

Міністерство освіти і науки України
Шосткинський інститут
Сумського державного університету
Факультет денної форми навчання
Кафедра системотехніки та інформаційних технологій

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

Худолей Г.М.

«__»_____20.... р.

Бакалаврська робота на тему:
«Система управління технологічним процесом
виробництва сірчаної кислоти з колчедану
методом подвійного контактування»

Керівник роботи:
(к.т.н., зав. кафедри)

Худолей Г.М.

Бакалаврант:
студент групи СУз-71Ш

Мирошніченко Т.Р.

Шостка – 2021 р.

ЗМІСТ

Список скорочень.....	3
Вступ.....	4
1 Конструктивно-технологічний аналіз об'єкта автоматизації	6
2 Дослідження матеріальних потоків у технологічному процесі, побудова схеми інформаційних потоків.....	10
3 Вибір параметрів контролю, регулювання та сигналізації	12
4 Вибір каналів внесення регулюючих дій	16
5 Вибір засобів автоматизації	25
5.1 Вибір датчиків.....	25
5.2 Вибір регулюючих органів	40
5.3 Вибір контролера	49
6 Розрахункова частина	59
7 Алгоритм роботи системи управління	68
Висновок	69
Література	70

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

АРМ – автоматизоване робоче місце.

АСУ – автоматизована система управління.

АСУП – автоматизована система управління підприємством.

АСУТП – автоматизована система управління технологічним процесом.

АЦП – аналого-цифровий перетворювач.

ВМ – виконавчий механізм.

КВП і А – контрольно-вимірювальні прилади і автоматика.

МЕК – міжнародна електротехнічна комісія.

МК – мікроконтролер.

ММ – математична модель.

МП – мікропроцесор.

ОЗП – оперативний пристрій, що запам'ятовує.

ОУ – об'єкт управління.

П – пропорційний.

ПІ – пропорційно-інтегральний.

ПІД – пропорційно-інтегрально-диференційний.

ПВП – первинний вимірювальний перетворювач.

ПЗП – постійний пристрій, що запам'ятовує.

ПК – персональний комп'ютер.

ПЕВМ – персональна електронно-обчислювальна машина.

ПК – персональний комп'ютер.

ПЛК – програмований логічний контролер.

РО — регулюючий орган.

САР – система автоматичного регулювання.

САУ — система автоматичного управління.

ТБ – техніка безпеки.

ТП — технологічний процес.

ТО– термперетворювач опору.

ЦАП — цифро-аналоговий перетворювач.

ЧЕ – чутливий елемент.

ВСТУП

Серед галузей хімічної промисловості поряд з виробництвом сполук пов'язаного азоту одне з найважливіших місць займає виробництво сірчаної кислоти і мінеральних добрив. Ці комплекси виробництв тісно пов'язані один з одним, так як сірчана кислота, аміак, азотна кислота є найважливішими вихідними реагентами для отримання мінеральних добрив.

Серед мінеральних кислот, вироблених хімічною промисловістю, сірчана кислота за обсягом виробництва і споживання займає перше місце. Пояснюється це й тим, що вона найдешевша з усіх кислот, а також її властивостями. Сірчана кислота не димить, в концентрованому вигляді не руйнує чорні метали, в той же час є однією з найсильніших кислот, в широкому діапазоні температур (від $-40 \dots -20$ до $260-336,5$ °C) знаходиться в рідкому стані. Области застосування сірчаної кислоти надзвичайно великі. Істотна її частина використовується як напівпродукт у різних галузях хімічної промисловості, перш за все для отримання мінеральних добрив, а також солей, кислот, вибухових речовин. Сірчана кислота застосовується і при виробництві барвників, хімічних волокон, в металургійній, текстильній, харчовій промисловості і т. д.

Автоматизація виробництва сірчаної кислоти є найважливішим засобом поліпшення якісних і кількісних показників виробництва.

Автоматизація сірчаноокислотних виробництв включає:

- а) централізацію автоматичного контролю виробництва;
- б) автоматичне регулювання основних параметрів технологічного процесу;
- в) дистанційне керування окремими регулюючими органами і агрегатами;
- г) сигналізацію граничних значень найбільш важливих параметрів технологічного процесу;
- д) блокування окремих механізмів транспортування колчедану і недогарка в пічному відділенні.

Автоматичний контроль на діючих контактних заводах сірчаної кислоти централізується по окремих вузлах (відділеннях) технологічного процесу (відділення сушки колчедану, пічне відділення, контактне, сушильно-абсорбційне) і по сірчаноокислотному виробництву в цілому. На центральному щиті зосереджуються прилади контролю найбільш важливих параметрів технологічного процесу (концентрація газу після пічного відділення і на вході в контактний апарат, температури газу на вході в сушильну і т. д.). Крім того, на цьому щиті зосереджені прилади контролю витрат основних потоків сировини (колчедану, сірки, газу) і витрати електроенергії, пари, води.

Контроль і управління параметрами процесу проводиться на базі застарілих аналогових приладів з використанням двопозиційного управління.

У бакалаврській роботі виконана розробка автоматизації технологічного процесу технологічним процесом виробництва сірчаної кислоти з колчедану методом подвійного контактування на базі програмованого логічного контролера, обрані засоби автоматизації, сучасні керуючі пристрої, що забезпечують оптимальний хід цього процесу з використанням різних автоматичних пристроїв контролю, регулювання, сигналізації та ін., а також автоматизоване керування пуском і зупинкою обладнання для проведення ремонтних робіт і у критичних ситуаціях.

