знаходяться цільові сопла, через які подається повітря. У центрі склепіння печі знаходиться газохід, що відводить випалювальний газ у котел утилізатор. Піч зовнішньої частини має діаметр 4,75 м, у верхній частині (сепараційний простір) – 6,2м. Продуктивність печі до 4 т. Сірки за годину.

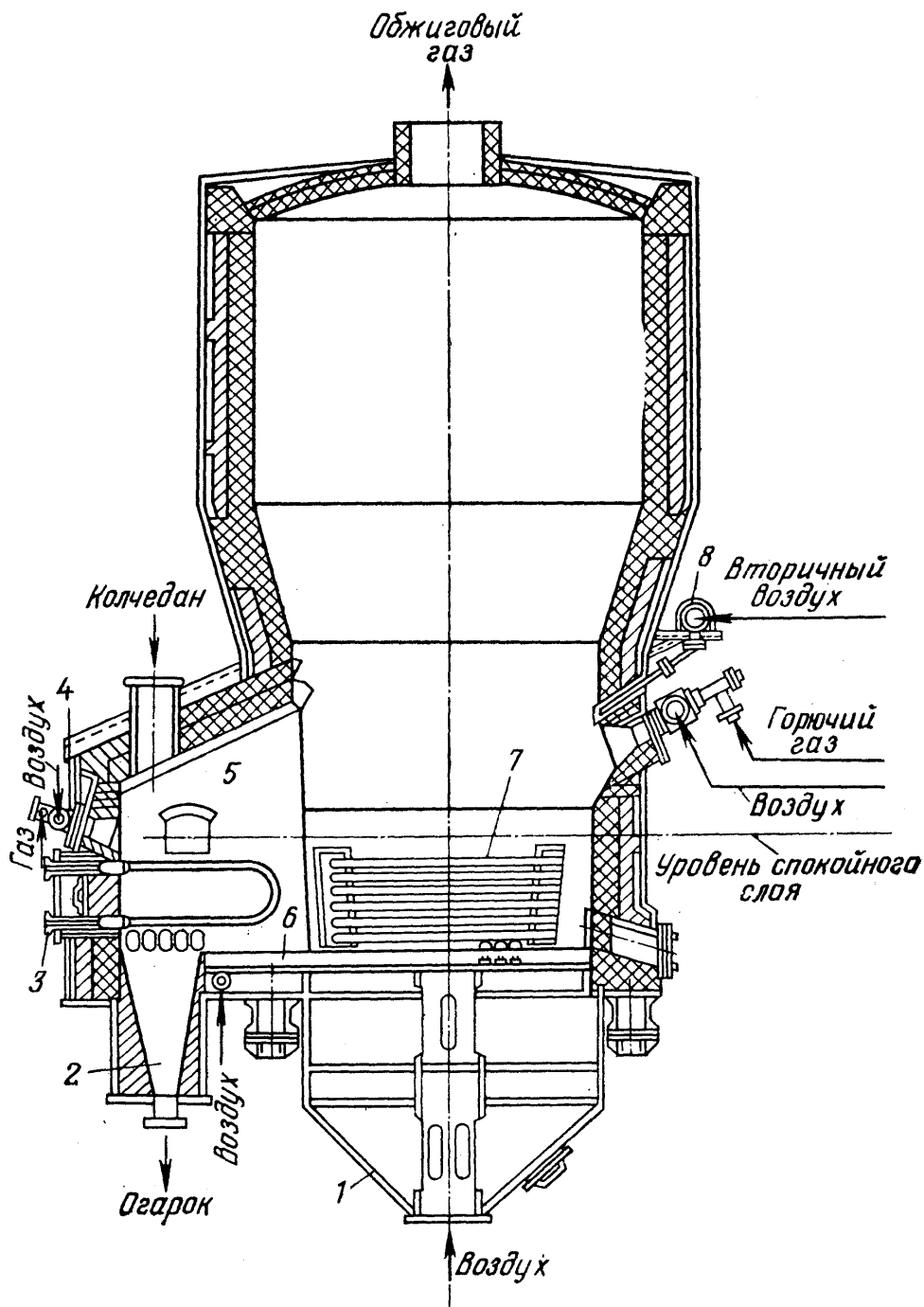


Рисунок 2 - Печь для выпалу колчедану

1- конус, 2- бункер, 3,7-охлаждающие элементы, 4- форсунка, 5- завантажувальна камера, 6- повітророзподільні ґрати, 8- колектор.

У нижній частині печі розташована дутева безпровальна подина грибкового типу. Печь забезпечена пристроями для завантаження колчедана, вивантаження недогарка, пальниками для розпалювання, люками для обслуговування та ремонту. У нижньому поясі печі змонтовано вікна для встановлення охолоджуючих елементів (рис. 2).

## 2. Котел – утилізатор ДМКУ – 13/40, ДМКУ – 10/40.

Котел – утилізатор оснащений природною циркуляцією, футерований шамотною цеглою, теплоізолюваний мінеральною ватою. Котел складається з газотрубних секцій та барабана.

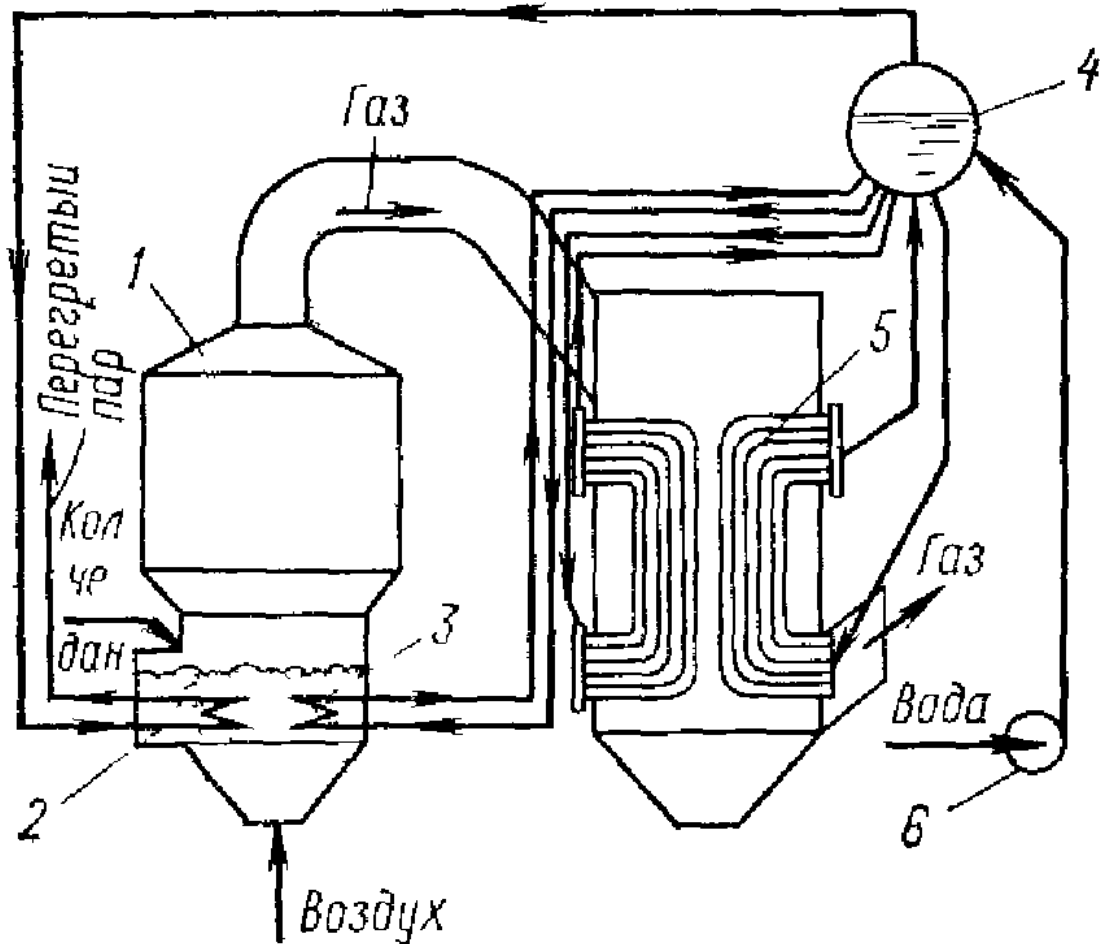


Рисунок 3 - Котел-утилізатор:

1 - піч; 2 - пароперегрівальні елементи; 3 – випарні елементи; 4 – барабан котла; 5 – випарна поверхня котла; 6 – живильний насос.

Охолодження газу відбувається у 24 випарних секціях котла ДМКУ. Газотрубна секція складається з двох колекторів (вхідного та вихідного), з'єднаних по воді вертикальними трубками. Вертикальні трубки подвійні (труба у трубі). Через внутрішню трубу діаметром 102\*6 мм проходить випалювальний газ, у міжтрубному просторі – парова емульсія. Пройшовши газотрубі секції, випалювальний газ має напрямок знизу, вгору по футерованому газоходу, прямує на мокре очищення. Барабан котла – горизонтальний циліндр  $V=12$  м<sup>3</sup>, обладнаний чотирма водовказівними колонами, люком, штуцерами для підведення поживної води, відведення пари, установки манометра, підключення приладів для вимірювання рівня та тиску.

**Циклон грубої очистки.** Є першим щаблем системи сухого очищення випалювальних газів. Призначений для виділення з газового потоку найбільших часток недогарка. Принцип дії – інерційний. У сучасних сірчаноокислотних виробництвах використовуються укрупнені конічні циклони марки СК-ЦН-34.

**Сухі електрофільтри.** Призначені для тонкого очищення випалювальних газів від пилу. Процес уловлювання полягає в іонізації газу та зарядці зважених у ньому частинок горілого пилу, який потім осаджується

на електродах. Ефективність роботи сухих електрофільтрів залежить від цілого ряду факторів: властивостей очищуваного газу і пилу, що вловлюється, концентрації пилу в випалювальному газі, швидкості газу і рівномірності його розподілу, електричних параметрів електрофільтра.

**Конвеєри із зануреними скребками.** Вони є «механічними» пристроями, що транспортують, і призначені для видалення недогарка від апаратів пічного відділення. Конвеєр є закритий металевий короб прямокутного перерізу, всередині якого рухається замкнута тяговий ланцюг зі скребками.

**Димосос СНS – 100.**

Продуктивність 50000 м<sup>3</sup>/годину. Натиск 200 м водяний стовп.

**Повітродувка** типу Е - 400 12 - 2м. Має привід від електродвигуна 60 кВт зі швидкістю обертання 2940 об/хв., напором 1900мм водяного стовпа. Корпус виготовлений із чавуну, ротор із високоякісної сталі.

**Бункер** сірки – сталевий, всередині обкладений дюралюмінієм, за винятком іскроутворення. V=15 м<sup>3</sup>. Оснащений форсунками для змочування сірки та обладнані ґратами 100\*100 мм.

**Стрічковий живильник** оснащений стрічкою 2РШ - 800 - 4 огорожений по всій довжині, привод - асинхронний двигун .

### 3. Вибір каналів керування, сигналізації та блокувань

При виборі контрольованих величин необхідно керуватися такою постановкою завдання, коли мінімальним числом регульованих і контрольованих точок процесу забезпечувалося найбільш повне уявлення про процес. Контролю підлягають насамперед ті параметри, значення яких полегшує пуск, налагодження та контроль технологічного процесу. Для здійснення найбільш оперативного управління, проведення пусконалагоджувальних робіт та забезпечення необхідних техніко-економічних показників необхідно забезпечити регулювання найважливіших параметрів процесу.

Випалювання колчедана - початкова технологічна стадія виробництва сірчаної кислоти. Особливість випалювального виробництва полягає у перетворенні вихідної рудно-хімічної сировини на проміжний продукт SO<sub>2</sub>, який у свою чергу є вже сировиною для власне хімічної та фізико-хімічної технології. Випалювальна ділянка СКП, на відміну від інших ділянок, відносно більшою мірою насичена різними механізмами, апаратами та експлуатаційним персоналом. Випалювальний агрегат включає кілька груп обладнання, що відповідають внутрішнім технологічним стадіям: механізми для транспортування, перевалки та регулювання потоків сипучої сировини та відходів (потоково-транспортна система ПТС); власне реактор киплячого шару (піч КС) з апаратами очищення газів для термохімічного процесу випалу;

Тісне поєднання численних та різних за фізичною природою ланок агрегату призводить до того, що в режимі оперативного управління стають можливими відмови механізмів та порушення режиму в випалювальному агрегаті. Ці порушення впливають і наступні стадії виробництва. Таким чином, випал є найімовірнішим джерелом збурень у циклі сірчаної кислоти виробництва і тому до режиму випалу висувуються підвищені вимоги. Для ділянок СКП це тим більше актуально, тому що між ділянками виробництва немає «розв'язувальних» ємностей і режим попередньої ділянки обумовлює роботу наступних.

**Обурюючими впливами** в обпалювальній ділянці є: подача колчедану, якість колчедану (вологість, відсотковий вміст сірки); подача повітря і подача води, витрата SO<sub>2</sub>, атмосферна температура.

**Регулювання** температури здійснюється зміною подачі колчедану. Підтримка сірки у зваженому стані регулюється подачею заданої кількості повітря. Тяга здійснюється відкачуванням повітря нагнітачем розташованим у кислотному цеху. Регулювання тяги здійснюється регулювання потоку пічного газу на виході з пічного відділення за електрофільтром. Регулювання температури газу на виході з котла утилізатора здійснюється зміною подачі води, що охолоджує.

**Контрольовані** точки процесу вибрані в тих місцях, у яких необхідно контролювати параметри для запобігання аварійним ситуаціям і для коригування регульованих параметрів. Температура киплячого шару в зоні випалу, температура і тиск газів, що відходять після печі, після котла

утилізатора, після електрофільтра і тиск після циклону; температура та тиск охолоджуючої води в барабані котла; тиск природного газу під час розігріву; об'ємна витрата повітря та тиск повітря;

У цьому процесі сигналізації підлягають значення одного з параметрів, що вийшли за допустиму межу,

Звуковим сигналом повідомляється персонал про аварійну ситуацію.

Блокування підлягає включенню двигуна стрічкового живильника за відсутності тиску повітря.

### **3.1 Вибір регульованих алгоритмів управління**

1 Так як температура газу, що виходить з печі, не повинна перевищувати 9500С вибирається датчик термопара. У зв'язку з тим, що значення температури необхідно ввести мікроконтролер, необхідний нормуючий перетворювач. На виході нормуючого перетворювача уніфікований струмовий сигнал (від 0 до 5 мА). Вихідний сигнал перетворювача безпосередньо передається на вхід мікроконтролера. Інформація про температуру вихідного пічного газу мікроконтролером порівнюється із завданням, мікроконтролер змінює значення струмового виходу (від 0 до 5мА) перетворювача частоти, що надходить на вхід. У свою чергу, при зміні вхідного сигналу на перетворювачі частоти (від 0 до 5 мА) змінюються обороти двигуна (від 500 до 2400об/хв). Двигун через редуктор з'єднаний зі стрічковим транспортером, що подає сірку в піч,

2 Для оптимального протікання технологічного процесу випалу, необхідно підтримувати сірку в печі у зваженому стані в ході окислення сірки - тому необхідно підтримувати постійну різницю тисків на вході і виході з печі. Перепад тисків повітря комової сірки, що створюється у зваженому стані при проходженні повітряного потоку, що нагнітається, повітряного потоку подається на перетворювач. Його вихідний сигнал (електричний уніфікований сигнал (від 0 до 5 мА)) надходить на вхід мікроконтролера, поточне значення перепаду тиску, що створюється, «киплячим» шаром комової сірки мікроконтролер порівнює із завданням. Якщо значення перепаду тиску нерівно заданому, мікроконтролер змінює значення вихідного значення, що надходить електропневматичний перетворювач. У свою чергу змінюється вихідне значення тиску на виході перетворювача, що подається на виконавчий механізм. Він встановлений на повітроводі по якому в піч надходить атмосферне повітря. Зміна значення тиску на вході призведе до зміни положення регулюючого органу (шибера) і як наслідок змінюється витрата повітря. Внаслідок цього буде компенсовано відхилення перепаду тиску в печі від завдання.

3 Також для повної інформації про об'єкт необхідно, ввести в мікроконтролер поточне значення витрати повітря, що подається на окислення в піч випалу сірки. Для цього на повітроводі, яким подається атмосферне повітря, встановлений датчик діафрагма. Перепад тиску діафрагми, що створюється, при проходженні повітряного потоку подається на дифманометр.

Його вихідний електрично уніфікований сигнал надходить у мікроконтролер, де нагадується і передається через стандартний модем на центральну електронно-обчислювальну машину, де поточне значення реєструється та відображається на моніторі. САР подачі повітря при ПІ-законі регулювання забезпечує лінійність характеристики «завдання - витрата повітря», що спрощує дистанційне керування та можливе пов'язане регулювання.

4 Для забезпечення тяги, руху пічного газу з печі через котел і фільтри, необхідно вести регулювання та контроль різниці тиску на виході з печі та після електрофільтру. Регулювання перепаду тиску здійснюється зміною положення засувки, встановленої після електрофільтру. Розрядження здійснюється нагнітачем розташованому в кислотному цеху.

5 При роботі повітродувки відбувається нагрівання підшипників ковзання. Перевищення температури масла, що подається під тиском у підшипники ковзання, вище 800С може призвести до виходу з ладу повітродувки. Для контролю температури підшипників встановлений датчик температури. Сигнал з датчика подається в мікроконтролер і якщо значення температури більше за норму, мікроконтролер змінює значення вихідного значення, що надходить на електропневматичний перетворювач. У свою чергу змінюється вихідне значення тиску на виході перетворювача, що подається на виконавчий механізм. Він встановлений на маслопроводі по якому надходить масло на підшипники. Зміна значення тиску на вході призведе до зміни положення регулюючого органу і, як наслідок, змінюється витрата масла.

6 Для підтримки оптимального технологічного процесу горіння сірки температура у печі та котлі-утилізаторі підтримується на заданому рівні, та забезпечується регулюванням подачі охолодної води в барабан котла. Для контролю температури у барабані КУ встановлено датчик температури. Сигнал із датчика подається в мікроконтролер і порівнюється із заданим, і при відхиленні температури від норми мікроконтролер змінює значення вихідного значення, що надходить на електропневматичний перетворювач. У свою чергу змінюється вихідне значення тиску на виході перетворювача, що подається на виконавчий механізм. Він встановлений на водопроводі, яким вода подається в барабан КУ. Зміна значення тиску на вході призведе до зміни положення регулюючого органу і, як наслідок, змінюється витрата води.

### **3.2 Перелік точок технологічного процесу сигналізації, контролю та управління.**

Всі точки технологічного процесу, сигналізації, контролю та управління для зручності зведені до таблиці 1, де показані параметри, точки відбору з технологічного процесу, які дії необхідно робити та діапазони величин, взяті з регламенту технологічного процесу.



Таблиця 1 – Точки технологічного процесу, сигналізації, контролю та управління

№	Параметр	Точка технологічного процесу	Процес контролю, управління та регулювання	Величина
1	Температура	Верхній шар печі	Сигналізація, контроль, регулювання	900° С±20
2	Температура	Нижній шар печі	Сигналізація, контроль,	750° С±20
3	Температура	Газ SO <sub>2</sub> на виході печі	Сигналізація, контроль	850-950 ° С
4	Температура	Барабан котла	Сигналізація, контроль, регулювання	1600С±30
5	Температура	Газ SO <sub>2</sub> після КУ	Сигналізація, контроль,	440-450 ° С
6	Температура	Підшипники повітродувки	Сигналізація, контроль, регулювання	80° ±20
7	Температура	Газ SO <sub>2</sub> після ЕФ	Сигналізація, контроль,	250-280 ° С
8	Температура	Перегрітої пари	Сигналізація, контроль,	300-400 ° С
9	SO <sub>2</sub>	На виході з котла утилізатора	Сигналізація, контроль	14%±0,5
10	Розрядження	Газ SO <sub>2</sub> на виході циклону	Сигналізація, контроль	1,5...2,3кПа
11	Тиск	Повітря	Сигналізація, контроль, керування	25...33мПа
12	Тиск	Природного газу	Сигналізація, контроль, керування	0.35...0.5мПа
13	Тиск	Барабан котла	Сигналізація, контроль, керування	3,5 ... 5мПа
14	Розрядження	Газ SO <sub>2</sub> на виході з КУ	Сигналізація, контроль,	1,7...3,50кПа
15	Розрядження	Газ SO <sub>2</sub> на виході з ЕФ	Сигналізація, контроль,	1,4...2,00кПа
16	Витрата	Повітря	Сигналізація, контроль,	9000 м3/год

## 4. Вибір сучасних засобів автоматизації

Сучасні системи управління складними промисловими об'єктами будуються за ієрархічним принципом. Система вищого рівня, виходячи із загального алгоритму управління, видає команди на включення чи відключення окремих локальних об'єктів, а також здійснює вибір приватних критеріїв управління цими об'єктами. Локальні системи управління здійснюють підтримку заданих режимів як у пускових, так і в нормальних експлуатаційних умовах. Кількість регульованих параметрів окремо взятої локальної системи управління зазвичай невелика і становить один-два параметри. Якість роботи локальних систем управління багато в чому визначає стабільність та якість вихідного продукту.

У зв'язку з тим, що процеси протікають у печі з дуже великими швидкостями, треба вибирати прилади, запізнення показань яких якнайменше. Засоби автоматизації, за допомогою яких здійснюється управління процесом, мають бути обрані технічно грамотно та економічно обґрунтовано. При виборі засобів автоматизації насамперед беруть до уваги такі фактори:

1. Високу температуру об'єкта (температура пічного газу 9500С температура перегрітої пари 4400С);
2. Агресивність середовища;
3. Число параметрів, що беруть участь в управлінні, та їх фізичні та хімічні властивості;
4. Вимоги до якості контролю та регулювання;
5. Тиск вимірюваного об'єкта;
6. Відстань між технологічним об'єктом та щитом управління (порівняно не велика);
7. Точність та узгодження первинних та вторинних приладів

### 1) Вибір вимірювача концентрації SO<sub>2</sub>.

У бакалаврській роботі необхідно вимірювати концентрацію SO<sub>2</sub>, межу вимірювання 13,5-16%. Для цього застосовано спеціалізований газоаналітичний комплекс СГК-17. Призначений для аналізу сірчистого ангідриду SO<sub>2</sub> у газах, що відходять печей випалу концентратів, спалювання елементарної сірки, у виробництві сірчаної кислоти. Застосовується на підприємствах хімічної, нафтопереробної галузі у кольоровій металургії.