Цілі, які планується досягти при розробці оптимізації управління технологічним процесом при виконанні бакалаврської роботи:

- скасування участі людини при вимірюванні параметрів процесу, зменшення впливу людини на функції управління технологічними параметрами;
- ведення технологічного процесу на основі автоматичного контролю технологічних параметрів;
- автоматичне керування виконавчими механізмами;
- запобігання виникненню аварійних ситуацій і забезпечення безпечного завершення процесу за заданим алгоритмом;
- безаварійний пуск/зупинку і перемикання технологічного обладнання;
- візуалізація параметрів технологічного процесу в номінальних і аварійних ситуаціях;
- можливість інтегрування нижніх і верхніх рівнів системи з отриманням інформації з верхнього рівня системи управління з метою формування керуючих впливів на виконавчі механізми передачею, відповідно, інформації з нижніх рівнів системи управління з метою аналізу роботи виробництва.

1 КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

Сірчана кислота (сульфатна кислота – сполука сірки з формулою H_2SO_4 . Безбарвна масляниста, дуже в'язка і гігроскопічна рідина. Сірчана кислота - одна з найсильніших неорганічних кислот і є дуже їдкою та небезпечною. Ця кислота утворює два ряди солей: сульфати і гідрогенсульфати, в яких у порівнянні з сульфатною кислотою замінюються два або один атоми гідрогену на катіони металів.[1].

Виробництво сірчаної кислоти із сіркосировини має кілька хімічних процесів, в яких відбувається зміна ступеня окислення сировини і проміжних продуктів. Це може бути представлено у вигляді такої послідовності:

- стадія отримання пічного газу (оксиду сірки (IV));
- стадія каталітичного окислення оксиду сірки (IV) до оксиду сірки (VI) і абсорбції його (переробка в сірчану кислоту).

У реальному виробництві до цих хімічних процесів додаються процеси підготовки сировини, очищення пічного газу і інші механічні та фізико-хімічні операції.

У загальному випадку виробництво сірчаної кислоти може бути виражено в наступному вигляді:

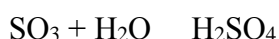
підготовка сировини, спалювання (випал) сировини, очищення пічного газу, контактування, абсорбція контактованого газу.

Конкретна технологічна схема виробництва залежить від виду сировини, особливостей каталітичного окислення оксиду сірки (IV), наявності або відсутності стадії абсорбції оксиду сірки (VI).

Залежно від того, як здійснюється процес окислення SO_2 в SO_3 , розрізняють два основні методи отримання сірчаної кислоти.

У контактному методі отримання сірчаної кислоти процес окислення SO_2 в SO_3 проводять на твердих каталізаторах.

Триоксид сірки переводять в сірчану кислоту на останній стадії процесу - абсорбції триоксиду сірки, яку спрощено можна представити рівнянням реакції:



При проведенні процесу по нітрозному (баштовому) методу в якості переносника кисню використовують оксиди азоту.

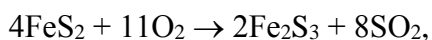
Окислювання діоксиду сірки здійснюється в рідкій фазі і кінцевим продуктом є сірчана кислота:



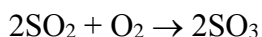
Наразі у промисловості в основному застосовують контактний метод отримання сірчаної кислоти, що дозволяє використовувати апарати з більшою інтенсивністю.

Хімічна схема отримання сірчаної кислоти з колчедану включає три послідовні стадії:

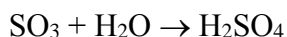
Окислення дисульфиду заліза піритного концентрату киснем повітря:



Каталітичне окислення оксиду сірки (IV) надлишком кисню пічного газу:



Абсорбція оксиду сірки (VI) з утворенням сірчаної кислоти:



За технологічним оформленням виробництво сірчаної кислоти з залізного колчедану є найбільш складним і складається з декількох послідовних стадій.

Технологічна схема процесу одержання сірчаної кислоти з колчедану методом ДКДА зображена на рис. 1.1.

Колчедан через дозатор подають в піч киплячого шару 1. Отриманий запилений випалювальний газ, що містить 13% SO_2 і має на виході з печі температуру $\sim 700^\circ\text{C}$, подають спочатку в котел-утилізатор 3, а потім на стадію сухого очищення від недогаркового пилу (у циклон 4 і у сухий електрофільтр 5). У котлі-утилізаторі відбувається охолодження газу із одночасним отриманням енергетичної водяної пари (тиск 4 МПа і температура 450°C), яка може бути використана як в самій установці для компенсації витрат енергії на роботу компресорів і насосів, так і в інших цехах заводу.

У очисному відділенні, що складається з двох промивних веж 6 і 7, двох пар мокрих електрофільтрів 8 і 9 та сушильної вежі 10, відбувається очищення газу від сполук миш'яку, селену, фтору і його осушення. Перша порожниста промивна вежа 6 працює в випарному режимі: циркулююча кислота охолоджує газ, при цьому теплота витрачається на випаровування води з кислоти, що надходить на зрошення. Концентрацію зрошуючої кислоти в першій вежі, яка дорівнює 40-50% H_2SO_4 , підтримують постійною за рахунок розведення 10-15 % -ною кислотою з другої промивної вежі 7. Кислота з другої вежі надходить до збірника 18 і після охолодження повертається на зрошення.

Після другої промивної вежі газ проходить послідовно дві пари електрофільтрів 8 і 9, потім насадкову сушильну вежу 10, що зрошується 93-94% -ною сірчаною кислотою при температурі $28-30^\circ\text{C}$. Кислота циркулює між сушильною вежею 10 і збірником 18; частина кислоти відводиться як готова продукція на склад. Для підтримки постійної концентрації H_2SO_4 до збірника 18 вводять 98-99% -ну кислоту з моногідрат-абсорберів 17 і 20. Для підтримки постійної температури на стадії осушення циркулюючу кислоту охолоджують в повітряному холодильнику 22. Перед сушильною вежею випалювальний газ розбавляють повітрям з метою зниження в ньому

концентрації SO_2 до 9% і збільшення надлишку кисню відповідно до оптимальних умов окислення діоксиду сірки.

Після сушильної вежі випалювальний газ проходить через фільтр-уловлювач бризків 11 і надходить в турбогазову турбину 12. У теплообмінниках 13 газ нагрівається за рахунок теплоти продуктів реакції до температури запалювання каталізатора (420-440 °C) і надходить на перший шар контактної апаратури. У першому шарі каталізатора відбувається окислення SO_2 на 74% із одночасним підвищенням температури до 600 °C. Після охолодження до 465 °C газ надходить на другий шар контактної апаратури, де ступінь перетворення досягає 86%, а температура газу зростає до 514 °C. Після охолодження до 450 °C газ надходить на третій шар контактної апаратури, де ступінь перетворення SO_2 , збільшується до 94-94,5%, а температура підвищується до 470 °C. Потім відповідно до вимог методу ДКДА реакційний газ охолоджують в теплообмінниках 13 до 100 °C і направляють на абсорбцію першого ступеня: спочатку в олеумний абсорбер 21, потім в моногідратний абсорбер 20. Після моногідратного абсорбера і фільтра-уловлювача бризків газ знову нагрівають до температури 430 °C і подають на четвертий шар каталізатора. Концентрація діоксиду сірки в газі становить тепер 0,75-0,85%. У четвертому шарі відбувається окислення SO_2 на ~ 80%, що супроводжується підвищенням температури до 449 °C. Реакційну суміш знову охолоджують до температури 409 °C і направляють на останній (п'ятий) шар контактної апаратури. Загальна ступінь перетворення після п'яти стадій контактування становить 99,9%. Газову суміш після охолодження направляють в моногідратний абсорбер другого ступеня абсорбції 17. Непоглинений газ, що складається в основному з повітря, пропускають через фільтр 11 для виділення бризок і туману і викидають в атмосферу через вихлопну трубу.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕРІАЛЬНИХ ПОТОКІВ У ТЕХНОЛОГІЧНОМУ ПРОЦЕСІ, ПОБУДОВА СХЕМИ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПОТОКІВ

Будь-який технологічний процес виробництва характеризується рядом основних і допоміжних матеріальних і енергетичних потоків, які визначають кількісні і якісні показники технологічного процесу та відповідні показники готової продукції. Зважаючи на те, що якісні показники продукції в режимі реального часу контролювати не завжди можна, їхні значення досягаються шляхом підтримання показників матеріальних потоків і параметрів середовища обробки (реакцій) матеріалів (реагентів). Тому для наочного уявлення матеріальних, енергетичних потоків і пов'язаних з ними інформаційних потоків між складовими в технологічному процесі виробництва сірчаної кислоти з колчедану методом подвійного контактування має істотне значення схема матеріально- інформаційних потоків (рис. 2.1).

На схемі матеріально-інформаційних потоків відображені тільки основні апарати і потоки.