Рисунок 4 – Газоаналітичний комплекс SGK-17

Моноблочний, конструктивно закінчений виріб, що включає блок підготовки газу, спонукач витрати газу, газоаналізатор. Розміщується в пілезахищеній шафі, що обігривається, для зовнішньої установки. Типові точки контролю SO<sub>2</sub> у яких встановлюється комплекс SGK-17 газу печей КС (киплячого шару), що відходять, до очищення - контроль роботи печі, комерційний облік кількості SO<sub>2</sub>. контроль кількості SO<sub>2</sub>, що подається на контактний апарат після очищення. контроль SO<sub>2</sub> у хвостових газах. Сві технічні характеристики зведені до таблиці 2.

Таблиця 2 - Технічні характеристики

Діапазон вимірювань	(0-10) (0-20) % про SO <sub>2</sub>
Вихідний сигнал	(0-5) mA або (4-20) mA
Кількість незалежних порогів сигналізації "сухі" перемикаючі контакти	2
Відображення інформації	рідкокристалічний дисплей з підсвічуванням
Напруга живлення	220 В
споживана потужність	450 ВА
Ступінь захисту від впливу навколишнього середовища	IP 54
Температура навколишнього повітря у місці встановлення	-40 +40 З
габаритні розміри	1000 x 800 x 300 мм

## 2) Вибір датчиків температури.

Температуру вимірюють за допомогою термометрів. Залежно від фізичних властивостей, на яких заснована дія приладів для вимірювання температури, використовують: манометричні термометри, термометри розширення, термоелектричні термометри, термометри опору і пірометри випромінювання.

Термометри розширення побудовані на принципі зміни обсягу рідини (рідинних) або лінійних розмірів твердих тіл за зміни температури.

Дія рідинних термометрів заснована на відмінності коефіцієнтів теплового розширення термометричної речовини (ртуть або спирт) та оболонки, в якій вона знаходиться (термометричне скло або кварц). Такі термометри застосовуються для місцевих вимірів у межах від  $-190$  до  $6000\text{C}$ . Їхні основні переваги – простота та висока точність вимірювання, недоліки – неможливість ремонту, відсутність автоматичного запису та передачі показань на відстань.

Робота біметалічних термометрів полягає в відмінності коефіцієнтів теплового розширення твердих тіл, у тому числі виконані чутливі елементи (Пластина чи спіральна стрічка, що з двох шарів різнорідних металів). Межі виміру таких термометрів від  $-150$  до  $+7000\text{C}$ . Вони використовуються як вимірювальні перетворювачі автоматичних систем регулювання.

Дії манометричних термометрів засновано на зміні тиску рідини (рідкісні), породісні суміші (конденсаційні), або газу (газові), що знаходяться в замкнутому об'ємі, при зміні температури. Вони використовуються для дистанційного (до 60 м) вимірювання температур у межах від  $-160$  до  $+600\text{C}$ . До переваг відноситься простота конструкції, обслуговування, можливість дистанційного вимірювання та автоматичного запису показань, до недоліків - невисока точність вимірювань, невелика відстань дистанційної передачі показань.

Термоелектричні термометри складаються з електричного перетворювача (термопари), дія якого заснована на використанні залежності термоелектрорушійної сили (ТЕДС) термопари від температури робочого спаю, якщо температура вільного спаю постійна, і вторинного приладу. При збільшенні різниці температур між робочим та вільним спаями термопари величина ТЕРС зростає. Найбільшого поширення набули такі типи термоелектричних перетворювачів.

Таблиця 2.2 термоелектричних перетворювачів та їх характеристики

Тип перетворювача		Межі вимірів
Платинородій – платина	ТПР	300 - 1600 С
Платинородій – платина	ТПП	0 - 1300 С
Хромель – алюм.	ТХА	- 50 - +1100 С
Хромель – капелеві	ТХК	-50 - +600 С
Вольфрам – реній – вольфрамренієві	ТВР	До 1800 З
- // - при короткочасному застосуванні		До 2500 С

Для вимірювання ТЕРС як вторинні прилади зазвичай застосовують потенціометри або мілівольтметри. У комплексі з ними термоелектричні термометри дозволяють вимірювати та реєструвати температуру з високою точністю та передавати інформацію на відстань.

Термометри опору складаються з термоперетворювача опору, дія якого ґрунтується на використанні залежності електричного опору провідників або напівпровідників від температури та вторинного приладу. Як вторинні прилади в комплексі з термометрами опору зазвичай застосовують мости і логометри.

Дія пірометрів випромінювання ґрунтується на вимірюванні інтенсивності випромінювання нагрітих тіл при зміні температури. До них відносяться: оптичні пірометри (межа вимірів від 700 до 6000 С); пірометри повного випромінювання (від 100 до 2500°С); пірометри спектрального випромінювання (колірні) – від 1400 до 2800 С. Нестача пірометрів: при вимірюванні пірометрами часткового або повного випромінювання необхідно вводити поправку з неповного випромінювання тіла, температура якого вимірюється (похибка 0,5 – 2,5%).

У хімічних виробництвах найбільшого поширення набули термометри розширення, термоелектричні термометри і термометри опору, вони мають більшу точність і менший час запізнення. Найбільш підходящий спосіб вимірювання термоелектричних термометрів т.я. використовувати термоелектричні термометри мають межу вимірювання, що задовольняє запитам, і дешевше платинових термометрів опору.

### **Вибір датчиків вимірювання температури пічного газу:**

Температура киплячого шару в зоні випалювання верхня межа 8500С

Температура верхнього шару обпалювальної печі верхня межа 9500С

Температура відпрацьованих газів після печі верхня межа 9500С

Температура відпрацьованих газів після котла утилізатора верх пр. 4500С

Температура газів після електрофільтру верх пр. 3000С

Існуючі способи вимірювання температури:

- Термометрів розширення;
- манометричними термометрами;
- пірометрами;
- термометрами опору;
- Термоелектричними термометрами.

Перші два способи не підходять через невеликі межі вимірювання, складності дистанційної передачі сигналу від місця відбору сигналу до щита оператора. Пірометри не підходять тому що вимірюване середовище газоподібне агресивне і непостійне (запиленість). Термометрами опору не можна виміряти через невелику межу виміру, а платинові дорогі. Найбільш підходящий останній спосіб, т.к. використовувати термоелектричні термометри мають межу вимірювання, що задовольняє запитам, і дешевше платинових термометрів опору. Оскільки вимірюване середовище агресивне необхідно, щоб термоперетворювач був стійкий до пар SO<sub>2</sub> при температурі

9500С. Підходящі марки стали 15Х25, 10Х17Н13М2Т або застосування термопар з керамічним покриттям

Наприклад розглянемо варіант датчика температури:

Термометр опору платиновий ТСП 001

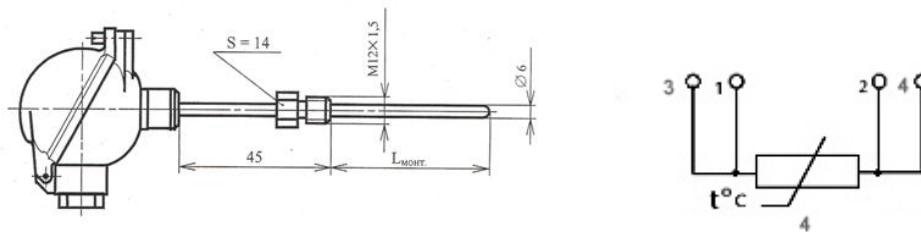


Рисунок 5 - Основні розміри термоперетворювача ТСП 001 та схема з'єднання чутливого елемента

Кріплення ТСП 001 за допомогою рухомого штуцера.

При вимірюванні температури середовищ, що рухаються, користуватися "Таблицею граничних швидкостей потоку вимірюваного середовища".

Технічні характеристики:

Нормований параметр	Значення
Діапазон вимірюваних температур, °С	0...+440
Номінальна статична характеристика перетворення	100П; Pt100; Pt500
Відношення опору при 100 °С до опору при 0 °С (W100)	1,391; 1,385
Клас допуску	A, B
Межа основної абсолютної похибки, що допускається, °С для класу А для класу В	±[0.15+0.002(t)] ±[0.30+0.005(t)]
Показник теплової інерції, з	Мод. 1,2 – 20, Мод. 3 – 10
Група вібростійкості згідно з ГОСТ 12997	N2
Робочий тиск вимірюваного середовища, МПа модель 1, 2/ модель3 з гільзою	6,3/2,0
Вимірювальний струм не більше, мА для 100П, Pt100/Pt500	3,0/1,0
Вид кліматичного виконання згідно з ГОСТ 15150	У3
Ступінь захищеності від зовнішніх впливів	IP54
Міжповірочний інтервал, років	4
Матеріал захисної гільзи	12Х18Н10Т

Розглянемо другий тип термоперетворювачів для технологічних ділянок:

Вимірювання верхнього та нижнього рівнів печі максимальна температура 9500С

Датчики УТХАВ-2088-02-900-С13-ХА(К)-4/20-0/1200-0,25

Температура на виході із печі максимальна температура 9500С

Датчик УТХАВ-2088-02-300-С13-ХА(К)-4/20-0/1200-0,25

Температура на виході з КУ та електрофільтру максимальна температура 4500С

Датчики УТХАВ-2088-02-300-С13-ХА(К)-4/20-0/600-0,25

Дані термоперетворювачі призначені для вимірювання в газових середовищах у випалювальних печах вогнетривкого виробництва.

Діапазони вимірювання: 0/1200°3,0/6000С

Матеріал – сталь 10Х17Н13М2Т,  
 частина, що занурюється - кераміка МКРЦ.  
 Конструкція розбірна із транспортним чохлам.

### Основні характеристики термоперетворювачів

Тип термоелектричного перетворювача УТХАВ-2088

Код конструктивного виконання	05
Довжина монтажної частини, L/l	1250(900)
Код класу допуску	2
Вид ізоляції гарячого спаю:	«1» – ізольований
Кількість чутливих елементів:	"1" - один ЧЕ.
Матеріал захисної арматури: Т00	10Х17Н13М2Т

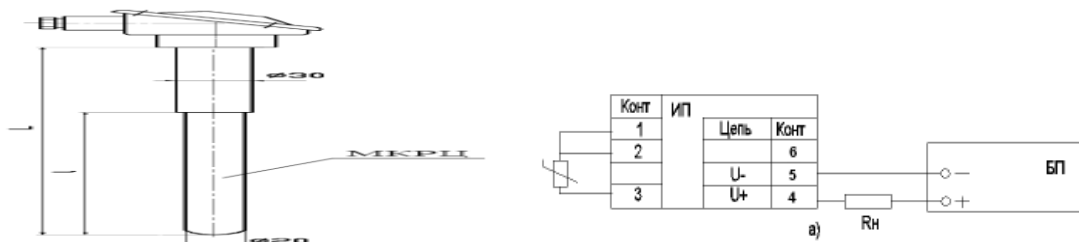


Рисунок 6 - термоперетворювач УТСП-2088-02 і схема електричних з'єднань :1 - первинний термоперетворювач (ПП) 2 - вимірювальний перетворювач (ІП), а) з вихідним сигналом 4...20 мА  $R_n = 200$  Ом-(опір навантаження)

Перший термоперетворювач не підходить, а термоперетворювачі другого типу більше підходять для даного технологічного процесу, оскільки має необхідний температурний режим і має уніфікований аналоговий вихід, який простіше узгодити з вторинним приладом і мають покриття стійке до агресивного середовища даної ділянки виробництва.

Вибираємо датчик температури для вимірювання температури пари в барабані котла (верхня межа 2000)С) і температуру перегрітої пари (верхня межа 4000С)

УТСП-1088-02-160-С10-100М-4/20-0/300-0,5 для вимірювання температури пари в барабані казана. Діапазон перетворюваних температур 0/3000С.

УТСП-1088-02-160-С10-100М-4/20-0/500-0,5 для вимірювання температури перегрітої пари. Діапазон перетворюваних температур 0/5000С.

Призначений для вимірювання температури рідин, газоподібних та сипких речовин, перетворення отриманих значень в уніфікований струмовий сигнал 0-5 мА, 4-20 мА та його дистанційної передачі.

Термоперетворювач складається з первинного термоперетворювача та вимірювального перетворювача (ІП), який розміщується у стандартній чотириклемній головці первинного термоперетворювача.

Основні характеристики термоперетворювачів  
 Позначення модифікації та виконання  
 Монтажна довжина L мм.  
 Позначення матеріалу захисної арматури: сталь  
 НСХ первинного перетворювача  
 Діапазони вихідного сигналу ма.  
 Клас точності.%

УТСП-1088-02  
 160  
 12Х18Н10Т  
 100М (ХА(К))  
 4/20  
 0,5

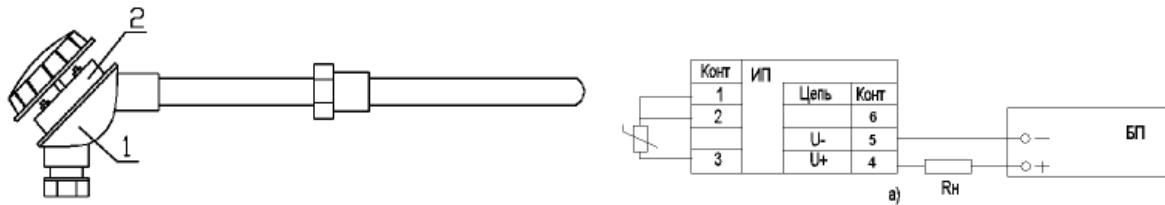


Рисунок 7 - термоперетворювач УТСП-1088-02 та схема електричних з'єднань :1 - первинний термоперетворювач (ПП) 2 - вимірювальний перетворювач (ІП), а) з вихідним сигналом 4...20 мА  $R_n = 200 \text{ Ом}$ -(опір навантаження)

Наприклад розглянемо другий варіант датчика температури:  
 Термометр опору платиновий ТСП 001. ДДЖ 2.821.000

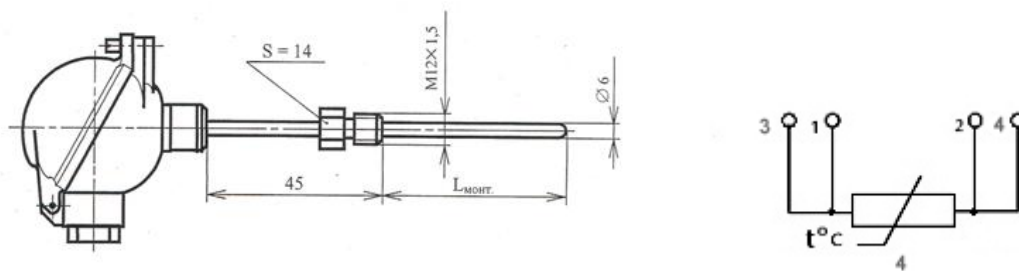


Рисунок 8 - Основні розміри термоперетворювача ТСП 001 та схема з'єднання чутливого елемента

Кріплення ТСП 001 за допомогою рухомого штуцера.

При вимірюванні температури середовищ, що рухаються, користуватися "Таблицею граничних швидкостей потоку вимірюваного середовища".

Технічні характеристики:

Нормований параметр	Значення
Діапазон вимірюваних температур, °С	0...+160
Номінальна статична характеристика перетворення	100П; Pt100; Pt500
Відношення опору при 100 °С до опору при 0 °С (W100)	1,391; 1,385
Клас допуску	А, В
Межа основної абсолютної похибки, що допускається, °С для класу А для класу В	$\pm[0.15+0.002(t)]$ $\pm[0.30+0.005(t)]$

Показник теплової інерції, з

Мод. 1,2 – 20, Мод. 3 - 10

Група вібростійкості згідно з ГОСТ 12997

N2



Робочий тиск вимірюваного середовища, МПа модель 1, 2/ модель 3 з гільзою	6,3/2,0
Вимірювальний струм не більше, мА для 100П, Pt100/Pt500	3,0/1,0
Вид кліматичного виконання згідно з ГОСТ 15150	У3
Ступінь захищеності від зовнішніх впливів	IP54
Міжповірочний інтервал, років	4
Матеріал захисної гільзи	12Х18Н10Т

Термоперетворювач УТСП-1088-02-160-С10-100М-4/20-0/300-0,5 та УТСП-1088-02-160-С10-100М-4/20-0/500-0,5 більш підходять для даного технологічного процесу оскільки мають необхідний температурний режим і має уніфікований аналоговий вихід, який простіше узгодити з вторинним приладом.

**Вибір датчика для вимірювання температури охолоджувального масла підшипників максимальна температура 800С.**

Для вимірювання температури підходить термоперетворювач опору з довгою датчика 60 мм і максимальною вимірюваною температурою 1000С.

Вибираємо термоперетворювач опору УТСМв-1088-01-60С-10-50м-4/20-0/100-0,25

#### **4) Вибір приладу для вимірювання тиску природного газу в трубопроводі газу максимальний тиск 2,5 МПа**

Виміряти тиск можна такими засобами:

- деформаційними манометрами;
- вантажопоршневими манометрами;
- Електричними манометрами.

Перший і другий спосіб не підходить через неможливість дистанційної передачі сигналу. Електричні манометри нас влаштовують у зв'язку з тим, що на виході цього типу манометрів електричний сигнал можна передати на відстань

Перший варіант датчика

Датчик тиску EJX430А – призначений для вимірювання надлишкового тиску різних середовищ: рідини, газу та пари.



Рисунок 9 - Датчик тиску EJX430А

Основні характеристики: Похибка вимірів  $\pm 0,04\%$  від шкали  
Стабільність виміру  $\pm 0,1\%$  від ВПІ (верхня межа виміру) протягом 10 років.

Технічні характеристики:

Капсула	Діапазон вимірювання, МПа	Діапазон переналаштування шкали, МПа
H	-100 ... 500кПа	0-2,5...0-500
A	-0,1 ... 3,5	0-0,0157...0-3,5
B	-0,1 ... 16	0-0,08 ... 0-16

Максимальний робочий тиск капсула H: 500 кПа  
A: 3,5 МПа  
B: 16 МПа

Вихідний сигнал 4...20 мА з функцією цифрового зв'язку за BRAIN або HART протоколом, Foundation Fieldbus.

Час відповіді 95 мсек  
Температура процесу -40...120 °C  
Температура навколишнього середовища -40 ... 85? C (без індикатора)  
-30 ... 80 ° C (з індикатором)

живлення 10,5...42 У постійного струму

Матеріал мембрана – Hastelloy C-276  
нержавіюча сталь 316L SST

Конструктивне виконання стандартне іскробезпечне: IP67  
(EExiaIICT5)

вибухонепроникне: (EExdIICT4, T5, T6)

Міжперевірочний інтервал 3 роки

Другий варіант датчика

Датчик тиску EJX530A – призначений для вимірювання абсолютного тиску різних середовищ: повітря, рідини, газу та пари.

Похибка вимірів  $\pm 0,1\%$  шкали

Стабільність виміру  $\pm 0,1\%$  від ВПІ (верхня межа виміру) протягом 10 років

Технічні характеристики:

Капсула	Діапазон вимірювання, МПа	Діапазон переналаштування шкали, МПа
A	-100 ... 200 кПа	0-8...0-200кПа
B	-1...2	0-0,04...0-2
C	-0,1 ... 10	0-0,2...0-10
D	-0,1 ... 50	0-1...0-50

Максимальний робочий тиск капсула A: 200 кПа  
B: 2 МПа  
C: 16 МПа  
D: 50 МПа

Вихідний сигнал 4...20 мА з функцією цифрового зв'язку за BRAIN або HART протоколом, Foundation Fieldbus.

Час відповіді 95 мсек  
Температура процесу -40...120 °C  
Температура навколишнього середовища -40 ... 85 0C (без індикатора)

живлення	-30 ... 80 0С (з індикатором)
Матеріал	10,5...42 У постійного струму
	мембрана – Hastelloy C-276
	нержавіюча сталь 316L SST
Конструктивне виконання стандартне	IP67
іскробезпечне:	(EExiaIICT5)
вибухонепроникне:	(EExdIICT4, T5, T6)
Міжперевірочний інтервал	3 роки

Перший датчик з капсулою А більш підходить для вимірювання тиску газу: Діапазон тиску, що вимірюється, ближчий за параметром Діапазон переналаштування шкали до 3.5МПа

**5) Вибір датчика вимірювання тиску повітря на виході з нагнітача верхня межа вимірювання 29МПа.**

Вище перераховані датчики тиску EJX430А не підходять оскільки найбільша межа вимірювання цього датчика до 16МПа, а нам необхідно вимірювати 20-29МПа.

Для цього процесу більше підходить датчик тиску EJX530А (штуцерне виконання) з капсулою D, призначений для вимірювання надлишкового, абсолютного тиску, тиску розрідження з діапазоном вимірювання до 50 МПа.



Рисунок 10 - Датчик тиску штуцерного виконання EJX530А

**6) Вибір датчика вимірювання тиску пари в барабані котла верхня межа вимірювання 4 - 4,2 МПа.**

При температурі вимірюваного середовища до 2000С. Вище перераховані датчики при установці безпосередньо на барабан не можна, оскільки температура висока. Але використання датчика із застосуванням виносних мембран моделі 1199 гранична температура становить 315°З до 260°З при прямому монтажі датчика з мембраною на подовжувачі. Виберемо датчик із запасом за температурою 30% - необхідний датчик із межею використання до 2600С.

Для даного процесу підходить датчик 3051S\_T\_5А (штуцерне виконання) з мембраною на подовжувачі, призначений для вимірювання надлишкового, абсолютного тиску з діапазоном вимірювання від 0,4 до 13,8 МПа



Рисунок 11 - Датчики тиску штуцерного виконання 3051S\_T\_0A

Виконання роздільних мембран із нержавіючої сталі 316L, Hastelloy®

Датчики тиску штуцерного виконання (з різними типами та розмірами приєднувальних різьблень), відмінно стикуються з вентиляним блоком БКН 1 виробництва ПГ "Метран".