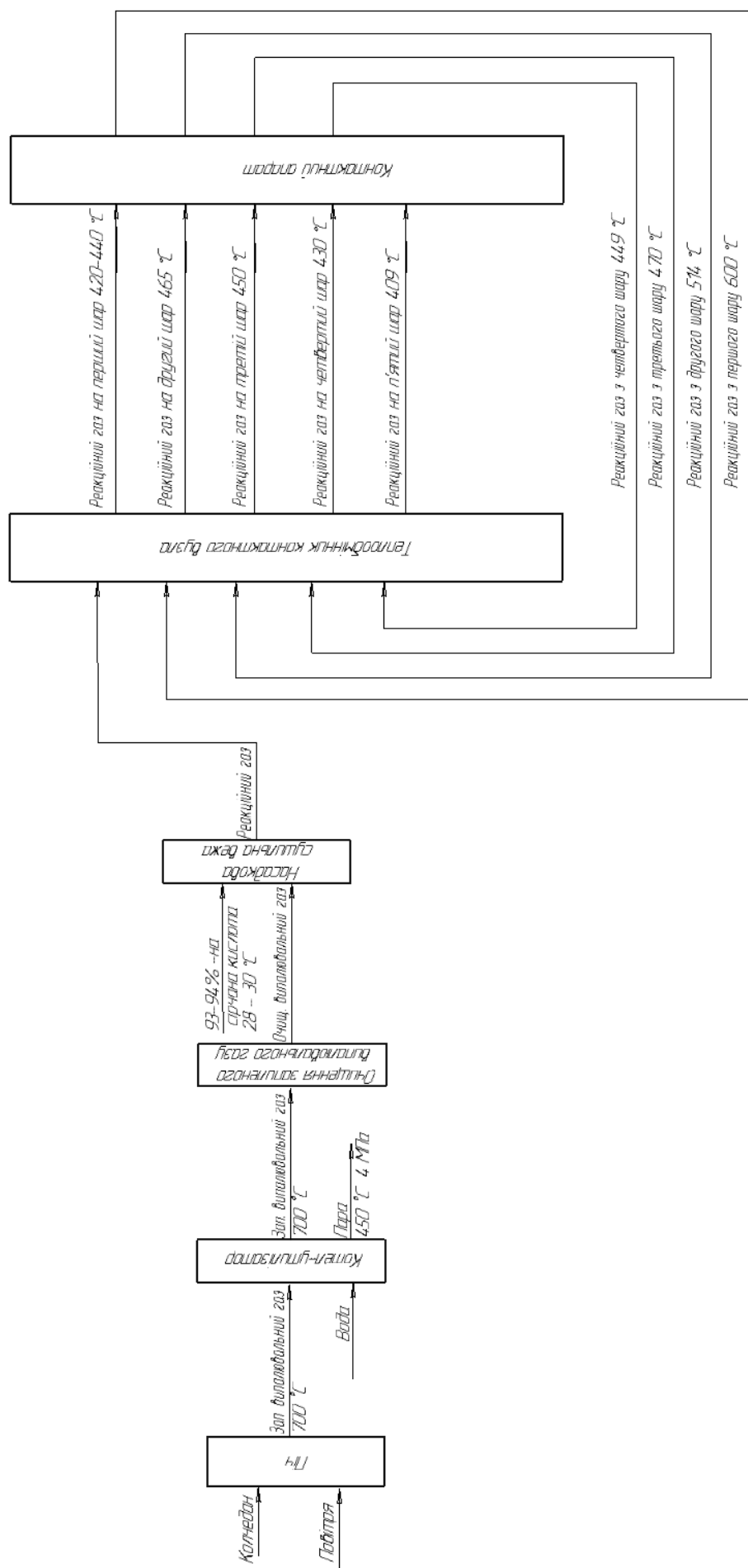


Рисунок 2.1-1- Схема матеріально-інформаційних потоків технологічного процесу виробництва сірчаної кислоти з колчедану методом подвійного контактування

3 ВИБІР ПАРАМЕТРІВ КОНТРОЛЮ, РЕГУЛЮВАННЯ ТА СИГНАЛІЗАЦІЇ

Технологічний процес виробництва сірчаної кислоти з колчедану за методом ДКДА характеризується різноманітними технологічними операціями, які пов'язані з підтриманням необхідних режимів проведення хімічних реакцій, підтримкою параметрів технологічного процесу в заданих межах, якісними і кількісними показниками реагентів, що застосовуються в технологічному процесі. Для цього на основі конструктивного аналізу виберемо параметри, які завдають істотні збурюючі впливи на об'єкт управління при протіканні технологічного процесу і їх значення, визначимо взаємозв'язок з іншими процесами, а також визначимо шляхи усунення збурень або їх стабілізації.

Контролю підлягають практично всі параметри регулювання. Контролю підлягають ті параметри, значення яких забезпечить правильний пуск, налагодження, роботу, зупинку об'єкта управління (ОУ). Контролю підлягають ті параметри, при порушенні яких в ОУ можуть надходити впливи, які можуть призвести до порушення нормального ходу технологічного процесу, виникнення браку або передаварійної і аварійної ситуації, отруєння персоналу виробничими реагентами.

Для нормального проведення хімічних реакцій виробництва сірчаної кислоти з колчедану за методом ДКДА необхідно:

регулювати температуру 700 °С запиленого випалювального газу на виході з печі;

контролювати температуру 450 °С і тиск пари 4 МПа пари на виході котла-утилізатора;

регулювати температуру 28 - 30 °С 93-94% -ної сірчаної кислоти на вході насадкової сушильної башти 10;

регулювати температуру 420-440 °С реакційного газу на перший шар контактного апарату;

контролювати температуру 600 °С реакційного газу з першого шару контактного апарату;

регулювати температуру 465 °С реакційного газу на другий шар контактного апарату;

контролювати температуру 514 °С реакційного газу з другого шару контактного апарату;

регулювати температуру 450 °С реакційного газу на третій шар контактного апарату;

контролювати температуру 470 °С реакційного газу з третього шару контактного апарату;

регулювати температуру 100 °С реакційного газу на вході в олеумний абсорбер;

регулювати температуру 430 °С реакційного газу на четвертий шар контактного апарату;

контролювати температуру 449 °С реакційного газу з четвертого шару контактного апарату;

регулювати температуру 409 °С реакційного газу на п'ятий шар контактного апарату.

Перелік перерахованих параметрів наведений в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1_ Перелік параметрів, які впливають на хід технологічного процесу

№ п.п.	Точка технологічної схеми	Параметр	Функція	Величина
1	Вихід з печі	Температура запиленого випалювального газу	Контроль, сигналізація управління	700 °С
2	Вихід котла-утилізатора	Температура пари	Контроль, сигналізація управління	450 °С
3	Вихід котла-утилізатора	Тиск пари	Контроль, сигналізація	4 МПа
4	Вхід на зрошення насадкової сушильної вежі 10	Температура 93-94% -ної сірчаної кислоти	Контроль, сигналізація управління	28 - 30 °С
5	Вхід на перший шар контактного апарату	Температура реакційного газу	Контроль, сигналізація управління	420-440 °С
6	Вихід з першого шару контактного апарату	Температура реакційного газу	Контроль, сигналізація	600 °С
7	Вхід на другий шар контактного апарату	Температура реакційного газу	Контроль, сигналізація управління	465 °С
8	Вихід з другого шару контактного апарату	Температура реакційного газу	Контроль, сигналізація	514 °С
9	Вхід на третій шар контактного апарату	Температура реакційного газу	Контроль, сигналізація управління	450 °С
10	Вихід з третього шару контактного апарату	Температура реакційного газу	Контроль, сигналізація	470 °С
11	Вхід в олеумний абсорбер	Температура реакційного газу	Контроль, сигналізація управління	100 °С
12	Вхід на четвертий шар контактного апарату	Контроль, сигналізація	Контроль, сигналізація управління	430 °С
13	Вихід Четвертого шару контактного апарату	Температура реакційного газу	Контроль, сигналізація	449 °С
14	Вхід на п'ятий шар контактного апарату	Температура реакційного газу	Контроль, сигналізація управління	409 °С

Сигналізація про технологічні збої інформує про вихід певних параметрів технологічного процесу за визначені межі, але при цьому не призводять до аварії, а лише можуть призвести до випуску неякісної продукції.