Технічні характеристики:

Вихідний сигнал	4...20 мА
Температура процесу (з використанням подовжувача)	до 260 °С
Температура навколишнього середовища	-40 ... 85
живлення	10,5...42 У постійного струму
Конструктивне виконання стандартне:	
IP67 іскробезпечне:	ЕЕхІаІІСТ5
Вибухонепроникне:	ЕЕхdІІСТ4, Т5, Т6

**7) Вибір датчика вимірювання розрядження пічного газу після печі, після котла утилізатора, після циклону, після електрофільтра верхня межа вимірювання 0,1 – 3,5 кПа. При температурі вимірюваного середовища до 9500С.**

Вище перераховані датчики при установці безпосередньо на установці не можна, оскільки температура висока.

Можливе застосування манометра на таких температурах тільки із застосуванням спеціального охолоджуючого елемента, наприклад модель 910.24, призначеному для вимірювання тиску при температурах понад 5000С або з використанням спеціального капіляра зі спеціальною спіральною оплеткою з кислотостійкої нержавіючої сталі. Капіляри бувають різної довжини від 1м до 15м.



Рисунок 12 – Датчики тиску штуцерного виконання 3051S\_T\_0A з використанням спеціального капіляра.

Для даного процесу підходить датчик 3051S\_C\_0A (штуцерне виконання) з мембраною та із застосуванням спеціального кислотостійкого капіляра для охолодження призначений для вимірювання надлишкового, абсолютного тиску, тиску розрідження з діапазоном вимірювання від 0,1 до 5 кПа з Виконання роздільних мембран з нержавіючої сталі 316L, Hastelloy®

Датчики тиску штуцерного виконання (з різними типами та розмірами приєднувальних різьблень), відмінно стикуються з вентиляним блоком БКН 1 виробництва ПГ "Метран".

Технічні характеристики:

Вихідний сигнал 4...20 мА  
Температура процесу (з використанням подовжувача) до 1000 °С

Температура навколишнього середовища живлення -40 ... 85  
10,5...42 В

Конструктивне виконання стандартне:

IP67 іскробезпечне: EExiaIICT5  
вибухонепроникне: EExdIICT4, T5,

T6

### 7) Вибір датчика вимірювання витрати повітря

Перший спосіб вимірювання витрати повітря - Витратоміри на базі багатоточкової зосереджувальної напірної трубки Torbar і перетворювач дифф. тиску

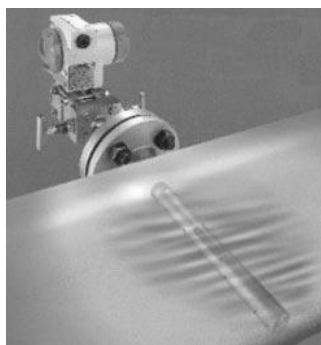


Рисунок 13 – напірна трубка, що зосереджується, Torbar

Опис: Єдина у своєму роді напірна трубка (далі - ОНТ), що осередняє,

подвійного осереднення, забезпечує прецизійну точність. Розраховані на рідину, воду із повітрям, забруднені газу, пар; не підходить тільки для двофазних рідин та для відкритих каналів (рідина не заповнює всього перерізу труби). Виготовляється із різних металів. Можливе виконання вимірювання витрати в обидві сторони. При цьому межа вимірювань зменшиться вдвічі в один бік при використанні одного дифманометра. При установці з відривом 2хДу після відведення під кутом 90° ОНТ дає точність 3.0-5.0% від ВПИ. Torbar - технологія, на якій засновані: Tribar - складається з ОНТ з тривентильним блоком та перетворювача дифф. тиску. Призначений для вимірювання об'ємних витрат. Для вимірювання масової витрати потрібні обчислювач (коректор) та додаткові вимірювання температури та тиску. Обмеження: за температурою – до 160 градусів, за абс. тиску - 300 ата; не застосовується для пари через температурні обмеження перетворювача (потрібна роздільна установка), по Ду - 15-4000. Технічні характеристики зведені у таблицю 3

Таблиця 3 – Технічні характеристики ОНТ TorBar

Матеріали: нержавіюча сталь, титан із покриттям Хастеллою, Монель 400
Точність: +/-1.0% від реальної витрати
Повторюваність: +/-0.2% від верхньої межі вимірів
мін. число Рейнольдса: 12000
Трубопроводи: Ду 15-8000, різної форми перерізу
мін. вимоги до прямолінійних ділянок: 7хДу "До" та 3хДу "Після"
Тиск вимірюваного середовища: макс. 600 ати
Температура вимірюваного середовища: до +130 °С
Максимальна в'язкість: 200 сП
Температура окр. середовища: -40...+85°(залежно від дифф. перетворювача)
Вимірювані середовища: різні види газів, включаючи димові, болотні, горючі пари (насичені, перегріті) рідини та багато іншого
Динамічний діапазон: 10:1 (100:1 за перепадом тиску) Виходи (для приладів Tribar та MassTribar): аналоговий: 4-20мА (масова витрата)
Ціна 5000 грн

Можливе збільшення кількості аналогових виходів на три канали при використанні багатопараметричних перетворювачів з HART та конвертером НІМ. цифровий: HART (витрата, температура, тиск, перепад тиску) Тип приєднання: обтискний або фланцевий (гаряча врізка під тиском - на запит)

Другий спосіб вимір Сапфір 22дд

Призначення: для перетворення на уніфікований струмовий сигнал, в т.ч. в умовах АЕС: витрати рідини, пари, газу, в т.ч. кисню (витратоміри).

Перетворювачі є ремонтпридатними виробами. Технічні характеристики зведені у таблицю 4.

Таблиця 4 – Технічні характеристики:

Вихідні сигнали, ма	0 ... 5; 4 ... 20 5 ... 0; 20...4
Живлення від зовнішніх джерел: постійного струму для перетворювачів із вихідним сигналом 4...20; 20 ... 4 мА, з сигналом 0 ... 5; 5...0 мА,	15 ... 42 36 ± 0,72
Виконання з вибухозахисту	1ExsdllIBT4/H2
Відносна вологість повітря при температурі 35°C та нижчих температурах, % для виконань УХЛ* та У* без конденсації вологи виконання ТЗ з конденсацією вологи	95 100
Ступінь захисту від впливу пилу та води	IP54
Вібростійкість, група	L3
Габаритні розміри, мм моделі 2410 інших моделей	125x223x265 125x220x215
Маса, кг, не більше моделі 2410 решти моделей	11,9 5,8
Виготовляються за	ТУ 25-02.100431-85

Другий спосіб вимірювання більш підходить для даного процесу, так як обладнання є вітчизняним, має меншу вартість, ремонтпридатне.

#### 4.1 Вибір регулюючих органів.

8) У цьому проекті необхідно регулювати частоту обертання двигуна стрічкового живильника потужність 12кВа.

Розглянемо два типи перетворювачів частоти:

##### 1 Перетворювач частоти 8200 Vector



Рисунок 14 - Перетворювачі частоти 8200 Vector

Робочі режими: закон управління - U/f лінійне, квадратичне векторне управління, глибина регулювання 1:50, здатність витримувати перевантаження 180 % від номінального моменту протягом 60 секунд. Простота експлуатації: частота інвертора: 1, 2, 4, 8, 16 кГц вихідна частота: до

650 Гц Ціна для перетворювача типу LENZE 8200 Vector ESMD153L4TXA (підключення двигунів до 15 кВа) 10600 грн.

Технічні характеристики:

Частота інвертора	1**, 2, 4, 8, 16 kHz					
Корпус	IP20					
EMC	інтегровані як стандартні (опціонально з компактним ФПП)					
Режими керування	опціонально векторний контроль, закон управління U/f - лінійний та квадратичний, регулювання моменту					
t окр. середи	-10 °С...+55 °С (40 °С...55 °С зі зниженням споживаної потужності)					
Стандартні характеристики	введення ПТК, ПІД регулятор, інтегральний гальмівний транзистор, визначення та налаштування параметрів двигуна, час сканування цифрових ввідів - 1 мс, програмовані цифрові виходи, S-glj, y, згладжена інверсія, дискретні частоти, фіксована швидкість, 4 параметри можна змінювати паролем та ін.					
Характеристики приводу 0.25-11 кВт	1.8 x Мном (60 сек), діапазон регулювання моменту 1:10 для 3...50 Гц, діапазон регулювання швидкості 1:50 з Мном (50 Гц), точність - ±0.1 Гц					
Характеристики приводу 15-90 кВт	високий пусковий момент (2.1 x Мн (3 с) після відключення регулятора), 1.8 x Мн (60 с), діапазон регулювання моменту 1:10 для 3...50 Гц, діапазон регулювання швидкості 1:50 з Мном (50 Гц) , точність – ±0.1 Гц					
Модулі	Введення/виведення – функціональні модулі	Аналог.	Аналог.в вхід	Цифрі в.	Цифрі в.	Частотн.вихід
	Стандарт-В/В ТН	1	1	4*	1	-
	Додаток-I/O РТ	2	2	6*	2	1
	* включає опціонально частотний вхід					
	модулі польової шини PROFIBUS-DP РТ, INTERBUS РТ, CAN РТ (системна шина), CAN-I/O (системна шина ТН), CAN-I/O RS РТ (системна шина), AS-Interface РТ, LECOM-B РТ (RS485)					
	Модулі автоматизації DeviceNet/CANopen, CAN, LON, LECOM-A/B (RS232/485), LECOM-LI (оптичний кабель),					
	Модулі керування клавіатура ХТ					
Стандарти	CE, UL, cUL					

Призначений для 3-фазних асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором та живленням від однофазної та трифазної мережі напругою 180...264/320...528 В. Розроблений на основі новітніх технологій та містить алгоритми, що відповідають найчастішим застосуванням: горизонтальне транспортування вантажів (конвеєри); фасувально-пакувальне обладнання; насоси та вентилятори; спеціальні машини та механізми



Основні функції перетворювача частоти 8200 SMD: пуск та регулювання швидкості двигуна; прискорення, уповільнення, зупинка; захист двигуна та перетворювача

### Трёхфазный вариант

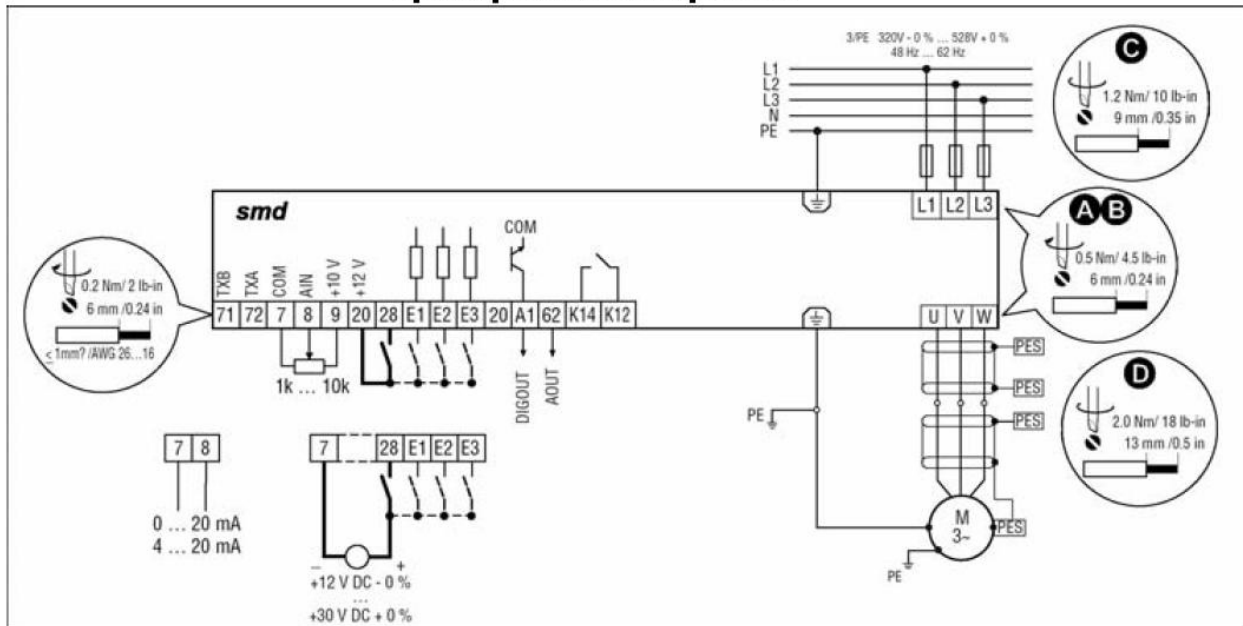


Рисунок 15 – схема підключення перетворювача.

## 2 Перетворювач частоти АПЧ-ТТПТ-25-XXX-XXX-УХЛ4 (11 кВт),



Рисунок 16 – перетворювачі серії АПЛ-ТТПТ

Технічні характеристики:

Потужність електродвигуна, що підключається, - 0,3...110 кВт;

Номинальний вихідний струм, А – 6,3(2,2 кВт); 10 (5,5 кВт); 16 (7,5 кВт); 25(11 кВт); 32(15 кВт);

Ціна для перетворювача типу АПЛ-ТТПТ-32 (підключення двигунів до 15 кВа) 8400 грн.

Робочий діапазон зміни вихідної частоти, Гц – 0,1...100 (0,1...400);

Діапазон регулювання частоти обертання валу двигуна (без урахування погіршення умов охолодження двигуна на малих частотах обертання) - 20:1

при зміні навантаження в діапазоні 0...Мном та 3:1 при зміні навантаження в діапазоні 0...1,3Мном;-

Похибка підтримання швидкості при зміні навантаження - 3% при n та 30% при 0,1 n; Допустиме струмове навантаження протягом 60 с, Імакс/Іном - 1,3;

Мережа живлення - чотирипровідна трифазна напругою 380 В (+10 до мінус 15%) частотою 48 - 63 Гц; -

ККД при фвх-50 Гц та номінальному струмі навантаження, не менше - 0,94; - Режими роботи за ГОСТ 188-74 - S1 (тривалий режим), S2 (короткочасний), S3 (повторно-короткочасний) -

Захисту - максимально-струмовий; від зникнення харчування; від збоїв програмного забезпечення; від підвищення та зниження напруги; від аварії вузла скидання енергії; час-струмовий; тепла перетворювача та двигуна; Ступінь захисту - IP00 у блочному виконанні.

Опис та призначення:

Перетворювачі частоти АПЧ серії на IGBT-транзисторах призначені для регулювання частоти обертання асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором потужністю від 0,3 до 110 кВт.

Перетворювачі АПЛ є електромеханічною системою, що включає стандартні асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором без датчика швидкості на валу і перетворювачі частоти типу "некерований випрямляч - транзисторний інвертор напруги" з мікропроцесорною системою управління. На виході перетворювача формується напруга амплітуди, що регулюється, і частоти, що подається на обмотки фаз статора двигуна, з'єднані, як правило, в зірку. Зміна амплітуди та частоти вихідної напруги виконується системою управління за певним законом, що забезпечує регулювання та підтримку на заданому рівні частоти обертання двигуна. вбудований технологічний регулятор із входами для датчиків із аналоговими сигналами 0-10 В, 4-20 мА; розширений діапазон зміни частоти вихідної напруги; широка номенклатура аналогових та дискретних вхідних та вихідних сигналів; ізольований двонаправлений послідовний канал у стандарті RS-485 для прийому керуючої та передачі статусної інформації перетворювача; багатофункціональний захист перетворювача та двигуна;

## Схема подключения преобразователя частоты АПЧ- 11(15) кВт

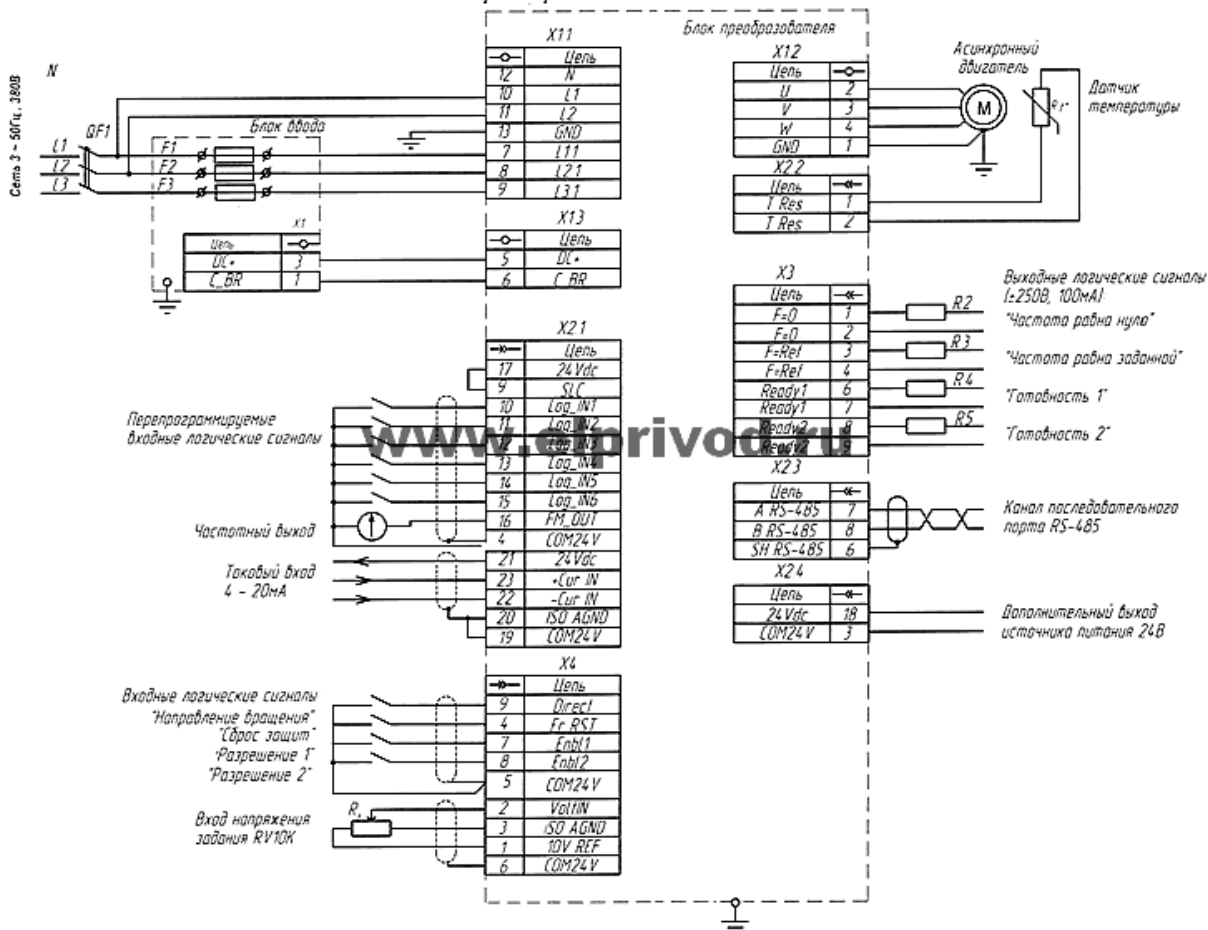


Рисунок 17 – Схема підключення перетворювача серії АПЛ-ТТПТ-25

Обидва типи перетворювачів підходять керувати двигуном дозатора, мають практично рівні параметри. Перетворювачі частоти Lenzet має велику вартість, тому вибираємо вітчизняний АПЧ-ТТПТ-32.

9) Для регулювання температури пічного газу на виході утилізатора котла застосуємо регулятор частоти обертання двигуна водяного насоса М2, що подається охолоджувальну воду в барабан котла утилізатора .



Рисунок 18 - Приклад керування насосом подачі води.

Для управління двигуном потужністю 10кВ підійде за параметрами регулятор частоти АПЧ-ТГПТ-32 (призначений для підключення асинхронних електродвигунів потужністю до 22кВ).

Регульований асинхронний електропривод дозволяє з високою надійністю та ефективністю вирішувати різні завдання автоматизації виробництва та економії електроенергії. Перетворювачі частоти (інші назви - частотний перетворювач, частотний привід, частотно-регульований привід, інвертор частоти) успішно застосовуються в промисловості для вирішення наступних завдань: енергозбереження - економія енергоносіїв у системах водо- та тепlopостачання, системах вентиляції та повітродувах до 50%; розширення можливостей технологічного обладнання: регулювання швидкості у раніше нерегульованих технологічних процесах; синхронне керування кількома двигунами від одного перетворювача; автоматизований асинхронний електропривод; заміна приводу постійного струму: - зниження витрат, пов'язаних з експлуатацією;

Області застосування перетворювачів частоти: комунальне господарство, целюлозно-паперова, деревообробна, хімічна, текстильна, харчова промисловість, кабельне та металургійне виробництво, машинобудування, верстатобудування та ін.

## Привід та перетворювач:

Привід електричний однооборотний ПЕОЗ-100-0,6-03К

Привід призначений для управління заслінками, кульовими та корковими кранами, затворами та іншою запірною арматурою, що вимагає повороту робочого органу на кут від 0 до 225°.

Привід встановлюється безпосередньо на трубопровідній арматурі та з'єднується зі штоком регулюючого органу за допомогою втулки. Робоче положення приводу – будь-яке.

Основні вузли приводу: електродвигун, планетарна передача, ручний привід, блок кінцевих вимикачів БКВ, обмежувач граничного моменту.

Блокування обертання вихідного валу відбувається за допомогою обмежувача граничного моменту або БКВ.

Блок кінцевих вимикачів БКВ забезпечує сигналізацію та (або) блокування вихідного валу приводу в крайніх або проміжних положеннях.

Обмежувач граничного моменту забезпечує відключення приводу при досягненні запірним пристроєм арматури крайніх положень (<Відкрито>, <Закрито>) або при аварійному заїданні рухомих частин арматури. Основні параметри зведено до таблиці 5.

Таблиця 5 - ОСНОВНІ ПАРАМЕТРИ ПЕОЗ-100-2,5-03К

Виконання приводу	Крутний момент на вихідному валу, Н.м		Частота обертання вихідного валу, об/хв	Повний хід вихідного валу, про. (град.)	Номінальний час повороту вихідного валу, з		Споживана потужність, не більше, Вт	Вид та розмір вихідного валу, мм
	min	max			на 90°	на 225 °		
ПЕОЗ-100-2,5-03К	60	140	0,6	0,25 (90o) або 0,63 (225o)	25	63	500	58

Кліматичне виконання – УЗ.1 за ГОСТ 15150.

Ступінь захисту – IP54 за ГОСТ 14254.

Електричне живлення - однофазне, напругою 220 або 24 В частоти 50 Гц.

Управління приводом - як безконтактне, за допомогою пускача безконтактного реверсивного ПБР-2М, так і контактне - за допомогою електромагнітного пускача (наприклад, типу ПМЛ).

Відмінні риси приводу:

Привід має блок сигналізації критичних ситуацій та граничних поворотів валу.

Обмежувач граничного моменту забезпечує можливість встановлення моменту вимикання в діапазоні від 63 до 100% максимального моменту. Відхилення моменту вимкнення не перевищує  $\pm 10\%$  від настроєного значення.

Ручний привід працює незалежно від стану електродвигуна (увімкнено або вимкнено).

Привід може бути налаштований на повний хід вихідного валу від 30 до 290<sup>о</sup> при збереженні швидкості переміщення вихідного валу.

Невеликі габаритні розміри та невелика маса.

Мікровимикачі допускають комутацію постійного струму від 5mA до 1A при напрузі до 48В, змінного струму від 20mA до 500mA при напрузі до 220В.

### Перетворювач EI-MINI-FP7

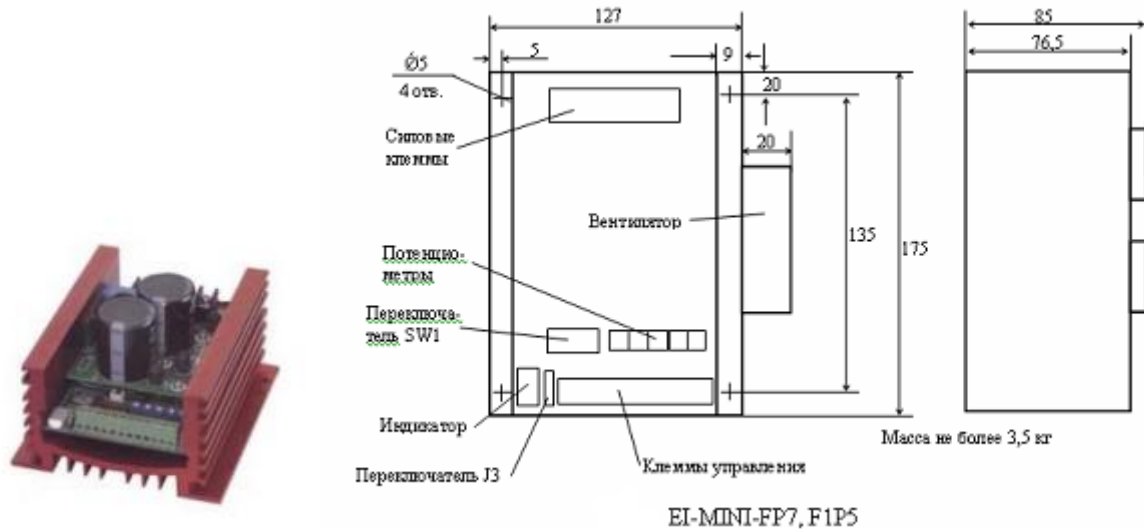


Рисунок 19 – Перетворювач EI-MINI – FP7.

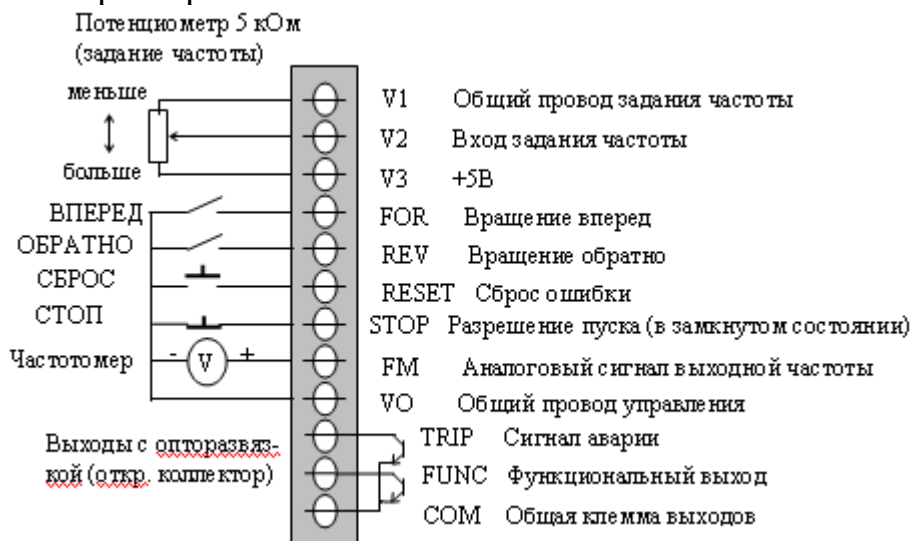


Рисунок 20 - Схема підключення ланцюгів керування у двопровідному режимі:

Функція реверсу.

2-провідне керування.

Цифровий вихід для діагностики приводу.

Постійний або змінний крутний момент характеристики U/f.

Максимальна частота – 100 Гц.

Джерело живлення +15 для зовнішніх приладів.

Зовнішні входи для керування та скидання помилки.

Електронний захист двигуна від перевантажень. Основні технічні характеристики EI-MINI-FP7 наведені у таблиці 6.

Таблиця 6 – Основні технічні характеристики EI-MINI-FP7

Характеристики	Модель EI-MINI-FP7
Напруга мережі живлення	220-240 В
Частота мережі, Гц	45-60 Hz
Вихідна потужність, кВт	0,75
Номінальний вихідний струм, А	4
Максимально допустимий струм А (150% Іном протягом 60 с)	6
Несуча частота ШІМ, кГц	16
Режими керування	2-х провідне
Режими гальмування	Плавний зупинка, інерційна зупинка або гальмування постійним струмом
Навантаження	З постійним моментом або з вентиляторною характеристикою
Ступінь захисту	IP00
Робоча температура	Від 0 до +50°C
Температура зберігання	Від - 40 до + 65 ° C
Відносна вологість	не більше 93%, відсутність конденсату
Інші умови	Відсутність горючих газів, частинок пилу, корозійних газів, мастила та агресивних речовин.

#### 4.2 Розрахунок засувки, що регулює подачу повітря

Відповідно до параметрів технологічного процесу номінальною витрата повітря на годину становить 9000 м<sup>3</sup>/годину. Для забезпечення регулювання подачі повітря в межах 0 – 10 000 м<sup>3</sup>/годину розрахуємо необхідний діаметр трубопроводу та швидкість подачі повітря:

внутрішній діаметр трубопроводу  $d$ , м:

$$d = \sqrt{\frac{Q}{0.785 \cdot v}}$$

де  $Q$ -витрата, м<sup>3</sup>/годину,  $v$  - швидкість потоку, м/с.

$$Q = 10000 \text{ м}^3/\text{год} = 2.78 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$v = 6 \text{ м/с.}$$

$$\text{тоді: } d = \sqrt{\frac{2.78}{0.785 \cdot 6}} = 0.77 \text{ м}$$

Вибираємо засувку з діаметром проходу ДК = 0,8 м.

Засувка чавунна паралельна дискова 30ч936бк DN800 характеристики якої зведено до таблиці 7.

Таблиця 7– Основні технічні характеристики засувки.

Найменування параметру	Показники
Умовний прохід Ду, мм	800
Умовний тиск Ру, кгс/см <sup>2</sup>	1,6
Робоче середовище:	Повітря та паливний газ
Температура робочого середовища, З°	до +250
Тип приєднання:	фланцеве за ГОСТ 12815-80
Тип приводу:	електропривод

Відсоток діаметра проходу від максимального, при номінальному режимі роботи – 86%

#### 4.3 Розрахунок засувки, яка регулює подачу газу для печі.

Відповідно до параметрів технологічного процесу номінальною витрата газу на годину становить 1,8 м<sup>3</sup>/годину. Для забезпечення регулювання подачі газу в межах 0 – 2 м<sup>3</sup>/годину розрахуємо необхідний діаметр трубопроводу та швидкість подачі газу:

внутрішній діаметр трубопроводу d, м:

$$d = \sqrt{\frac{Q}{0.785 \cdot v}},$$

де Q-витрата, м<sup>3</sup>/годину, v - швидкість потоку, м/с.

$$Q = 2 \text{ м}^3/\text{година} = 5,5 \times 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$$

$$v = 0,05 \text{ м/с.}$$

$$\text{тоді: } d = \sqrt{\frac{5,5 \times 10^{-4}}{0.785 \cdot 0.05}} = 0.12 \text{ м}$$

Вибираємо засувку з діаметром проходу ДК = 0,15 м.

Таблиця 8 - Засувка шлангова під електропривод 33a921p DN150

Найменування параметру	Показники
Умовний прохід Ду, мм	150
Умовний тиск Ру, кгс/см <sup>2</sup>	6
Робоче середовище:	Слабкі розчини кислот та лугів, двоокис титану, агресивні абразивні пульпи
Температура робочого середовища, З°	до +100
Тип приєднання:	фланцеве
Тип приводу:	електропривод

Відсоток діаметра проходу від максимального, при номінальному режимі роботи – 87%



#### 4.4 Склад контурів регулювання та контролю

1. Контур регулювання температури верхнього шару печі регулюванням подачі колчедана стрічковим живильником змінюючи швидкість обертання двигуна приводу.

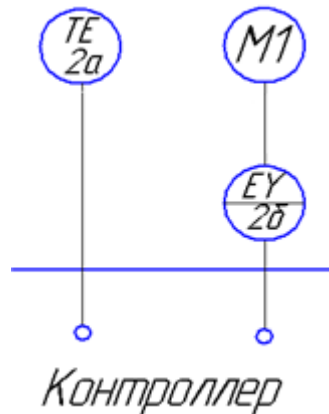


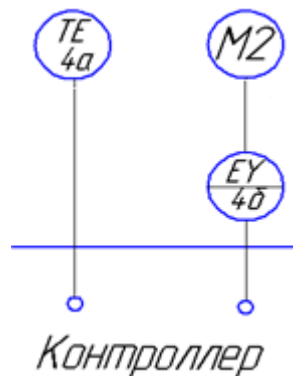
Рисунок 21 – Контур регулювання температури верхнього шару в печі регулюванням подачі колчедана стрічковим живильником

2а - термоперетворювач опору УТСП-1088-02-800/600-2-1-1-Т00

2б - перетворювач частоти АПЛ-ТТПТ-32

М1 - електродвигуни стрічкового живильника 12 кВа

2. Контур регулювання охолоджуючої води в барабані утилізатора котла зміною тиску напору водяним насосом змінюючи частоту обертання електродвигуна



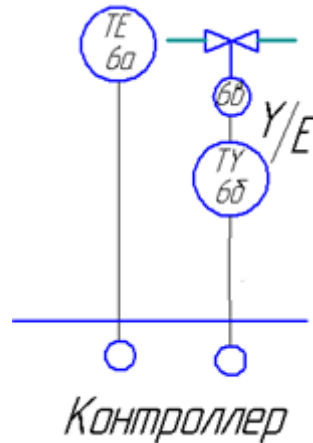
4а - термоперетворювач УТСП-1088-02-160-С10-100М-4/20-0/300-0,5

4б - перетворювач частоти АПЛ-ТТПТ-32

М2 - електродвигуни водяного насоса 10 кВа

Рисунок 22 - Контур регулювання охолоджуючої води в барабані котла утилізатора

3. Контур керування охолодженням підшипників повітродувки регулюванням подачі олії



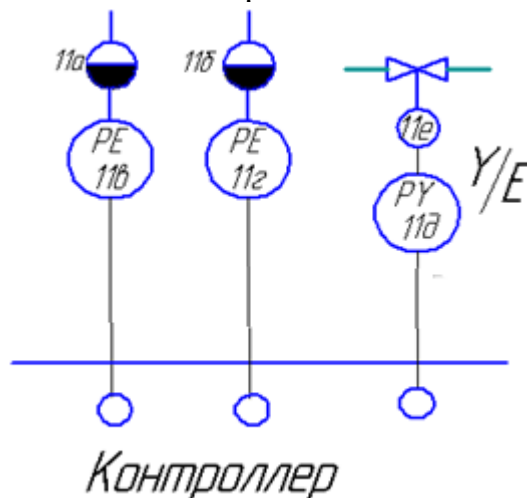
6а – термоперетворювач УТСМ-1088-01-60С-10-50м-4/20-0/100-0,25;

6б - Перетворювач EI-MINI - FP7;

6в - клапан регулюючий з електричним приводом ПЕОЗ-100-0,6-03К.

Рисунок 23 - Контур регулювання охолодження підшипників повітродувки

4. Контур підтримує сірку в печі у зваженому стані підтримуванням постійної різниці тисків на вході та виході з печі регулюванням подачі повітря.



11а – посудина роздільна

11б – Посудина роздільна з мембраною на подовжувачі

11в – Датчики тиску штуцерного виконання EJX530A

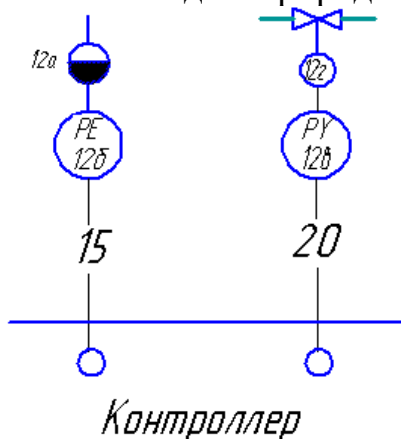
11г – Датчики тиску 3051S\_C\_0A (штуцерне виконання) з мембраною та із застосуванням спеціального кислотостійкого капіляра

11д - Привід електричний однооборотний ПЕОЗ-100-0,6-03К

11е – Перетворювач EI-MINI - FP7

Рисунок 24- Контур регулювання подачі повітря

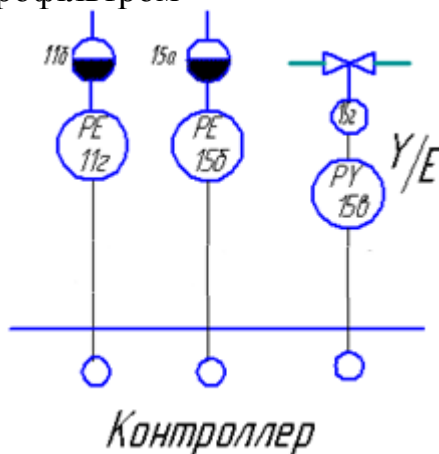
### 5. Контур регулювання подачі природного газу для розігріву печі



- 12а – посудина роздільна  
12б - датчик тиску EJX430A  
12в - електропневмоперетворювач ЕП-3111-ЩМ8;  
12г - клапан регулюючий двохсідельний з пневматичним мембранним виконавчим механізмом 25ч30нж.

Рисунок 25 - Контур регулювання подачі газу

### 6. Контур регулювання (тяги) різниці тиску пічного газу між піччю та електрофільтром

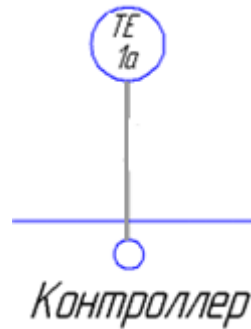


- 11б, 16а – Посудина роздільна з мембраною на подовжувачі  
11г, 15б – Датчики тиску 3051S\_C\_0A (штуцерне виконання) з мембраною та із застосуванням спеціального кислотостійкого капіляра  
15в – Перетворювач EI-MINI - FP7  
15г - Привід електричний однооборотний ПЕОЗ-100-0,6-03К

Рисунок 26 - Контур регулювання різниці тисків

### 7. Контур вимірювання температури нижнього шару печі, вимірювання температури пічного газу на виході з печі, вимірювання температури пічного газу на виході котла утилізатора, вимірювання

температури пічного газу на виході електрофільтра, вимірювання температури перегрітої пари,



1а – УТХАВ-2088-02-900-С13-ХА(К)-4/20-0/1200-0,25

3а – УТХАВ-2088-02-300-С13-ХА(К)-4/20-0/1200-0,25

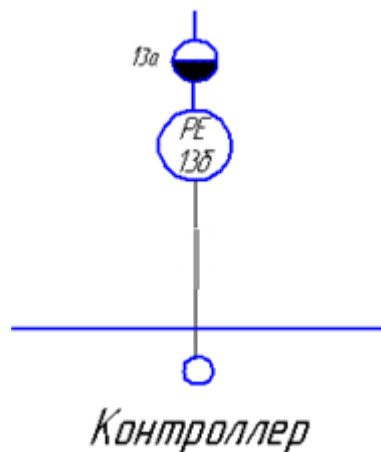
5а – УТХАВ-2088-02-300-С13-ХА(К)-4/20-0/600-0,25

7а – УТХАВ-2088-02-300-С13-ХА(К)-4/20-0/600-0,25

8а – УТСП-1088-02-160-С10-100М-4/20-0/500-0,5

Рисунок 27 – Контур вимірювання температури нижнього шару печі(1а), вимірювання температури пічного газу на виході з печі (3а), вимірювання температури пічного газу на виході котла утилізатора (5а), вимірювання температури пічного газу на виході електрофільтра (7а), вимірювання температури перегрітої пари (8а)

**8.** Контур вимірювання тиску пічного газу на виході котла утилізатора, вимірювання тиску пічного газу на виході циклону, вимірювання тиску в барабані котла



14а – Посудина роздільна з мембраною на подовжувачі;

14б – Датчики тиску 3051S\_C\_0A (штуцерне виконання) з мембраною та із застосуванням спеціального кислотостійкого капіляра

Рисунок 28 - Контур вимірювання тиску пічного газу на виході утилізатора котла (14а,14б), вимірювання тиску пічного газу на виході циклону (10а,10б), вимірювання тиску в барабані котла(13а,13б)

9. Контур вимірювання витрати повітря, що нагнітається в піч.

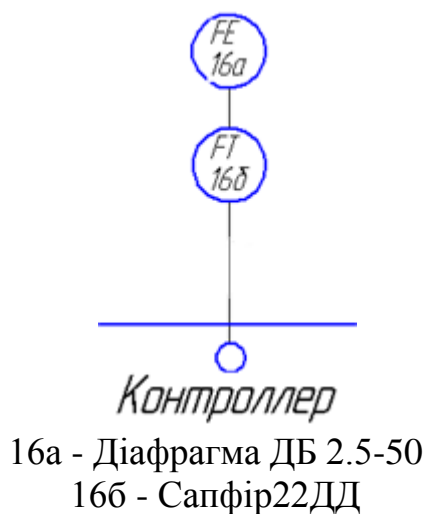


Рисунок 29 - Контур вимірювання витрати повітря, що нагнітається в піч.

10. Контур вимірювання процентного вмісту SO<sub>2</sub> у пічному газі на виході котла утилізатора

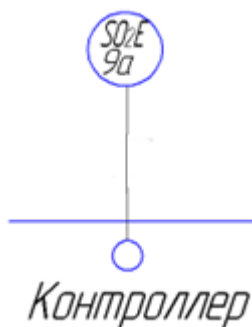


Рисунок 30 - Контур вимірювання процентного вмісту SO<sub>2</sub> у пічному газі на виході котла утилізатора

## 5 Вибір контролера та програмного забезпечення

### 5.1 Обґрунтування вибору контролера

Під час роботи над дипломним проектом було розглянуто кілька сімей програмованих контролерів різних виробників, представлених нижче.

#### 1) SCADAPack.

Це сімейство контролерів, що поєднують переваги програмованих логічних контролерів, вільно програмованих систем управління, простоту та надійність телемеханічних пристроїв. Контролери призначені для побудови розподілених систем управління та телемеханіки, що працюють у необслуговуваних умовах. Їх відмінними рисами є:

- 1) робочий температурний діапазон: від -40 до +70 ° C;
- 2) мале енергоспоживання;
- 3) великий обсяг пам'яті зберігання даних протягом 2-х років;
- 4) вбудований Ethernet, бездротовий модем, до 4-х портів RS232/485, до 1152 вх/вих.

#### 2) Програмовані контролери НІТАСНІ [4].

Вони є одними з найменших і найкомпактніших систем, що продаються по всьому світу, були розроблені з урахуванням можливості з'єднання, міжнародних стандартів і зменшення шумів ЕМС. Все це було досягнуто завдяки впровадженню найсучасніших та інноваційних складових програмованих контролерів. Завдяки розширеному набору команд, чудовим можливостям обміну даними та гарній гнучкості управління кожна серія встановлює нові стандарти у своєму класі. Система ANYBUS забезпечує сумісність із усіма стандартними системами. Дані контролери випускаються серіями, такими як, ЕС, ЕН-150, Н-Board, Н-302, Н-200 та Micro ЕН.

#### 3) SIMATIC S7-200 – сімейство мікроконтролерів SIEMENS.

Мікроконтролери SIMATIC S7-200 призначені для вирішення завдань керування та регулювання у невеликих системах автоматизації. При цьому SIMATIC S7-200 дозволяють створювати як автономні системи управління, так і системи управління, що працюють у спільній інформаційній мережі. Область застосування контролерів SIMATIC S7-200 винятково широка і простягається від найпростіших задач автоматизації, для вирішення яких у минулому використовувалися прості реле та контактори до завдань комплексної автоматизації. SIMATIC S7-200 дедалі інтенсивніше використовується під час створення таких систем управління, котрим у минулому з міркувань економії необхідно розробляти спеціальні електронні модулі.

Області застосування:

- 1) управління пакетувальними пресами;
- 2) системи очищення;
- 3) керування деревообробними верстатами;
- 4) керування автоматичними воротами;
- 5) управління ліфтами та підйомниками;

- 6) керування конвеєрними лініями;
  - 7) харчова промисловість;
  - 8) системи віддаленого контролю.
- 4) SLC 500, фірми Allen Bradley.

Завдяки своїй потужності, гнучкості та невисокій ціні контролери SLC 500 стали одними з найбільш широко застосовуваних у світі програмованих контролерів. Ці контролери для автоматизації виробництва побудовані за модульним принципом, мають можливість розширення, і велика кількість різних модулів вводу-виводу та комунікаційних модулів.