Аварійна сигналізація оповіщає про неприпустимі значення параметрів технологічного процесу або про аварійні відхилення в роботі технологічної системи. Як правило, є світловою і звуковою.

Сигналізація положення (стану) вказує на стан об'єктів (відкриті або закриті) в даний момент. Цей вид сигналізації здійснюють за допомогою анімаційних ефектів на мнемосхемі.

Структурна схема автоматизації подана на рис. 3.1.

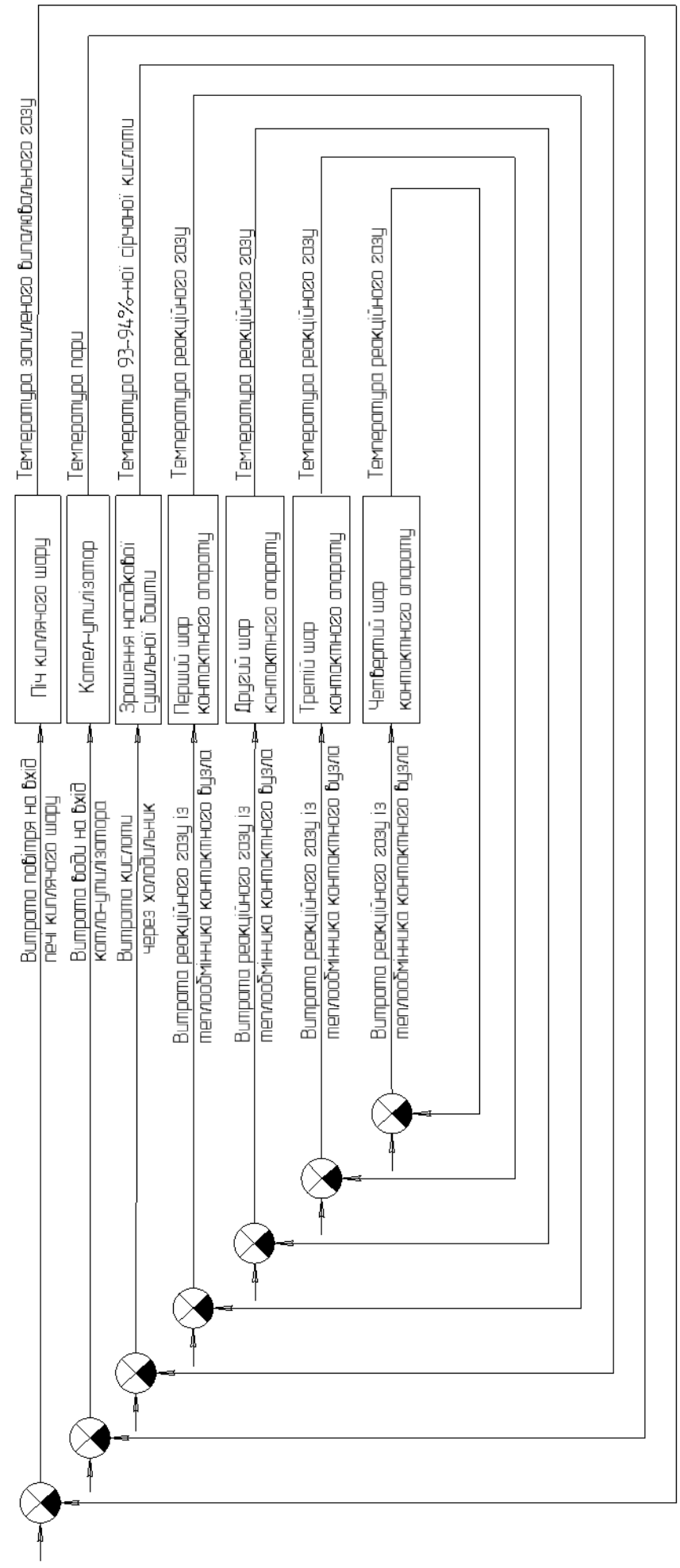


Рисунок 3.1-Структурна схема автоматизації.

4 ВИБІР КАНАЛІВ ВНЕСЕННЯ РЕГУЛЮЮЧИХ ДІЙ

4.1 Температуру запиленого випалювального газу на виході з печі будемо регулювати зміною прохідного перетину трубопроводу подачі повітря в піч шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана.

Канал контролю і управління температурою запиленого випалювального газу на виході з печі представлений на рис. 4.1.

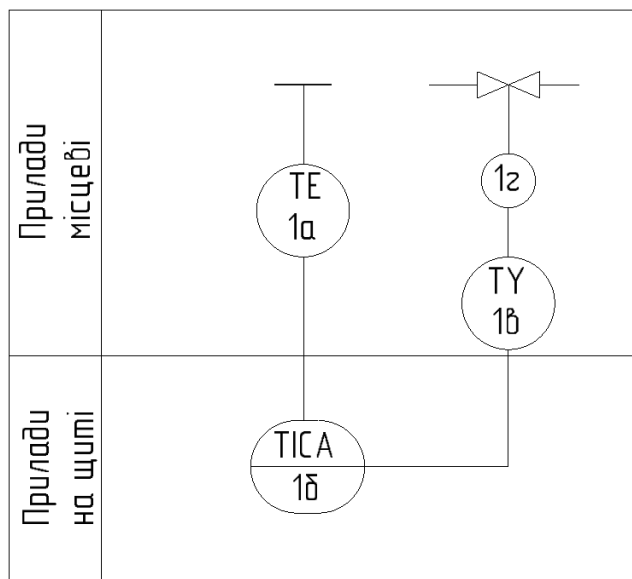


Рисунок 4.1 – Контур контролю і управління температурою запиленого випалювального газу на виході з печі.