До переваг цих контролерів можна віднести:

- 1) швидкодіючі потужні процесори (64К<sup>1</sup>пам'яті);
- 2) локальні та розподілені виконання введення-виводу;
- 3) інтегровані порти Ethernet, а також опції для DeviceNet, ControlNet та інших мереж до 4096 входів та 4096 виходів.

До переваг можна віднести і той факт, що комунікаційні модулі та модулі вводу-виводу містяться в одному каркасі, що дозволяє розмістити кілька програмованих контролерів для реалізації мультипроцесорної системи.

Для виконання завдань, пов'язаних з контролем та управлінням процесом у СКП при розробці системи автоматичного регулювання (САР) було обрано сімейство контролерів фірми Allen Bradley SLC 500, виходячи з таких параметрів, як:

- 1) витрати, пов'язані на використання, освоєння та технічну підтримку контролера;
- 2) надійності, що складається з: відсутності відмов (рекламацій), затребуваності контролерів у галузях промисловості РФ, затребуваності контролерів у галузях світової економіки.
- 3) обмін даними: підтримка стандартних мережевих протоколів та форматів даних, продуктивність;
- 4) зручність роботи, тобто універсальність та наявність стандартних мов математичного опису даних та процесів.

## **5.2 Вибір проектної конфігурації контролера**

При конфігурації контролера проводиться вибір відповідного процесора, виходячи з вимог до швидкодії системи, з урахуванням рентабельності використання контролера та кількості сигналів, що надходять на нього. Вибір модулів складає основі аналізу сукупності технологічних параметрів, які впливають на протікання технологічного процесу. Список та кількість сигналів у додатку А.

Виходячи із сумарного енергоспоживання системи, вибирається блок живлення. Конфігурація контролера наведено у таблиці 5.1. А зовнішній вигляд контроллера зображено на рисунку 31.

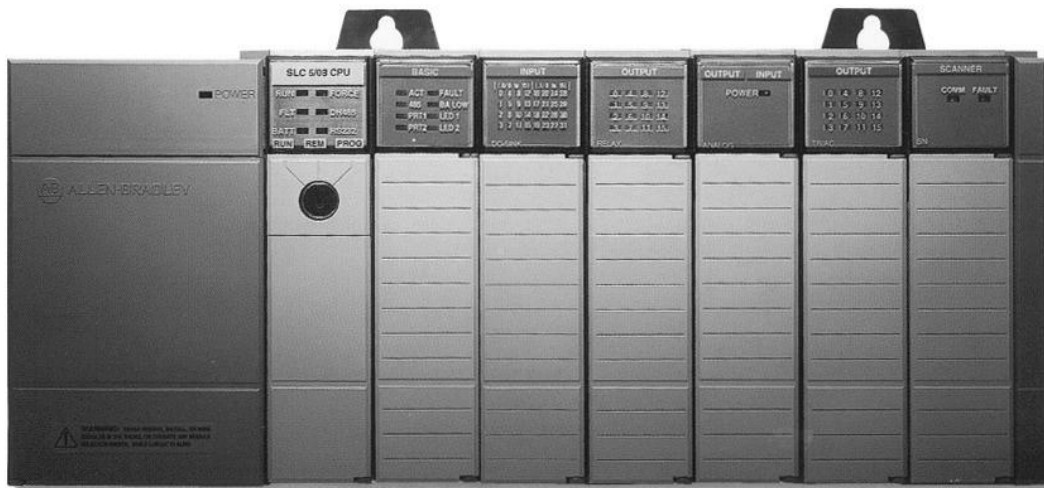


Рисунок 31 – контролер фірми Allen Bradley SLC 500

Таблиця 9 - Проектна конфігурація контролера

№ шасі	№ слота	Каталоговий номер	Джерело живлення		Опис модулів
			5В	24В	
0	0	1746-L553	1000	200	ЦП SLC 5/05
1746 – А10	1	1746-NI16I	125	75	Аналоговий вхідний 16 каналів
	2	1746-NI8I	125	75	Аналоговий вхідний 8 каналів
	3	1746-NO8I	125	75	Аналоговий вихідний 8 каналів
	4	1746-OW16	550	200	Релейний вихідний 16 каналів
	Разом	I, A	1,925	0,625	Блок живлення 1746-P2
	БП	I, A	5	0,96	
	Запас	I, A	3,075	0,335	

### Характеристики модулів

#### Характеристика процесорного модуля SLC 5/05



SLC 5/05

Малюнок 32 - процесорний модуль SLC 5/05

Процесор SLC 5/05 дає такі ж функціональні можливості, як і SLC 5/04 зі стандартними зв'язками через Ethernet. Ethernet-зв'язок виконуються зі швидкістю 10 Мб/с або 100 Мб/с



с, забезпечуючи мережі високу продуктивність під час завантаження/вивантаження програм, редагування в реальному часі та одноранговому обміні повідомленнями.

Модульні системи введення/виводу можуть бути налаштовані максимум з трьома шасі (із загальним числом слотів до 30) і з кількістю точок введення/виводу від 4 до 4096.

Таблиця 10 - Технічні характеристики модульних контролерів SLC 500 5/05

Розмір пам'яті (слів) 64К
Струм на задній шині (мА) при 5В 1000мА
Струм на задній шині (мА) при 24В 100мА
Максимальна кількість цифрових вводів/виводів 8192
Максимальна кількість локальних шасі/слотів 30
Вбудовані засоби зв'язку Ethernet та RS-232
Додатковий модуль пам'яті flash EEPROM
Програмування RSLogix 500
Інструкції програмування 107
Типовий час сканування 0.9 мс/к
Час затримки для сканування програм після втрати живлення Від 20 мс до 3 с (залежно від навантаження на джерело живлення)
Обробка біту (XIC) 0.37 мкс
Точність годин/календаря $\pm 54$ секунд/місяць при $+25^{\circ}\text{C}$ ( $+77^{\circ}\text{F}$ ) $\pm 81$ секунд/місяць при $+60^{\circ}\text{C}$ ( $+140^{\circ}\text{F}$ )

### Характеристики модулів Релейного виходу 1746-OW16

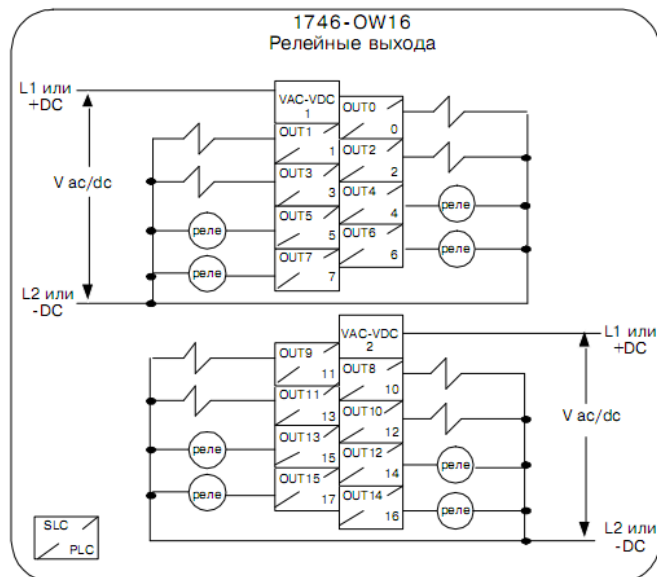


Рисунок 33 - Схема з'єднання модуля

## Характеристики контактов реле выходных модулей 1746-OW4, -OW8, -OW16

Напряжения:		Ток, А <sup>①</sup>		Непрерывный ток, А <sup>②</sup>	Мощность, VA	
		Замык	Размык		Замык	Размык
Максимальное напряжение (ac)	120	15	1.5	2.5	1800	180
	240	7.5	0.75			
Максимальное напряжение (dc)	125	0.22 <sup>③</sup>		1.0	28	
	24	1.2 <sup>③</sup>		2.0	28	

## Характеристики модулей аналоговых входов 1746-NI16I

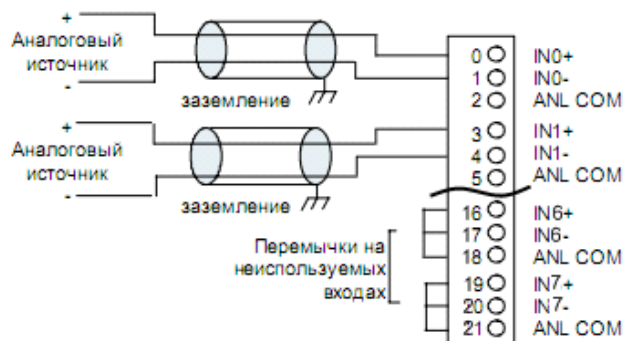


Рисунок 34 - Схема з'єднання модуля 1746-NI16I

Таблиця 11 - Технічні характеристики модулів аналогових входів 1746-NI16I

Струм на задній шині (мА) при напрузі 5В 125 мА
Струм на задній шині (мА) при напрузі 24В 75 мА
Потужність на задній шині
Максимум 2.425 Вт (0.625 Вт при 5 В dc, 1.8 Вт при 24 В dc)
Гранична напруга на ізоляції Витримує 500 В і 710 В dc протягом 1 хв.
Кількість входів 16
Роздільна здатність 16 біт
Метод аналогово-цифрового перетворення Сигма-дельта
Діапазон напруг у загальному режимі ±10.25 В на клему загального дроту аналогового сигналу (20.5 В максимум між будь-якими двома клемми сигнального дроту)
Частоти фільтрації входу
6 Гц 10 Гц 20 Гц 40 Гц 60 Гц 80 Гц 100 Гц 250 Гц
Тип входу (настроюваний)
0-20 мА ±20 мА 4-20 мА 0-1 мА
Тип даних (настроюваний) Інженерні одиниці
Масштабовані для ПІД-регулювання
Пропорційні відліки (в діапазоні від -32768 до +32767)
Пропорційні відліки (в заданому користувачем діапазоні, тільки Класу 3)
Формат даних 1746-NI4

Вхідний імпеданс 249 Ом
Максимальна вхідна напруга без пошкодження $\pm 8\text{В}$ між клемою загального дроту аналогового сигналу та будь-якою вхідною клемою
Макс. вхідний струм $\pm 30\text{ мА}$ між клемою загального дроту аналогового сигналу та будь-якою вхідною клемою
Час виявлення розмикання ланцюга Менш 5 с
Роздільна здатність входу 640 нА
Роздільна здатність дисплея 0.3%
Похибка модуля на повному робочому діапазоні температур 0.08% від верхньої межі при 25°C (77°F) 0.15% від верхньої межі при 60°C (140°F)
Температурний дрейф усунення входу 360 нА/°C
Температурний дрейф посилення 20 ppm/°C
Точність калібрування при 25°C точніше 0.15% від діапазону

### Характеристики модулів аналогових виходів 1746-N08I

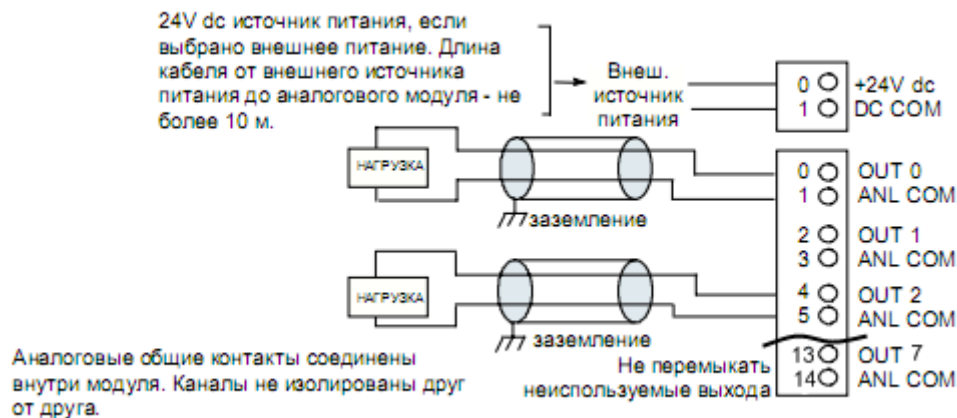


Рисунок 35 - Схема з'єднання модуля 1746-NI16I

Таблиця 12 - Технічні характеристики виходу для 8-канальних модулів 1746-N08I

Струм на задній шині (мА) при напрузі 5В 120 мА 120 мА
Струм на задній шині (мА) при напрузі 24В 250 мА* 160 мА*
Потужність на задній шині 5.6 Вт 5.6 Вт
Розсіювання тепла максимум 6.6 Вт 4.44 Вт
Гранична напруга на ізоляції 500 В dc 500 В dc
Кількість виходів 8
Тип виходу струм напруга
Діапазон виходу 0-21.5 мА $\pm 10.25\text{ dc}$
Кодування виходу (пропорційне масштабування) 0-32767 Від -32768 до +32767
Роздільна здатність 16 біт 366 нА/рахунок 16 біт 320 мкВ/рахунок
Нелінійність 0.06% від верхньої межі
Метод цифроаналогового перетворення Релейна схема R-2R
Перехідна характеристика виходу 1 мс (0-95% верхньої межі)
Час оновлення каналу (типовий)

Клас 1: 5 мс на оновлення всіх 8 каналів
Клас 3: 10 мс на оновлення всіх 8 каналів
Діапазон навантаження 0-500 Ом 1 кОм та більше
Струм навантаження Не застосовується 10 мА (максимум)
Вихідний імпеданс Більше 1 МОм Менш 1.0 Ом
Здатність перевищення
діапазону 7.5% (21.5 мА) 2.5% ( $\pm 10.25$ В)
Загальна точність 0.1% від верхньої межі при 25°C (77°F) 0.2% від верхньої межі при 0-60°C (32-140°F)
Дрейф загальної точності $\pm 33$ ppm/°C від верхньої межі (максимум)
Похибка посилення 0.08% від верхньої межі при 25°C (77°F) 0.15% від верхньої межі при 0-60°C (32-140°F)
Дрейф похибки посилення $\pm 25$ ppm/°C від верхньої межі (максимум)

### Характеристики модуля живлення 1746-P2

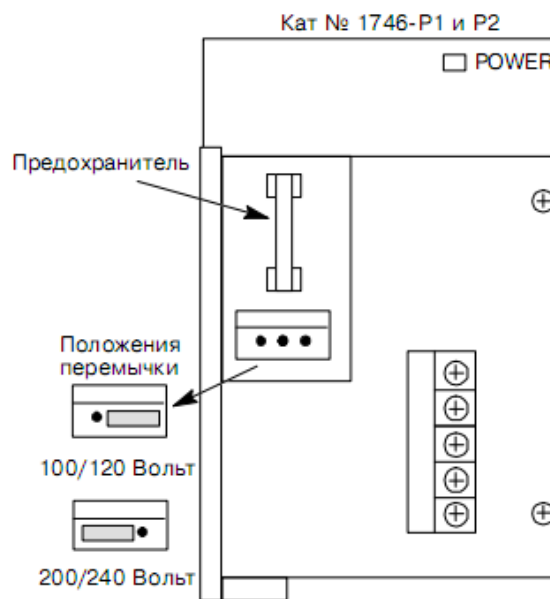


Рисунок 36 – Задня панель модуля 1746-P2

Таблиця 13 - Технічні характеристики модуля живлення 1746-P2

Номер за каталогом 1746-P2
Лінійне (мережеве) напруга 85...132/170...265 В ас, 47...63 Гц
Допустиме навантаження по струму (Ампер) при 5В 5А
Допустиме навантаження по струму (Ампер) при 24В 0,96А
Користувальне допустиме навантаження за струмом 0.2 А @ 24 В dc
Максимальний кидок струму 20А

### **5.3 Верхній рівень керування. Робоче місце оператора**

Робоче місце оператора є IBM-сумісний комп'ютер у промисловому виконанні, із встановленим програмним забезпеченням фірми Rockwell Software і мають доступом до локальної мережі підприємства, з виходом кошти виведення інформації у друкованому вигляді (принтер).

### **5.4 Опис розробленого інтерфейсу оператора та вибір системи SCADA.**

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) - це програмне забезпечення, призначене для надання інженеру допомоги у створенні в найкоротший термін надійної та швидкодіючої системи керування процесом.

Під час розробки дипломного проекту було розглянуто такі системи SCADA.

#### **1) RSView32 [6].**

Виробник RSView32, Rockwell Automation, є визнаним світовим лідером у виробництві комплексних засобів автоматизації. SCADA-система RSView32 є інтегрованим програмним забезпеченням людино-машинного інтерфейсу для збору даних, оперативного контролю та управління автоматизованими пристроями та технологічними процесами.

RSView32 є одним з компонентів комплексу засобів для візуалізації технологічних процесів ViewAnyWare. Це інтегроване, засноване на компонентах програмного забезпечення людино-машинного інтерфейсу, для контролю та управління автоматизованими пристроями та процесами. У RSView32 використовуються лише відкриті комунікаційні стандарти, що забезпечує максимально ефективний зв'язок не тільки з іншими продуктами Rockwell Software, але й з продуктами Microsoft та сторонніми програмами. RSView32 є першим програмним продуктом людино-машинного інтерфейсу, в якому повністю використовувалися переваги передових технологій компанії Microsoft для того, щоб:

- 1) відкривати графічні дисплеї RSView32 у вигляді OLE-контейнерів для елементів керування ActiveX, що дає можливість вбудовувати у власні проекти вже готові рішення, вибираючи з тисяч елементів керування ActiveX сторонніх постачальників;
- 2) розробити модель об'єкта, щоб виділити окремі частини його функціональних можливостей, що дозволяє RSView32 легко взаємодіяти з іншими програмними продуктами, що базуються на компонентах;
- 3) інтегрувати популярний Visual Basic for Applications компанії Microsoft як вбудована мова програмування, надаючи практично необмежену кількість способів налаштування та розширення проектів RSView32;

- 4) підтримувати стандартні OPC як для сервера, так і для клієнта, з метою здійснення швидкого та надійного зв'язку з безліччю апаратних пристроїв різних постачальників;
- 5) реалізувати технологію Add-On Architecture з метою розширення функціональних можливостей RSView32 та інтеграції нових властивостей у ядро RSView32.

Система RSView32 підтримує всі передові технології Windows та легко взаємодіє з більшістю апаратних платформ за допомогою OPC та DDE, а також інтегрується з іншими програмними продуктами, ефективно використовуючи технології ActiveX, VBA, OLE та ODBC.

Особливості RSView32:

- 1) інтуїтивно-зрозумілий інтерфейс для створення графічних уявлень ділянок технологічного процесу (екранів), включаючи складні графічні об'єкти, такі як тренди або звіти сигналів тривоги;
- 2) передача візуальної інформації з допомогою анімації екранів;
- 3) вбудований Visual Basic for Applications розширення можливостей RSView32;
- 4) комплекс засобів для оповіщення оператора: відстеження трендів; виявлення подій; контроль сигналів тривоги;
- 5) протоколювання даних;
- 6) високопродуктивні стандарти OPC або DDE для зв'язку з керованими пристроями;
- 7) унікальні засоби тестування та налагодження, включаючи зміну проекту в режимі on-line;
- 8) 16 рівнів захисту проекту та захисту на рівні системи.

## 2) SCADA-система iFIX виготовлена компанією Intellution.

Перша характеристика цього пакета – це надійність. Для підприємства будь-якої галузі життєво необхідна безпомилкова та безвідмовна робота систем автоматизації.

Не менш важливим є питання безболісної інтеграції системи автоматизації у існуючу інфраструктуру підприємства. Для вирішення цієї задачі в iFIX включено підтримку різних протоколів обміну даними: OPC (клієнт, сервер), OLEDB, ODBC, DDE. З їхньою допомогою також здійснюється передача виробничої інформації в архіви історичних даних та системи вищого рівня. Також для iFIX існують драйвери до багатьох програмованих контролерів.

Для критичних виробництв використовуються системи автоматизації на базі SCADA-системи iFIX із резервуванням. У таких системах всі основні функції продубльовані, наприклад, збирання технологічної інформації здійснюють два незалежні SCADA-сервери iFIX. При порушенні зв'язку з одним із них, другий продовжує виконувати свої функції. Резервування дозволяє забезпечити контроль та управління виробничими процесами в будь-яких ситуаціях.

Створення проектів в iFIX здійснюється у зручному та багатофункціональному середовищі розробки Intellution Workspace. Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, велика кількість майстрів-помічників (анімації, зафарбовування, відкриття/закриття/заміни малюнків, перемикання дискретних тегів тощо) та вбудована бібліотека об'єктів Dynamo дозволяють значно скоротити час розробки проекту та зосередити основні зусилля не на освоєнні пакету, а на реалізацію завдань, що стоять перед розробником.

До складу iFIX також включено демо-систему з прикладами проектів з різних галузей: хімічна, фармацевтична, водопостачання та дискретне виробництво. Демо-система дозволяє як швидше освоїти можливості пакета, а й використовувати ці приклади цілком або частково розробки власних систем.

Для вирішення складних або нестандартних завдань у SCADA-пакет вбудовано одну з найпоширеніших у світі мов програмування MS VBA.

Для безпечного використання об'єктів ActiveX компанія Intellution розробила технологію Secure Containment. Використання цієї технології дозволяє запобігти збою або відмови від роботи системи автоматизації при виникненні помилки в об'єкті ActiveX.

Багаторівнева система безпеки iFIX здійснює контроль доступу персоналу до системи управління та надає кожному співробітнику функції відповідно до його прав доступу.

iFIX підтримує клієнт-серверну архітектуру, що робить його гнучким засобом для побудови систем автоматизації. При цьому SCADA-сервер виконує збирання даних, їх аналіз та зберігання в архіві, генерацію тривоги, організацію диспетчерського управління. Вузли-клієнти iClient отримують всю необхідну інформацію від SCADA-серверів та реалізують функції візуалізації та диспетчерського керування.

Крім того, система управління на базі SCADA-пакету iFIX може бути побудована з використанням термінального режиму, в якому всі обчислення виконує один потужний комп'ютер, а підключені до нього термінали служать лише для введення інформації та відображення результатів.

### 3) Sitex, SCADA пакет, розроблений фірмою Jade Software [8].

Sitex - програмний пакет класу SCADA був розроблений англійською фірмою Jade Software в 1995 р. Sitex увібрав у себе сучасні теоретичні погляди на побудову SCADA-пакетів та практичний досвід роботи в галузі промислової автоматизації.

Пакет Sitex спроектований так, щоб задовольнити найвибагливіші запити в галузі моніторингу та систем управління. Цей SCADA-пакет забезпечує багато можливостей, які зазвичай відсутні у його аналогів, що базуються на ПК, і його ціна нехарактерна для пакетів реального часу, що працюють у середовищі операційних систем у стандарті POSIX. Потужністю та структурою Sitex зобов'язаний операційній системі QNX. Завдяки системі абсолютних пріоритетів, реалізованих в архітектурі мікроядра, QNX ідеальна для таких програм. Ця операційна система має власні засоби для роботи в мережі, що забезпечують швидкий зв'язок, стійкий до відмов (FLEET),

рівномірне завантаження та надмірність мережі. QNX повною мірою реалізує можливості, що надаються сучасними процесорами, так як програми у цьому середовищі працюють у захищеному режимі, повністю використовуючи 32-розрядний код. Механізм абсолютних пріоритетів QNX дозволяє вести паралельну обробку: наприклад, в одному вікні можна стежити в реальному часі за трендом на дисплеї, що відображає процес, і водночас модифікувати бази даних в онлайн-режимі.

POSIX-подібна, надійна файлова система робить дані користувача більш захищеними. Графічний інтерфейс Open Look, що забезпечується графічним середовищем QNX Windows і використовується в Sitex, полегшує його вивчення і використання. Декілька вікон можуть бути відкриті одночасно, причому всі вони будуть оновлюватися в режимі реального часу. Основу Sitex становлять кілька серверів (баз даних, введення-виводу, передісторії та швидкої передісторії) та адміністраторів (доступу, управління, повідомлень, вихідних даних).

Далі скрізь під сервером розуміється програмний компонент, а чи не окремий комп'ютер. Кожен сервер Sitex може підтримувати одночасно роботу декількох серверів введення-виводу.

У Sitex реалізовано дуже потужну систему управління тривогами, яка має 99 пріоритетів. Для числових даних контролюються значення параметра за такими рівнями: hi ("верхнє"), hi-hi (верхнє критичне), lo ("нижнє"), lo-lo (нижнє критичне), а також швидкість зміни параметра. Sitex веде багатосторінковий журнал тривог з можливістю перегляду за пріоритетом та хронологією, в який включає крім "штатних" та повідомлення по тривогах, що визначаються користувачем. Крім того, виявлені тривоги залишаються у списку до моменту підтвердження і запис проводиться у добові файли тривог/подій з автоматичною обробкою послідовностей подій.

Sitex надає тимчасові позначки записам тривог з роздільною здатністю 1 мс, проте він здатний реєструвати кілька сотень повідомлень в секунду з цією інтенсивністю. При перегляді журналу тривог вкрай корисною є можливість, натиснувши мишею на рядку тривоги, що цікавить, відразу побачити місце (на екранній формі), де ця тривога відбулася.

Оцінивши всі переваги та недоліки перерахованих SCADA-пакетів, для розробки людино-машинного інтерфейсу був обраний пакет RSView32, як найбільш доступний і надає найсучасніші та перевірені на сьогоднішній день рішення в галузі програмного забезпечення для сфер діяльності підприємств від цехів до верхнього рівня та за його межами у вигляді мережі Internet.

## **5.5 Опис програми**

Під час запуску програми інтерфейсу оператора відкривається вікно з пропозицією ввести ім'я користувача та пароль.

Програма складається з 4 вікон:

- 1) головне вікно програми;
- 2) вікно аварій;



- 3) вікно трендів;
- 4) вікно історичних трендів;

При правильному введенні пароля та імені користувача, відкривається вікно із зображенням головного екрана. На головному екрані показано весь об'єкт автоматизації повністю. У цьому вікні відображаються аварії, зміна параметрів, що вимірюються приладами. Внизу кожного вікна є меню навігації, з якого можна здійснювати перехід між екранами. Також така можливість реалізована за допомогою гарячих клавіш.

На кожному вікні відображаються вимірювані параметри та аварії. На вікні трендів є можливість відстеження зміни значень параметрів у графічному вигляді. Є можливість прокручування зображення по осях, зміни масштабу даних.

На вікні аварій фіксуються всі, що відбуваються на об'єкті аварії. Ведеться підрахунок загальної кількості аварій, також можна виставляти пріоритет, з яким аварії будуть відображатися.

Також є спливаюче вікно подій, що з'являється при виникненні аварії, до якої прив'язане це вікно (задається розробником).

Управління засувками і двигунами передбачено як автоматичне, і ручне, зміни способу завдання відсотка відкриття є спеціальна кнопка, розташована поруч із зображенням механізму.

Для виходу із системи можна натиснути кнопку в меню навігації або скористатися поєднанням клавіш Ctrl+End.

## **5.6 Розробка алгоритму керування технологічним процесом**

При першому проході програми відбувається ініціалізація аналогових вхідних модулів, спочатку 1746-NI16I, 1746-NI4 шляхом відправки на відповідні порти виведення процесора слів конфігурації, що визначають режим роботи модуля. Після ініціалізації відбувається безумовний перехід до підпрограми, що забезпечує функціонування об'єктів виробництва. У цій підпрограмі відбувається обробка даних, що надходять із датчиків, встановлених на технологічних блоках та об'єктах. Регулювання параметрів, передбачених технічним завданням, здійснюється за допомогою інструкції ПД-регулювання.

Обробка даних відбувається в такий спосіб.

За наявності команди на запуск відбувається перехід до підпрограми запуску печі, реалізованої в такий спосіб.

Включається насос M2, паралельно із цією дією відбувається запуск таймера, що використовується для визначення відмови насоса. Якщо в барабані котла тиск води не зріс до 0,5 МПа за 5 хвилин, вмикається сигнал аварії водяного насоса. При досягненні необхідного тиску в барабані котла включається насос M5, розташований в кислотному цеху для створення тяги в системі, паралельно відкривається заслінка 15г, розташована після електрофільтра, на 10% від максимуму і включається лічильник на 3 хвилини.

Через 3 хвилини вимірюється розрядження на виході з печі, на виході утилізатора котла, на виході циклону, і на виході електрофільтра. Якщо розрядження в системі (тяга) досягло необхідного за умовами запуску, починається подача газу для розігріву, паралельно з цією дією відбувається запуск таймера, що використовується для визначення відмови подачі газу. Якщо температура в нижньому шарі печі не досягла 6000С за 15 хвилин, включається сигналізація аварії подачі газу. У разі задоволення поточних технологічних параметрів печі умовам запуску (температура в печі досягла 6000С), включається повітродувка і починає обертатися двигун стрічкового живильника, паралельно з цими діями починає відкриватися вхідна засувка на повітроводі і паралельно запускається таймер, використовуваного для визначення Якщо за 5 хвилин температура киплячого шару не досягла робочої, включається сигналізація аварії в печі. Постійно вимірюється витрата повітря, дані вимірювання виводяться на дисплей, і регулюється тиск повітря, що подається. Після цього відбувається включення транспортера ланцюгового, і відключення подачі газу. У разі задоволення поточних технологічних параметрів печі умовам запуску (температура в печі досягла 6000С), включається повітродувка і починає обертатися двигун стрічкового живильника, паралельно з цими діями починає відкриватися вхідна засувка на повітроводі і паралельно запускається таймер, використовуваного для визначення Якщо за 5 хвилин температура киплячого шару не досягла робочої, включається сигналізація аварії в печі. Постійно вимірюється витрата повітря, дані вимірювання виводяться на дисплей, і регулюється тиск повітря, що подається. Після цього відбувається включення транспортера ланцюгового, і відключення подачі газу. У разі задоволення поточних технологічних параметрів печі умовам запуску (температура в печі досягла 6000С), включається повітродувка і починає обертатися двигун стрічкового живильника, паралельно з цими діями починає відкриватися вхідна засувка на повітроводі і паралельно запускається таймер, використовуваного для визначення Якщо за 5 хвилин температура киплячого шару не досягла робочої, включається сигналізація аварії в печі. Постійно вимірюється витрата повітря, дані вимірювання виводяться на дисплей, і регулюється тиск повітря, що подається. Після цього відбувається включення транспортера ланцюгового, і відключення подачі газу. паралельно з цими діями починає відкриватися вхідна засувка на повітроводі і паралельно запускається таймер, що використовується для визначення відмови стрічкового живильника. Якщо за 5 хвилин температура киплячого шару не досягла робочої, включається сигналізація аварії в печі. Постійно вимірюється витрата повітря, дані

вимірювання виводяться на дисплей, і регулюється тиск повітря, що подається. Після цього відбувається включення транспортера ланцюгового, і відключення подачі газу.

Якщо процес протікає нормально поступове збільшення температури в печі, призводить до збільшення температури пічного газу, що відходить, і збільшення температури в барабані котла. Після перевірки каналу керування температури в барабані котла на справну роботу відбувається читання та запис на згадку про дані з датчика в масштабі, призначеному для регулювання. Паралельно з цим відбувається масштабування даних у реальні величини для подальшої передачі на верхній рівень. Дані в масштабі, призначеному для регулювання, використовуються у процедурі регулювання як вхідні дані для регулюючої функції. Вироблений інструкцією керуючий вплив аналізується за допомогою функцій порівняння, і на основі отриманого результату встановлюється необхідна частота обертання двигуна водяного насоса M2,

Якщо процес протікає нормально поступове збільшення кількість газів, що відходять з печі, призводить до зростання тиску відходить пічного газу. Після перевірки каналу управління розрядження (тяги) між виходом з печі та виходом з електрофільтра на справну роботу відбувається читання та запис на згадку про дані з датчиків у масштабі, призначеному для регулювання. Паралельно з цим відбувається масштабування даних у реальні величини для подальшої передачі на верхній рівень. Дані в масштабі, призначеному для регулювання, використовуються у процедурі регулювання як вхідні дані для регулюючої функції. Вироблений інструкцією керуючий вплив аналізується за допомогою функцій порівняння, і на основі отриманого результату встановлюється необхідне положення заслінки, розташованої після електрофільтра,

Після перевірки каналу, регулювання температури подачею колчедана, на справну роботу відбувається читання та запис у пам'ять даних з датчика в масштабі, призначеному для ПІД-регулювання (вибраний при складанні слова конфігурації для модулів). Паралельно з цим відбувається масштабування даних у реальні величини для подальшої передачі на верхній рівень (НМІ - Human-Machine Interface). Дані в масштабі, призначеному для ПІД-регулювання (0 - 16383), використовуються в процедурі регулювання, як вхідні дані для ПІД-функції. Вироблене ПІД-інструкцією керуючий вплив аналізується за допомогою функцій порівняння, і на основі отриманого результату встановлюється необхідна частота обертання двигуна живильника, після чого відбувається повернення в основну програму.

Після перевірки каналу керування температури підшипників відбувається читання та запис у пам'ять даних із датчика (6а) у масштабі, призначеному для регулювання. Паралельно з цим відбувається масштабування даних у реальні величини для подальшої передачі на верхній рівень. Дані в масштабі, призначеному для регулювання, використовуються у процедурі регулювання як вхідні дані для регулюючої функції. Вироблене інструкцією керуючий вплив аналізується за допомогою функцій порівняння,

і на основі отриманого результату встановлюється необхідне положення регулятора (6в), після чого відбувається повернення до основної програми.

Після перевірки каналу управління подачі повітря відбувається читання та запис у пам'ять даних із датчика (6а) у масштабі, призначеному для регулювання. Паралельно з цим відбувається масштабування даних у реальні величини для подальшої передачі на верхній рівень. Дані в масштабі, призначеному для регулювання, використовуються у процедурі регулювання як вхідні дані для регулюючої функції. Вироблений інструкцією керуючий вплив аналізується за допомогою функцій порівняння, і на основі отриманого результату встановлюється необхідне положення регулятора (11е), після чого відбувається повернення в основну програму.

Після перевіряються канали вимірювання: температури перегрітої пари (8а), температура пічного газу після котла утилізатора (5а) та електрофільтра (7а), температура киплячого шару (1а); тиск барабан котла (13а,13б), розрядження пічного газу на виході з котла утилізатора (14а,14б) та циклону (10а,10б) відбувається читання та запис у пам'ять даних з датчиків у масштабі, призначеному для вимірювання. Паралельно з цим відбувається масштабування даних реальні величини, для подальшої передачі на верхній рівень - для виведення на дисплей. Дані використовуються оператором у процедурі ручної корекції програм регулюючих органів, і для виведення аварійної сигналізації, після чого відбувається повернення до основної програми.

Процедури підпрограми зупинки пічного відділення полягає у припиненні подачі колчедану шляхом зупинки стрічкового живильника, що призведе до догорання залишків сірки в печі. Потім при зниженні температури в печі, при якій припиняється горіння сірки, закриваються засувки і по черзі відключаються двигуни повітродувки двигуна в кислотному відділенні, двигун подачі води (після остигання барабана котла), двигун транспортера ланцюгового (після візуального припинення стоку недогарка) оператором з пульта.

Блок-схеми алгоритмів наведені на рисунку 36

## Алгоритм пуска

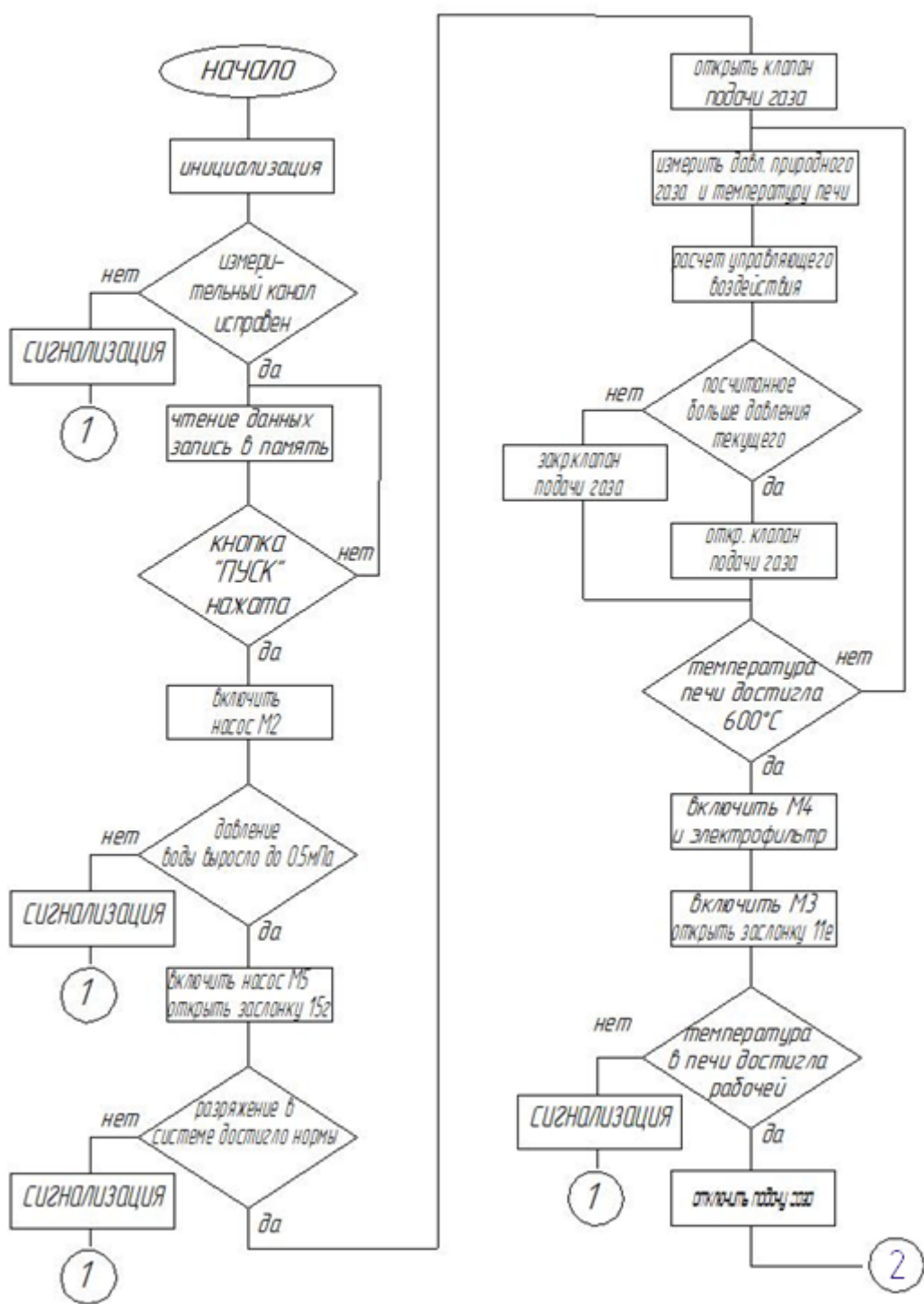


Рисунок 36 – Блок-схема алгоритму пуска системы

### Алгоритм рабочего режима

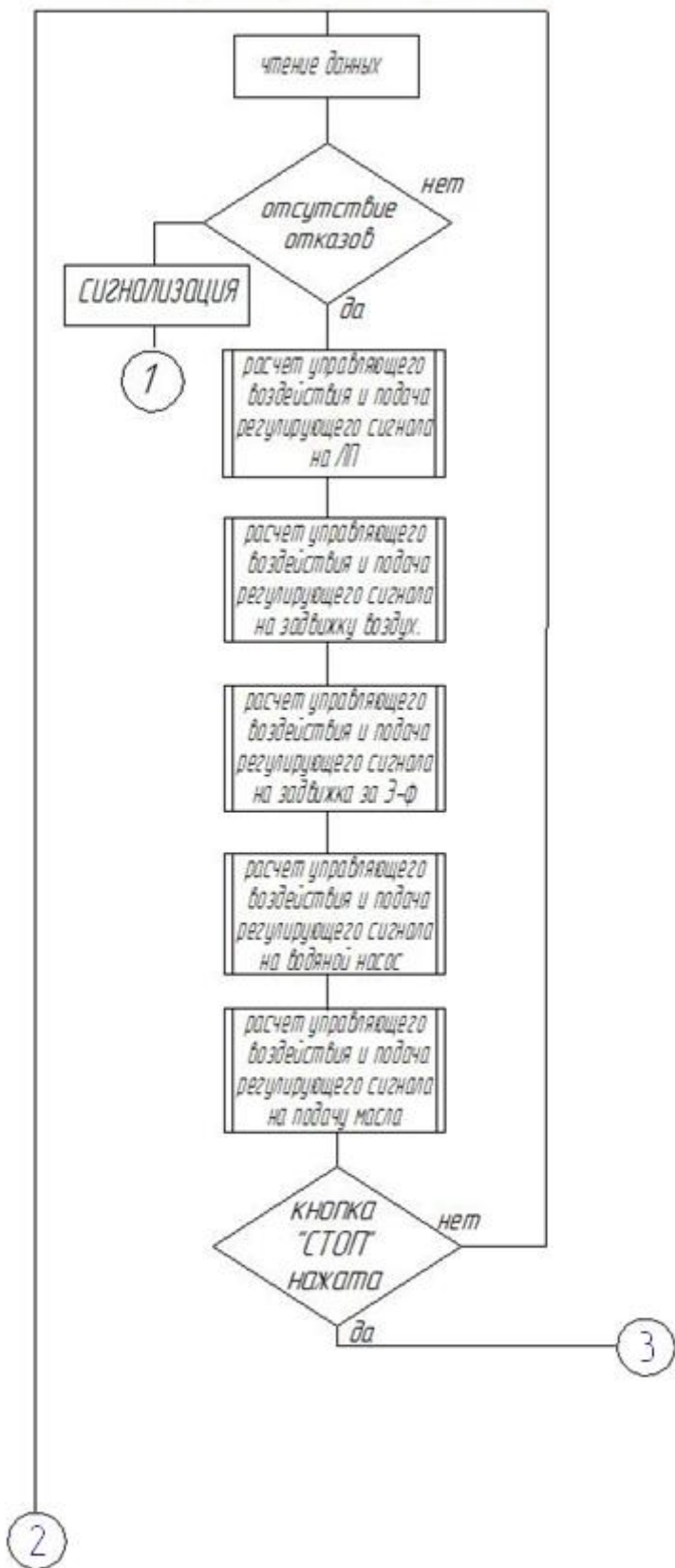


Рисунок 37 – Блок-схема алгоритму рабочего режиму.

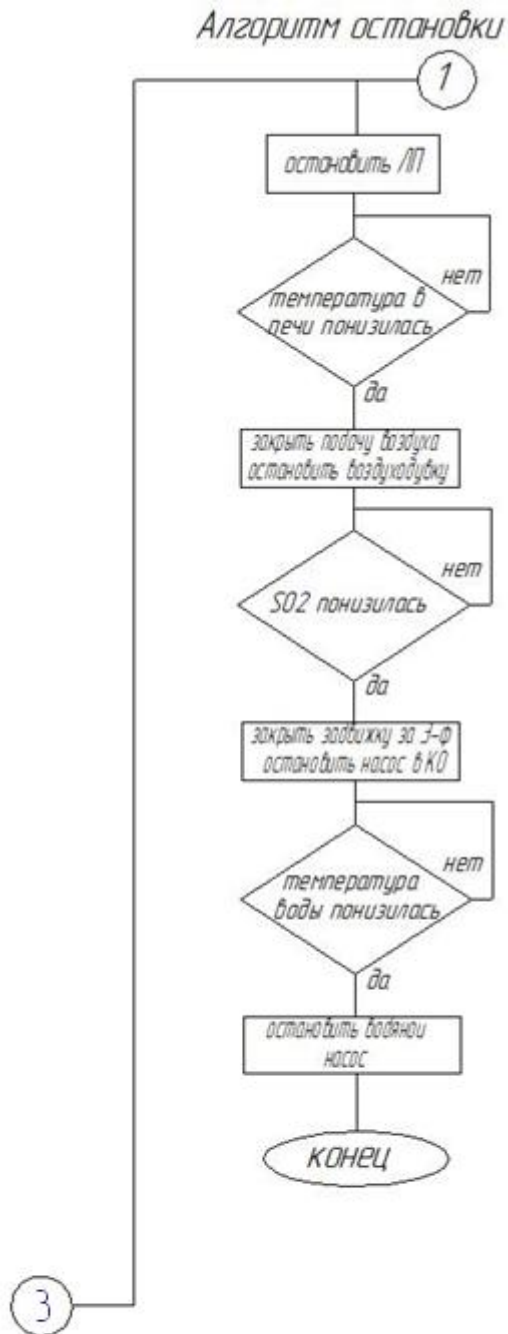


Рисунок 38 – Блок-схема алгоритму зупинки системи.