До складу каналу управління входить датчик температури, перетворювач сигналу датчика, регулятор, перетворювач сигналу регулятора, виконавчий механізм, виконавчий орган.

4.2 Температуру пари на виході котла-утилізатора будемо регулювати зміною прохідного перетину трубопроводу подачі води на вхід котла-утилізатора шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана.

Канал контролю і управління температурою пари на виході котла-утилізатора представлений на рис. 4.2.

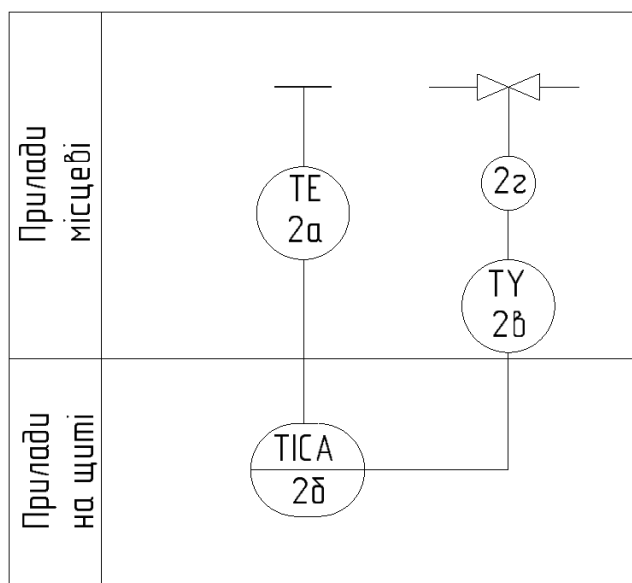


Рисунок 4.2 – Контур контролю і управління температурою пари на виході котла-утилізатора.

До складу каналу управління входить датчик температури, перетворювач сигналу датчика, регулятор, перетворювач сигналу регулятора, виконавчий механізм, виконавчий орган.

4.3 Тиск пари на виході котла-утилізатора будемо контролювати і сигналізувати про вихід за допустимі межі за схемою, представленою на рис. 4.3.

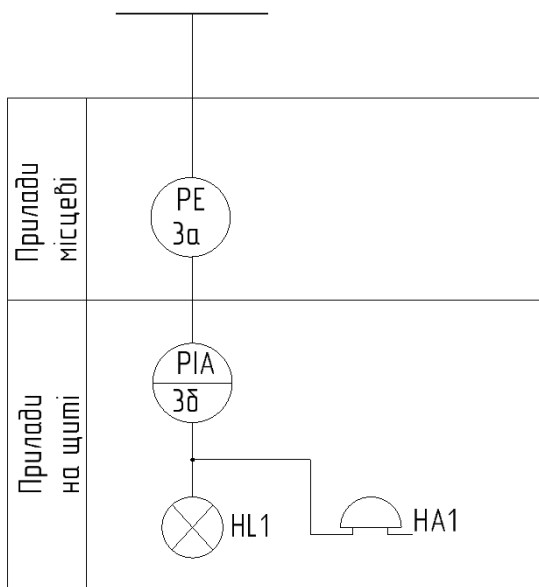


Рисунок 4.3 – Схема контролю і сигналізації тиску пари на виході котла-утилізатора.

До складу каналу контролю і сигналізації входить датчик тиску, перетворювач сигналу датчика, пристрій для показань і пристрої для сигналізації.

4.4 Температуру 93-94% -ної сірчаної кислоти на зрошення насадкової сушильної вежі будемо регулювати зміною прохідного перетину трубопроводу подачі кислоти на вхід насадкової сушильної башти через холодильник кислоти шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана.

Канал контролю і управління температурою 93-94% -ної сірчаної кислоти на зрошення насадкової сушильної вежі представлений на рис. 4.4.

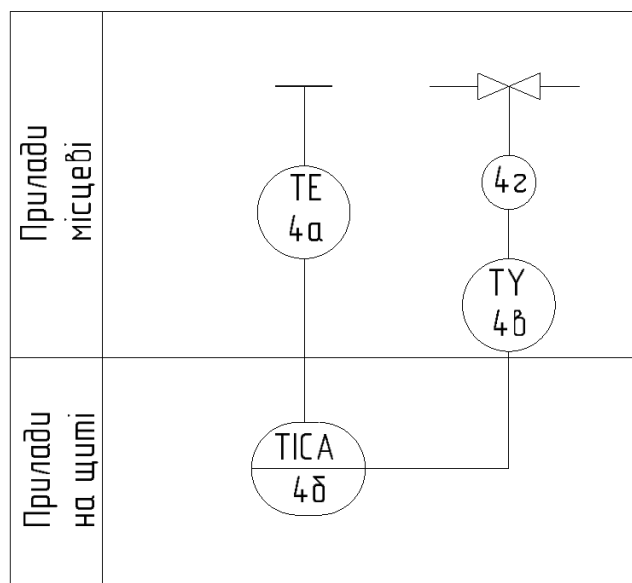


Рисунок 4.4 – Контур контролю і управління температурою 93-94% -ної сірчаної кислоти на зрошення насадкової сушильної вежі.

До складу каналу управління входить датчик температури, перетворювач сигналу датчика, регулятор, перетворювач сигналу регулятора, виконавчий механізм, виконавчий орган.

4.5 Температуру реакційного газу на перший шар контактного апарату будемо регулювати зміною прохідного перетину трубопроводу подачі реакційного газу із теплообмінника контактного вузла шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана.

Канал контролю і управління температурою реакційного газу на перший шар контактного апарату представлений на рис. 4.5.