### **5.7 Вибір протоколу обміну інформацією між контролером та верхнім рівнем АСУ ТП**

Для зв'язку контролера з АРМ оператора використовують мережевий протокол Ethernet. Термінали Ethernet можуть взаємодіяти з одним або

декількома контролерами SLC 500 або MicroLogix через мережу Allen-Bradley [6].

Ethernet добре підходить для таких застосувань, коли локальні засоби комунікації повинні обробляти інтенсивний трафік за високих пікових швидкостей передачі даних.

Ethernet є мовленнєвою ЛОМ. Це означає, що всі станції бачать усі кадри, незалежно від того, призначені ці кадри для них чи ні. Кожна станція має досліджувати прийняті кадри, щоб визначити, чи вони спрямовані до неї чи ні. Якщо до неї, то кадр передається на протокол вищого рівня відповідної обробки.

Ethernet забезпечує сервіс, що відповідає рівням 1 та 2 моделі OSI. Характеристики Ethernet наводяться у таблиці 14.

Під час створення інтерфейсу оператора задіяно 269 змінних (додаток 3).

Таблиця 14 - Характеристики Ethernet

Характеристика	Значення
Швидкість передачі (Мбіт/сек)	10
Метод передачі сигналу	Вузькосмуговий сигнал
Максимальна довжина сегмента (м)	500
Носій	Коаксіальний 50-му (товстий)
Топологія	Шина



## 6. Розрахункова частина

### 6.1 Опис вихідної схеми автоматичного регулювання контуру подачі колчедану

Найбільш важливим параметром процесу пічного відділення є підтримання концентрації  $SO_2$  на виході із печі. Контур регулювання постійної концентрації  $SO_2$  пічного газу регулюванням подачі колчедану та аварійного включення резервного дозатора

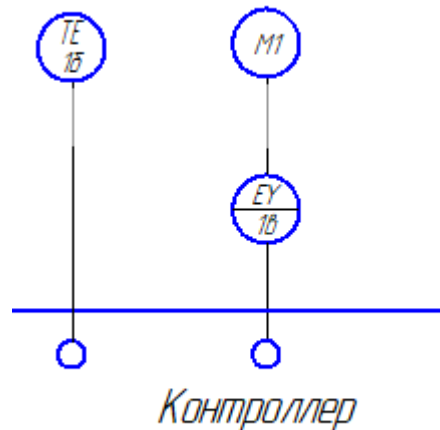


Рисунок 39 - Контур регулювання температури печі.

M1 - електродвигуни основного дозатора 12 кВа

1в – перетворювач частоти АПЛ-ТТПТ-32

1б - термоперетворювач опору УТСП-1088-02-800/600-2-1-1-Т00

Оскільки об'єкт регулювання є елементом або ланкою АСР, то властивості АСР залежать передусім властивостей об'єкта регулювання. Тому для створення працездатної АСР, що забезпечує необхідну якість регулювання, необхідно насамперед знати властивості об'єкта регулювання (статичні та динамічні).

Розглянемо визначення передавальної функції системи каскадного регулювання вагової витрати подачі колчедану в піч пилоподібного випалу з корекцією за температурою газу на виході з печі

Автоматичне регулювання температурного режиму здійснюється системою управління зі зворотним зв'язком, що виробляє вплив впливу в залежності від величини знака відхилення регульованої величини від заданого значення.

Структурна схема представлена на рисунку 40

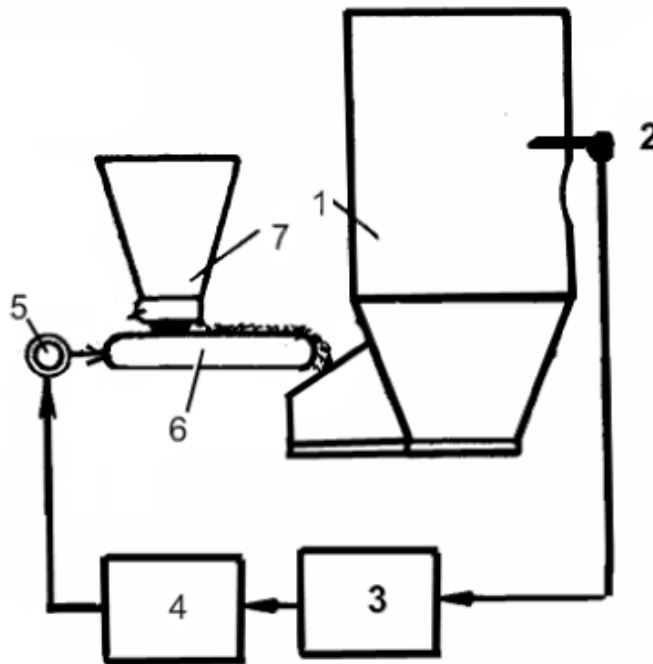


Рисунок 40 – Структурна схема досліджуваної САУ  
 1 - піч КС, 2 - датчик температури, 3 мікроконтролер, 4 - перетворювач частоти 5 - асинхронний двигун, 6 - стрічковий живильник, 7 - бункер.

Сигнал із датчика температури 2 (термопара) надходить на вхід мікроконтролера 3. У мікроконтролері сигнал термопари порівнюється із заданим і різниця цих сигналів подається на перетворювач частоти. У МК може бути сформовані П, ПІ, ПІД закони регулювання.

з перетворювача частоти напруга подається електродвигун.

## 6.2 Побудова математичної моделі об'єкта управління

Для побудови високоефективної системи управління необхідно мати опис об'єкта управління як математичної моделі. Для опису об'єктів управління, у яких відсутня залежність змінних стану, управління від просторових координат (лінійні багатовимірні системи із зосередженими параметрами), використовуються системи лінійних звичайних диференціальних рівнянь або відповідні зображення Лапласу.

Розглянемо багатовимірну лінійну систему з  $m$  – управліннями,  $l$  – обуреннями та  $k$  – входами. Модель лінійної системи із зосередженими параметрами у часовій області:

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= Ax(t) + Bu(t) + Df(t) & x(0) &= x_0 \\ y(t) &= Cx(t) \end{aligned} \quad (6.1)$$

де  $x(t)$  – вектор стану системи,  $x \in R^n$ ;

$u(t)$  – вектор управлінь (входів),  $u \in R^m$ ;

$y(t)$  – вектор виходів,  $y \in R^k$ ;

$f(t)$  – вектор обурень,  $f \in R^l$ ;

$A$  - матриця розмірності  $n \times n$ ;

$B$  – матриця розмірності  $n \times m$ ;

$D$  – матриця розмірності  $n \times l$ ;

$Z$  – матриця розмірності  $k \times n$ .

Застосовуючи перетворення Лапласа до системи, отримаємо еквівалентну модель у комплексній галузі:

$$y(s) = C\Phi(s)x_0 + C\Phi(s)Bu(s) + C\Phi(s)Df(s) \quad (6.2)$$

Або

$$y(s) = W_{y0}(s)x_0 + W_{yu}(s)u(s) + W_{yf}(s)f(s) \quad (6.3)$$

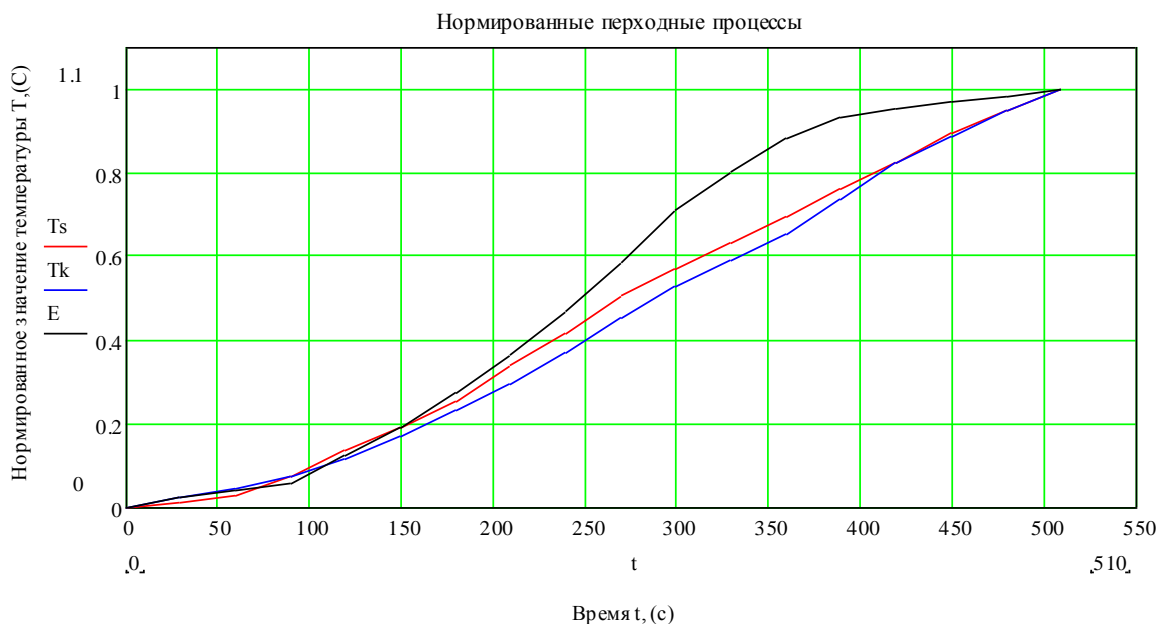
Частотне або тимчасове уявлення вибираються з міркувань зручності, тому що у разі постійних матриць  $A$ ,  $B$ ,  $C$  і  $D$  вони еквівалентні. Для побудови подібних моделей можна використовувати два шляхи: застосовувати фундаментальні фізичні співвідношення у вигляді законів збереження речовини, енергії або відновлювати параметри моделей за емпіричними даними, причому другий шлях найчастіше застосовується на практиці.

Для побудови математичної моделі об'єкта управління використовувався метод відновлення параметрів моделі за емпіричними даними.

Задані експериментальні дані кривої розгону перехідного процесу наведено у Додатку Б.

Нормування перехідних процесів проводилося в MathCAD-і за таким співвідношенням:

$$Tk_i = \frac{Tk_i - Tk_{min}}{Tk_{max} - Tk_{min}} \quad (6.4)$$



Де  $T_k$ ,  $T_s$ , – експериментальні значення температур,  $E$  – нормоване значення.

Рисунок 41 – Вказаний нормований перехідний процес

Так динаміка цих процесів збігається, то можна поліпшення заданих експериментальних даних усереднити два процесу, й у усередненого процесу шукати апроксимуючу модель об'єкта управління. Усереднений перехідний процес зображений на рисунку 40.

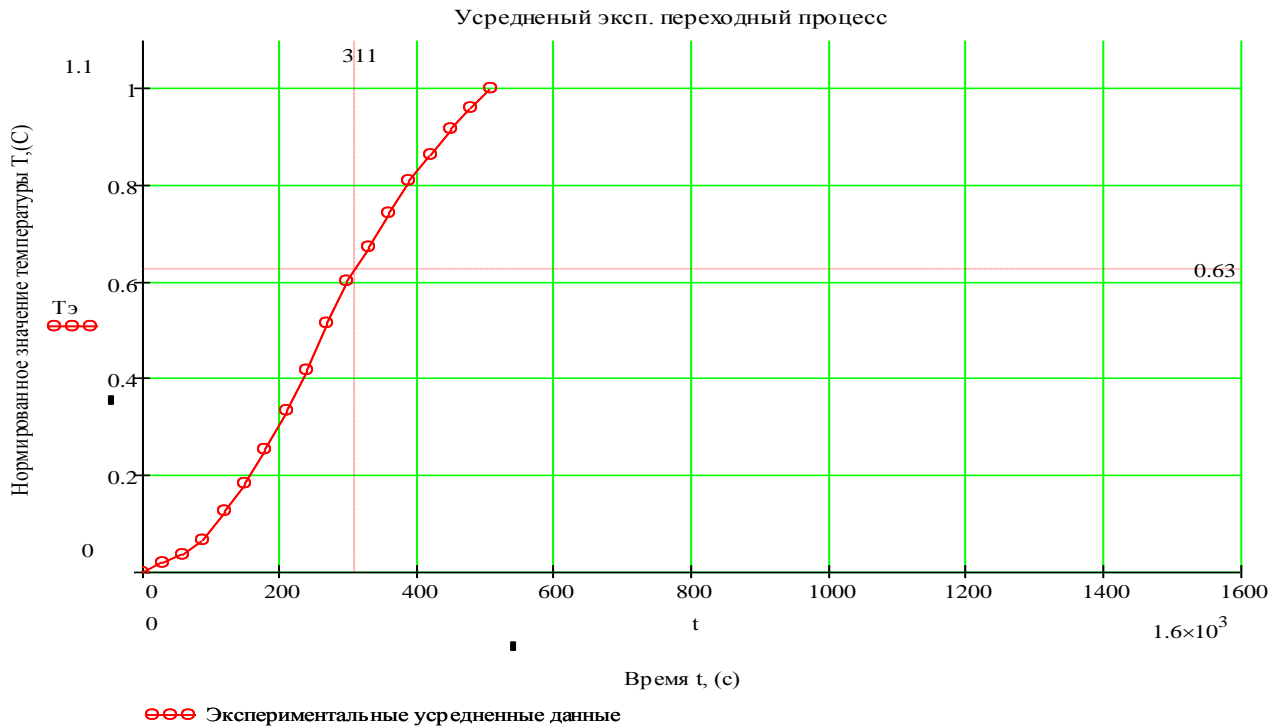


Рисунок 42 – Усредненный переходный процес

Структура апроксимуючого виразу для передавальної функції об'єкта може бути обрана у випадку:

$$W_0(s) = \frac{K_0 e^{-s\tau}}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)^q} \quad (6.5)$$

Коефіцієнт посилення об'єкта управління  $K_0$  можна знайти за статичною характеристикою. Постійні часу передавальної функції можна знайти з реакції системи на одиничний стрибок, тобто. за отриманим усередненим переходним процесом.

### 6.3 Побудова статичної характеристики

Коефіцієнт посилення об'єкта управління можна визначити за його статичною характеристикою. В результаті різних експериментів були отримані наступні результати, наведені в таблиці:

Таблиця 14

I, ма	0	0.5	0.625	0.75	0.875	1	1.125	1.25	1.375	1.5	1.625	1.75
T, °C	5	75	102.5	197.5	292.5	395	500	605	712.5	810	912.5	1000

У результаті статична характеристика має вигляд, наведений малюнку 2.3:

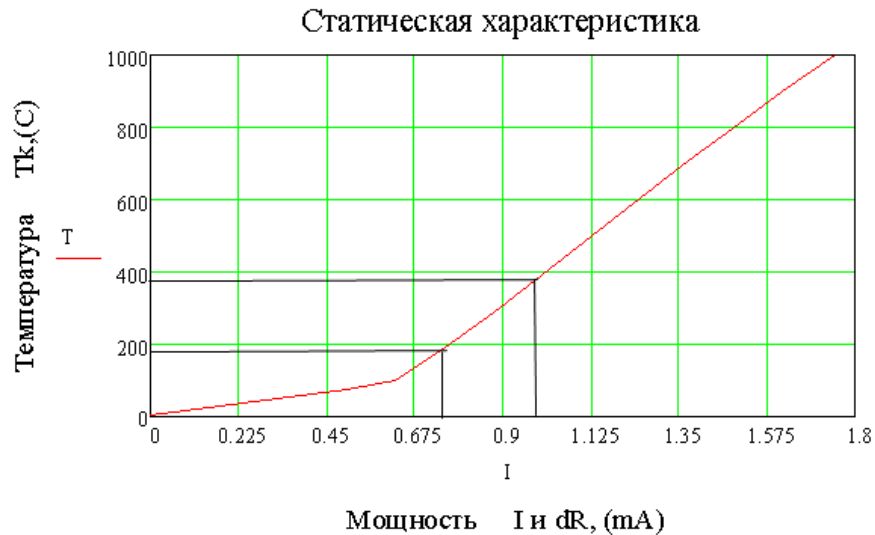


Рисунок 43 – Статична характеристика

Коефіцієнт посилення об'єкта управління визначається із співвідношення:

$$k = \frac{\Delta T}{\Delta I} = \frac{395 - 197.5}{1 - 0.75} = 790 \left( \frac{^\circ\text{C}}{\text{mA}} \right) \quad (6.6)$$

## 6.4 Сторонні математичні моделі першого порядку

При  $q=0$  отримуємо математичну модель першого порядку із запізненням:

$$W(s) = \frac{K e^{-s\tau}}{T s + 1} \quad (6.7)$$

Коефіцієнт посилення для нормованого перехідного процесу дорівнює одиниці. Постійну часу можна знайти із співвідношення:

$$h(T) = y(T) \quad (6.8)$$

$$h(t) = 1 - e^{-1T} \quad (6.9)$$

$$y(T) \approx 0.63 \quad (6.10)$$

Тобто знаходження постійної часу необхідно провести пряму лише на рівні 0.63 до перетину з графіком перехідного процесу. Оскільки експериментальний перехідний процес не є процесом першого порядку, то для його опису необхідно ввести запізнення  $\tau=61$  (рис.2.4)

$$W(s) = \frac{K_0 e^{-s\tau}}{T s + 1} \quad (6.11)$$

$$T = 311 \quad (6.12)$$

$$W(s) = \frac{e^{-61s}}{311s + 1} \quad (6.13)$$

## 6.5 Сторонні математичні моделі методом площ

При  $q=1$  та  $\tau=0$  отримуємо об'єкт другого порядку. Розрахувати постійні часу  $T1$  і  $T2$  можна за допомогою методу площ:

$$W_o(s) = \frac{K_o}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)} \quad (6.14)$$

Побудуємо математичну модель системи за допомогою методу площ:

$$\delta_i = K - T\epsilon_i \quad S = \text{cspline}(t, \delta) \quad \delta(x) = \text{interp}(S, t, \delta, x) \quad S1 = \int_0^{t_n} \delta(x) dx \quad S1 = 269.628$$

$$\gamma_i = t_i \cdot \delta_i \quad S = \text{cspline}(t, \gamma) \quad \gamma(x) = \text{interp}(S, t, \gamma, x) \quad S2 = \int_0^{t_n} \gamma(x) dx \quad S2 = 4.369 \cdot 10^4$$

Так як  $\frac{S2}{S1^2} = 0.601$  менше ніж 0.75, то метод площ застосовувати не можна, застосуємо спрощений метод площ. Спрощений метод площ:

Абсцисса точки перегіну дорівнює:  $t_n = 150$ ;

Коефіцієнт посилення:  $K = 1$ .

$$I = \int_0^{t_n} \delta(x) dx \quad I_n = \int_{t_n}^{t_r} \delta(x) dx \quad (6.15)$$

Розрахуємо значення постійних часу:

$$T1 = \frac{I_n}{-\delta(t_n)} \quad T2 = \frac{I}{K} - \frac{I_n}{-\delta(t_n)} \quad T1 = 113.553 \quad T2 = 156.075$$

## 6.6 Побудова математичної моделі методом Ротача

Проведемо в точці перегину дотичну для визначення інтервалу часу  $T_0$ , укладеного між точками перетину цієї дотичної осі абсцис і лінії значення  $h(\infty)$  перехідної характеристики. У даному випадку:  $T_0=440$ ,  $t_p=150$ ,  $h(t_p)=0,181$ .

Введемо позначення:  $b = \frac{h(t_p)}{h_\infty} = 0,181 (Q = 1)$ .

Візьмемо запізнення  $\tau=0$ , тоді отримуємо таку модель:

$$W_o(s) = \frac{K_o}{(T_1s+1)(T_2s+1)} \quad (6.16)$$

Для перебування  $T_0$  проводимо дотичну через точку перегину та знаходимо точки її перетину з рівнями 0 та 1.

Застосуємо алгоритм способу Ротача для ланки 2-го порядку, тобто.  $q=1$   
 $\tau=61$ :

$$x = 3.7 \quad \varphi(x) = \frac{x \cdot \ln(x)}{x-1} \quad F(x) = 1 - (1+x) \cdot e^{-\varphi(x)} \quad \text{Given } F(x) - b = 0$$

$$\theta = \text{Find}(x) \quad \theta = 6.32$$

Розрахуємо значення постійних часу:

$$T_1 = T_0 \cdot e^{-\varphi(\theta)} \quad T_2 = T_1 \cdot \theta \quad T_1 = 49.229 \quad T_2 = 311.131$$

Передатна функція матиме вигляд:

$$\tau = 61 \quad q = 1 \quad W_3(s) = \frac{K \cdot e^{-s \cdot \tau}}{(49.229 \cdot s + 1) \cdot (311.131s + 1)^q}$$

Перехідний процес задається формулою:

$$y_3(t) := \frac{1}{s} \cdot W_3(s) \quad \left| \begin{array}{l} \text{invlaplace, s} \\ \text{float, 2} \end{array} \right. \rightarrow \Phi(t - 61) + .75 \cdot \Phi(t - 61) \cdot \exp(-1.0 \cdot 10^{-2} \cdot t + .61) - 1.8 \cdot \Phi(t - 61) \cdot \exp(-4.3 \cdot 10^{-3} \cdot t + .26)$$

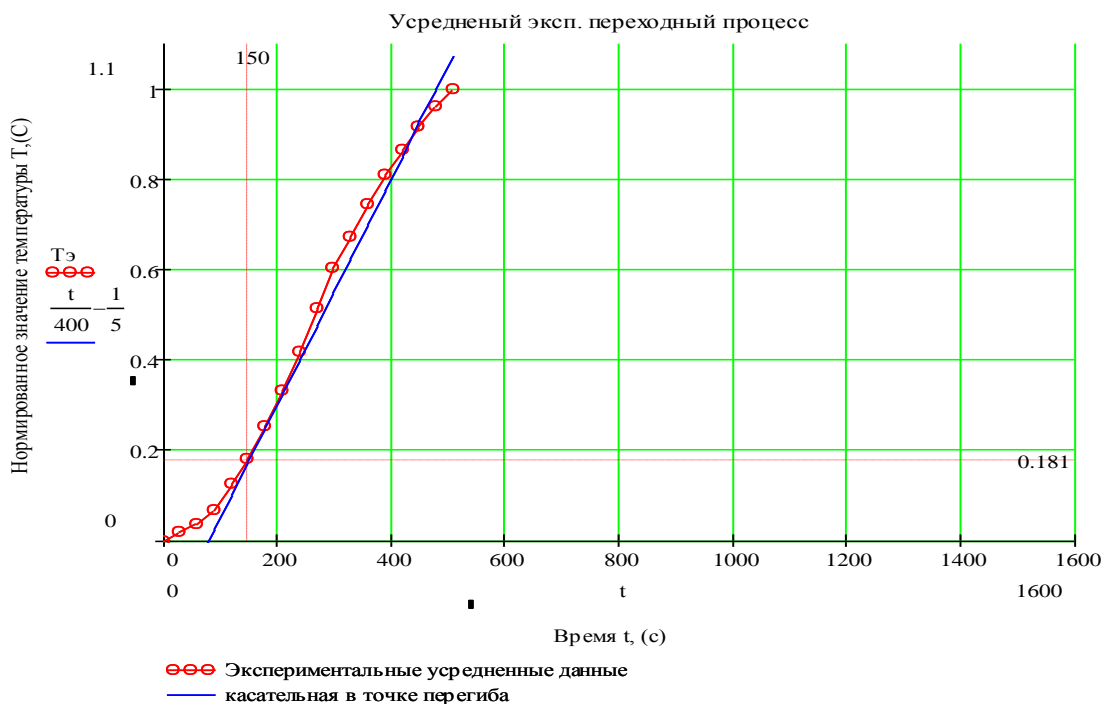


Рисунок 44 – Перехідний процес для моделі об'єкта

## 6.7 Вибір остаточної апроксимуючої моделі

Для вибору кращої апроксимуючої моделі об'єкта управління серед знайдених моделей порівняємо теоретичні та експериментальні перехідні процеси (рисунк 2.6).