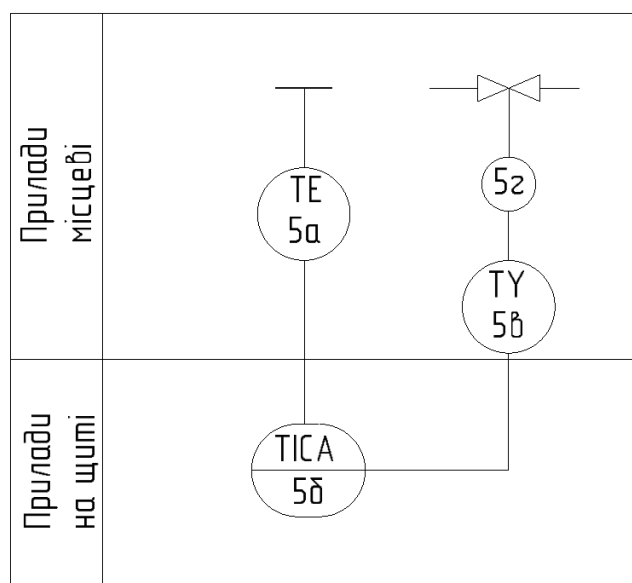


Рисунок 4.5 – Контур контролю і управління температурою реакційного газу на перший шар контактного апарату.

До складу каналу управління входить датчик температури, перетворювач сигналу датчика, регулятор, перетворювач сигналу регулятора, виконавчий механізм, виконавчий орган.

4.6 Температуру реакційного газу з першого шару контактного апарату будемо контролювати і сигналізувати про вихід за допустимі межі за схемою, представленою на рис. 4.6.

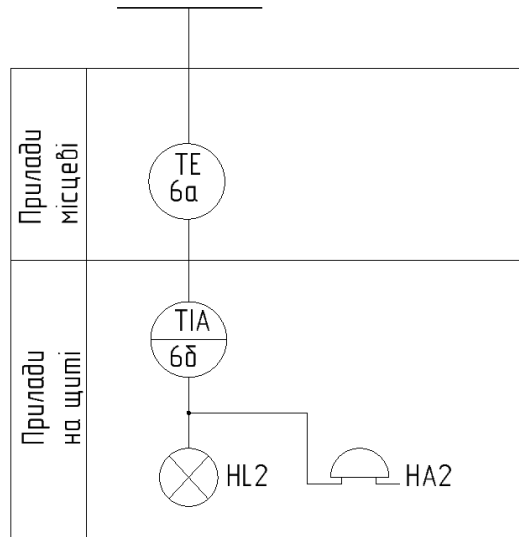


Рисунок 4.6 – Схема контролю і сигналізації температури реакційного газу з першого шару контактного апарату.

До складу каналу контролю і сигналізації входить датчик температури, перетворювач сигналу датчика, пристрій для показань і пристрої для сигналізації.

4.7 Температуру реакційного газу на другий шар будемо регулювати зміною прохідного перетину трубопроводу подачі реакційного газу із теплообмінника контактної вузла шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана.

Канал контролю і управління температурою реакційного газу на другий шар контактної апарату представлений на рис. 4.7.

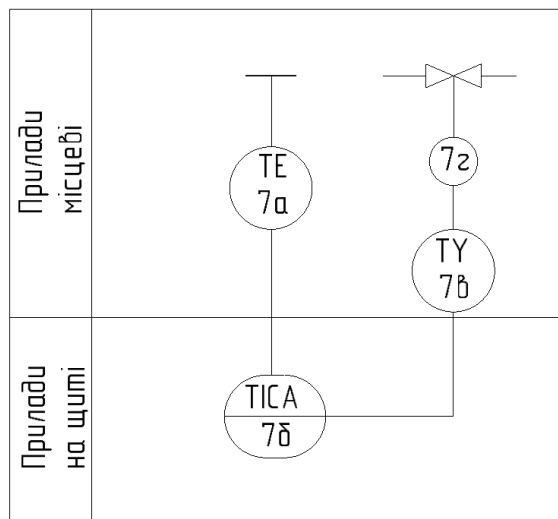


Рисунок 4.7 – Контур контролю і управління температурою реакційного газу на другий шар контактної апарату.

До складу каналу управління входить датчик температури, перетворювач сигналу датчика, регулятор, перетворювач сигналу регулятора, виконавчий механізм, виконавчий орган.

4.8 Температуру реакційного газу з другого шару контактного апарату будемо контролювати і сигналізувати про вихід за допустимі межі за схемою, представленою на рис. 4.8.

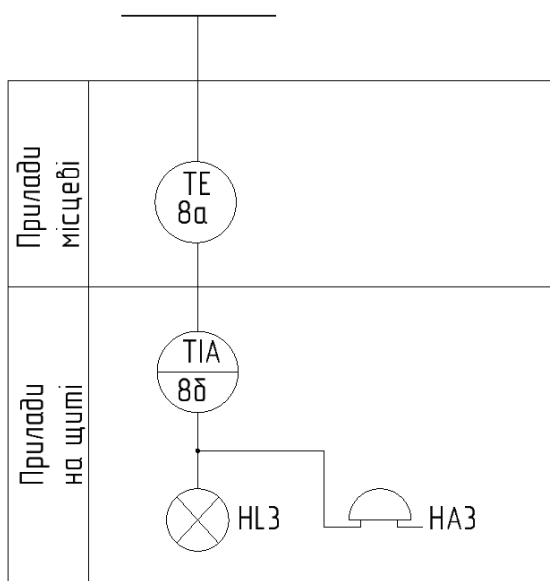


Рисунок 4.8 – Схема контролю і сигналізації температури реакційного газу з другого шару контактного апарату.