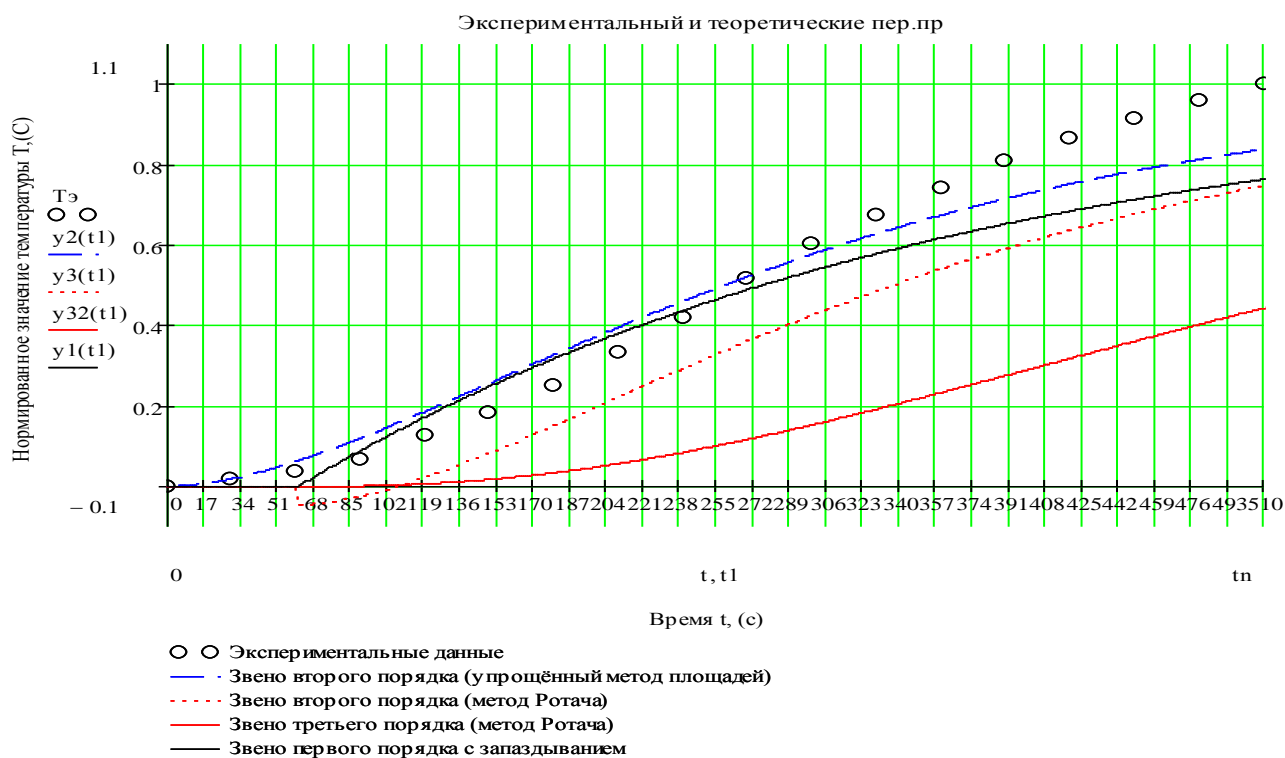


Рисунок 45 – Теоретичні та експериментальні перехідні процеси

Для оцінки якості отриманих передавальних функцій, що описують об'єкт управління, обчислимо оцінку  $\chi^2$ :

$$\chi_1 := \frac{1}{K} \cdot \sqrt{\sum_{i=0}^{n-1} (T_{\Delta_i} - y_1(t_i))^2}$$

$\chi^2 = 0.497$  - ланка першого порядку із запізненням

$$\chi_2 := \frac{1}{K} \cdot \sqrt{\sum_{i=0}^{n-1} (T_{\Delta_i} - y_2(t_i))^2}$$

$\chi^2 = 0.343$  - ланка другого порядку (спрощений метод

площ)

$$\chi_3 := \frac{1}{K} \cdot \sqrt{\sum_{i=0}^{n-1} (T_{\Delta_i} - y_3(t_i))^2}$$

$\chi^2 = 1.626$  - ланка другого порядку (метод Ротача)

Оскільки найменша оцінка  $\chi^2$  вийшла у моделі, побудованої за спрощеним методом площ, то прийме її за остаточної моделі об'єкта управління.

Передатна функція об'єкта управління має вигляд:

$$W_0(s) = \frac{790}{(113.553s+1)(156.075s+1)} \quad (6.17)$$



## 6.8 Синтез регулятора методом ЛАЧХ

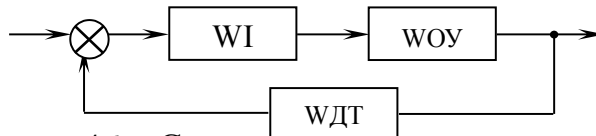


Рисунок 46 – Структурна схема замкнутої системи

Перетворимо структурну схему, представлену малюнку 3.1, до структурної схеми такого виду:

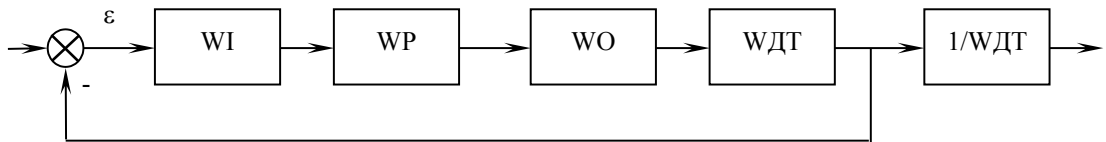


Рисунок 47 – Структурна схема досліджуваної САУ

Знайдемо передатну функцію незмінної частини прямого ланцюга:

$$W_H = W_O \cdot W_{DT} \cdot W_I \quad (6.18)$$

де  $W_{DT} = k_D$  - передавальна функція датчика температури  $T_d$ ;

$W_I = k_I$  - Передавальна функція вимірювального блоку;

$W_O$  – передавальна функція об'єкта управління.

Дані прилади мають такі коефіцієнти посилення

$$W_I = K_I = 3000 \quad (6.19)$$

$$W_{DT} = K_{DT} = 8 \cdot 10^{-7}$$

Передатна функція прямого ланцюга (частини системи, що незмінюється):

$$W_H(s) = \frac{K_H}{(113.553s+1)(156.075s+1)} \quad (6.20)$$

Тоді коефіцієнт посилення незмінної частини  $K$ :

$$K_H = K_I \cdot K_O \cdot K_{DT} = 1.896 \quad (6.21)$$

Передатна функція незмінної частини прямого ланцюга матиме вигляд:

$$W_H(s) = \frac{1.896}{(113.553s+1)(156.075s+1)} \quad (6.22)$$

Передачу функцію синтезованого регулятора знайдемо методом логарифмічних частотних характеристик. По ЛАЧХ визначаються  $\square 1$ ,  $\square 2$ , а також  $K_{ж}$ , за якими знаходиться бажана передатна функція прямого ланцюга:

$$W_{Ж}(s) = \frac{K_{ж}(T_2s+1)}{s(T_1s+1)(T_3s+1)} \quad (6.23)$$

де  $T_1=1/\omega_1$ ,  $T_2=1/\omega_2$ ,  $T_3=1/\omega_3$ ,  $K_{ж}$  – знаходиться як переріз прямою (до  $\omega_1$ ) бажаної ЛАЧХ з віссю частот.

Передатна функція регулятора:

$$W_P(s) = \frac{W_{Ж}(s)}{W_H(s)} \quad (6.24)$$

Отримана передавальна функція регулятора має дуже складну технічну реалізацію і практично такий регулятор не застосовується. Практично реалізовані регулятори будуються з використанням наступних припущень і

наближень: об'єкт управління досить інерційний і в ланцюгах регулятора немає високочастотних перешкод або вони досить малі, високочастотною частиною регулятора можна знехтувати і вважати, що  $T_3 = 0$ . Якщо вимагати щоб  $T_1 = T_2$ , тоді бажана передатна функція матиме вигляд:

$$W_{\text{Ж}}(s) = \frac{K_{\text{Ж}}}{s} \quad (6.25)$$

В цьому випадку для об'єкта другого порядку буде отримано ПІД-регулятор.

### 6.9 Визначення параметрів ПІД-регулятора

Так як вимоги до високочастотної частини не високі, то вважаємо, що  $T_3 = 0$  і  $T_1 = T_2$ , тоді отримуємо, що бажана ЛАЧХ має вигляд наведений вище і передавальна функція регулятора матиме вигляд:

$$W_{\text{р}}(s) = \frac{K_{\text{Ж}}(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}{s K_{\text{Н}}} = \frac{(T_1 + T_2)K_{\text{Ж}}}{K_{\text{Н}}} + \frac{K_{\text{Ж}}}{K_{\text{Н}} s} + \frac{T_1 T_2 K_{\text{Ж}}}{K_{\text{Н}}} s = K_{\text{П}} \left( 1 + \frac{1}{T_{\text{И}} s} + T_{\text{ДТ}} s \right) \quad (6.26)$$

Як видно в цьому випадку, отримуємо ПІД-регулятор з наступними параметрами:

$$\begin{aligned} K_{\text{П}} &= (T_1 + T_2) \frac{K_{\text{Ж}}}{K_{\text{Н}}} \\ T_{\text{И}} &= T_1 + T_2 \\ T_{\text{ДТ}} &= \frac{T_1 T_2}{T_1 + T_2} \end{aligned} \quad (6.27)$$

$$K_{\text{П}} = (113.533 + 156.075) \frac{0.017}{1.9} = 2.412$$

$$T_{\text{И}} = 113.533 + 156.075 = 269.608$$

$$T_{\text{ДТ}} = \frac{113.533 \cdot 156.075}{113.533 + 156.075} = 65.724$$

### 6.10 Побудова перехідної характеристики замкнутої системи

Передатна функція прямого ланцюга:

$$W(s) = W_{\text{р}}(s) W_{\text{Н}}(s)$$

$$W(s) = K_{\text{П}} \left( 1 + \frac{1}{T_{\text{И}} s} + T_{\text{ДТ}} s \right) \frac{K_{\text{Н}}}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)} = \frac{K_{\text{Н}} K_{\text{П}} (T_{\text{ДТ}} T_{\text{И}} s^2 + T_{\text{И}} s + 1)}{T_{\text{И}} T_1 T_2 s^3 + T_{\text{И}} (T_1 + T_2) s^2 + T_{\text{И}} s} \quad (6.28)$$

Передатна функція замкнутої системи:

$$\Phi(s) = \frac{K_{\text{Н}} K_{\text{П}} (T_{\text{ДТ}} T_{\text{И}} s^2 + T_{\text{И}} s + 1)}{1 + \frac{K_{\text{Н}} K_{\text{П}} (T_{\text{ДТ}} T_{\text{И}} s^2 + T_{\text{И}} s + 1)}{T_{\text{И}} T_1 T_2 s^3 + T_{\text{И}} (T_1 + T_2) s^2 + T_{\text{И}} s}} =$$

$$= \frac{K_H K_{\Pi} (T_{ДТ} T_{И} s^2 + T_{И} s + 1)}{T_{И} T_1 T_2 s^3 + T_{И} (T_1 + T_2) s^2 + T_{И} s + K_H K_{\Pi} (T_{ДТ} T_{И} s^2 + T_{И} s + 1)} = \frac{K_H K_{\Pi} T_{ДТ} T_{И} s^2 + K_H K_{\Pi} T_{И} s + K_H K_{\Pi}}{T_{И} T_1 T_2 s^3 + T_{И} (T_1 + T_2 + K_H K_{\Pi} T_{ДТ}) s^2 + T_{И} (K_H K_{\Pi} + 1) s + K_H K_{\Pi}} \quad (6.29)$$

або ввівши позначення:

$$\begin{aligned} a_2 &= K_H K_{\Pi} T_{ДТ} T_{И} = 8.1 \cdot 10^4 \\ a_1 &= K_H K_{\Pi} T_{И} = 1236 \\ a_0 &= K_H K_{\Pi} = 4.58 \\ b_3 &= T_{И} T_1 T_2 = 4.77 \cdot 10^6 \\ b_2 &= T_{И} (T_1 + T_2 + K_H K_{\Pi} T_{ДТ}) = 1.539 \cdot 10^5 \\ b_1 &= T_{И} (K_H K_{\Pi} + 1) = 1505 \\ b_0 &= K_H K_{\Pi} = 4.58 \end{aligned} \quad (6.30)$$

Отримали передатну функцію замкнутої системи як відносини двох поліномів:

$$\Phi(s) = \frac{a_2 s^2 + a_1 s + a_0}{b_3 s^3 + b_2 s^2 + b_1 s + b_0} \quad (6.31)$$

Для бажаної передавальної функції прямого ланцюга матимемо наступну замкнуту систему:

$$\Phi_{Ж}(s) = \frac{K_{Ж}}{s(1 + \frac{K_{Ж}}{s})} = \frac{1}{\frac{1}{K_{Ж}} s + 1} \quad (6.32)$$

$$h_{Ж}(t) = 1 - e^{-0.022t} \quad (6.33)$$

Отриманий перехідний процес для об'єкта управління та експериментальний перехідний процес замкнутої системи перевіримо за допомогою програмного пакету МВТУ

Складемо модель передавальної функції

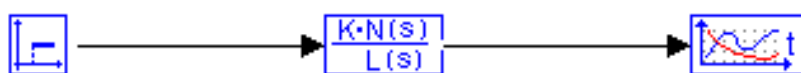


Рисунок 48 – Модель замкнутої системи

Динамічному об'єкту надамо отримані раніше значення

Свойства объектов	
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;"> <math>\frac{K \cdot N(s)}{L(s)}</math> </div>	
Коз ффициенты числителя	810000 1236 4.58
Коз ффициенты знаменателя	4770000 153900 1505 4.58
Начальное условие	0

Рисунок 49 – властивості об'єкта

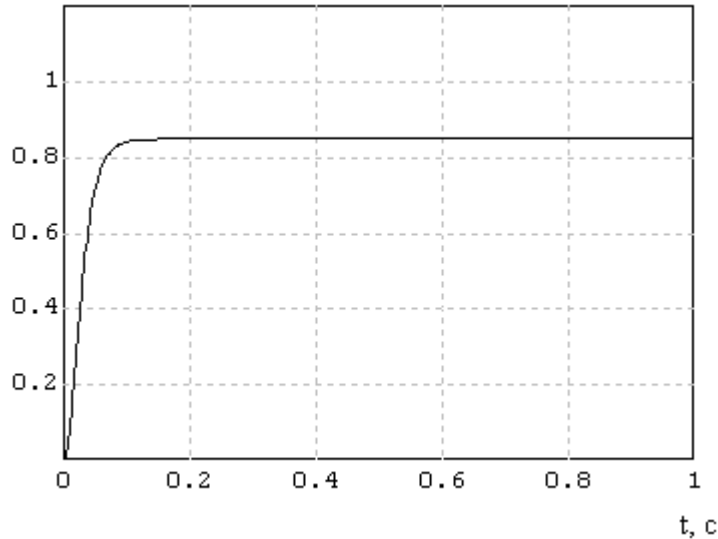


Рисунок 50 – Перехідна характеристика замкнутої системи

За експериментальними даними була знайдена передатна функція об'єкта управління у вигляді моделі першого порядку та моделей другого порядку, знайдених за спрощеним методом площ та методом Ротача. За результатами порівняння теоретичних перехідних процесів з експериментальним за остаточну модель об'єкта управління була прийнята модель, розрахована за спрощеним методом площ, як модель, що має найменшу оцінку:

$$W_o(s) = \frac{790}{(158.413 s+1)(111.215 s+1)}$$

Коефіцієнт посилення об'єкта управління було знайдено за статичною передавальною характеристикою. Виходячи з вимог до системи за точністю та якістю, був синтезований ПД-регулятор за допомогою методу ЛАЧХ.

В результаті була синтезована бажана передатна функція прямого ланцюга:

$$W_{\text{Ж}}(s) = \frac{K_{\text{Ж}}(T_2 s+1)}{s(T_1 s+1)(T_3 s+1)}$$

Для якої було отримано ПД-регулятор у вигляді:

$$W_p(s) = K_{\text{П}} \left( 1 + \frac{1}{T_{\text{И}} s} + T_{\text{ДТ}} s \right)$$

$$K_{\text{П}} = (T_1 + T_2) \frac{K_{\text{Ж}}}{K_{\text{Н}}} K_{\text{П}} = (113.533 + 156.075) \frac{0.017}{1.9} = 2.412$$

$$T_{\text{И}} = T_1 + T_2 \quad T_{\text{И}} = 113.533 + 156.075 = 269.608$$

$$T_{\text{ДТ}} = \frac{T_1 T_2}{T_1 + T_2} \quad T_{\text{ДТ}} = \frac{113.533 \cdot 156.075}{113.533 + 156.075} = 65.724$$

Для замкнутої системи із синтезованим ПД-регулятором було побудовано перехідний процес, яким було знайдено час регулювання  $t_p=520$  з перерегулювання 5%, що відповідає вимогам завдання.

## **Висновок**

В бакалаврській роботі проведена автоматизація процесу пічного відділення СКП, із застосуванням існуючих сучасних приладів та засобів автоматизації. Завдяки модернізованій системі управління та автоматизації даного технологічного процесу покращилася якість регулювання основних технологічних параметрів, зменшилися відхилення від норм технологічного регламенту, проведено заміну морально та фізично застарілих існуючих засобів автоматизації на сучасні.

У цій роботі проведено ескізне вирішення кола питань, пов'язаних із розробкою системи автоматизації та управління технологічним процесом пічного відділення СКП. Вивчено технологічний процес СКП, конструкція та принцип роботи основних апаратів. Зроблено конструктивний вибір каналів контролю, регулювання, сигналізації, блокувань та управління. Зроблено вибір сучасних засобів автоматизації та управління. Розроблено схему сигналізації рівня, схему блокування включення двигунів насоса, схему управління роботою дозаторів.

У ході виконання розрахункової частини даного проекту було вивчено та досліджено САР температури в печі. Було здійснено розрахунок системи стабілізації температури, що працює в заданому діапазоні зміни вихідної змінної при заданому рівні і типі збурень, і забезпечує необхідні характеристики точності та якості стабілізації.

## Література

1. Методичні вказівки щодо оформлення курсових та дипломних проектів. Інструктивні матеріали. Для студентів спеціальності 6.151 "Автоматизація та Комп'ютерно-інтегровані технології". – Суми.: СумДУ, 2019. – 77 с.
2. Процеси та апарати хімічної промисловості: Підручник для технікумів / П.Г. Романков, М. І. Курочкіна, Ю. Я. Мозжерії та ін - Л.: Хімія, 1989.- 560 с.
3. Проектування систем автоматизації технологічних процесів: Справ сел. / А.С. Ключев, Б.В. Глазов, А.Х. Дубровський, С.А. Ключев. -М.: Енергоатоміздат, 1990.-464 с.
4. Компоненти систем електропостачання та автоматизації у промисловості. Загальний каталог. - К.: "Альтера", 2005. - 156 с. – Режим доступу: <https://www.svaltera.ua/catalog/>
5. Номенклатурний каталог «Полтава-Теплоприлад» - Полтава, 2022. - 302 с. Режим доступу: <http://poltava-teplopribor.com/>
6. Каталог продукції «Мікрол» - І.-Франківськ, 2022.- 182 с. Режим доступу:  
[http://www.microl.ua/index.php?option=com\\_virtuemart&Itemid=71](http://www.microl.ua/index.php?option=com_virtuemart&Itemid=71)
7. Каталог продукції «ТОВ Сенсорика »; – Київ, 2022. – 190 с. Режим доступу: <https://sensorika.com.ua/katalog-produktsii/>
10. Каталог продукції «ОВЕН»; -К., 2022. - 360 с. Режим доступу: <https://owen.ua/ru/katalog-produktsii-owen>
11. Інструкція з охорони праці для працюючих у ливарних цехах.
12. Каталог КВП та А фірми „Св Альтера” Електротехніка та автоматизація.
13. Рей У. /Методи управління технологічними процесами./ - М.: «Світ». 1983.
14. Ротач У. Я. /Розрахунок динаміки промислових автоматичних систем./ – М.:«Енергія». 1973.