До складу каналу контролю і сигналізації входить датчик температури, перетворювач сигналу датчика, пристрій для показань і пристрої для сигналізації.

4.9 Температуру реакційного газу на третій шар контактного апарату будемо регулювати зміною прохідного перетину трубопроводу подачі реакційного газу із теплообмінника контактної вузла шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана.

Канал контролю і управління температурою реакційного газу на третій шар контактного апарату представлений на рис. 4.9.

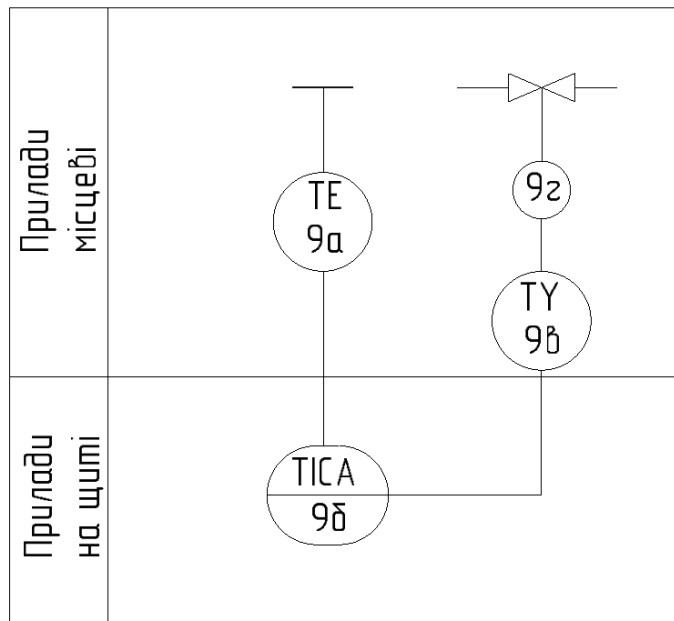


Рисунок 4.9 – Контур контролю і управління температурою реакційного газу на третій шар контактного апарату.

До складу каналу управління входить датчик температури, перетворювач сигналу датчика, регулятор, перетворювач сигналу регулятора, виконавчий механізм, виконавчий орган.

4.10 Температуру реакційного газу з третього шару контактної апарату будемо контролювати і сигналізувати про вихід за допустимі межі за схемою, представленою на рис. 4.10.

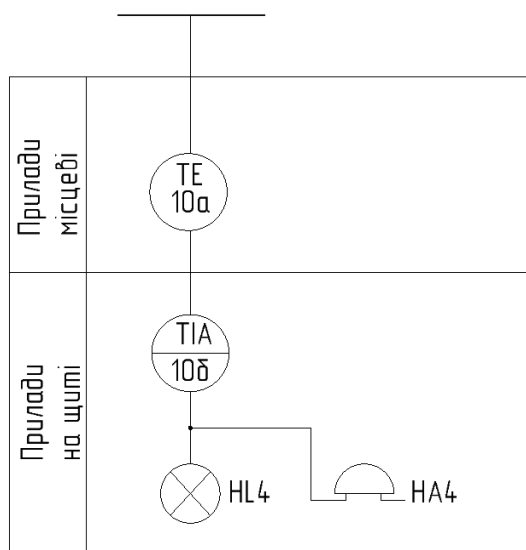


Рисунок 4.10 – Схема контролю і сигналізації температури реакційного газу з третього шару контактної апарату.

До складу каналу контролю і сигналізації входить датчик температури, перетворювач сигналу датчика, пристрій для показань і пристрої для сигналізації.

4.11 Температуру реакційного газу в олеумний абсорбер будемо регулювати зміною прохідного перетину трубопроводу подачі реакційного газу із теплообмінника контактного вузла шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана.

Канал контролю і управління температурою реакційного газу в олеумний абсорбер представлений на рис. 4.11.

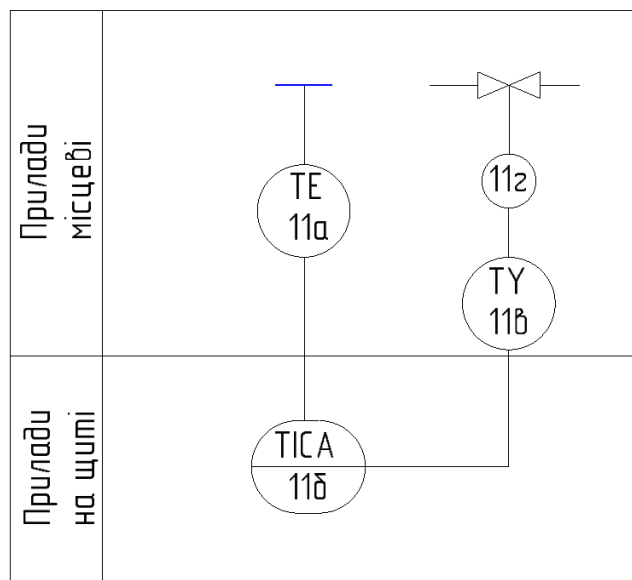


Рисунок 4.11 – Контур контролю і управління температурою реакційного газу в олеумний абсорбер.

До складу каналу управління входить датчик температури, перетворювач сигналу датчика, регулятор, перетворювач сигналу регулятора, виконавчий механізм, виконавчий орган.

4.12 Температуру реакційного газу на четвертий шар контактного апарату будемо регулювати зміною прохідного перетину трубопроводу подачі реакційного газу із теплообмінника контактного вузла шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана.

Канал контролю і управління температурою реакційного газу на четвертий шар контактного апарату представлений на рис. 4.12.

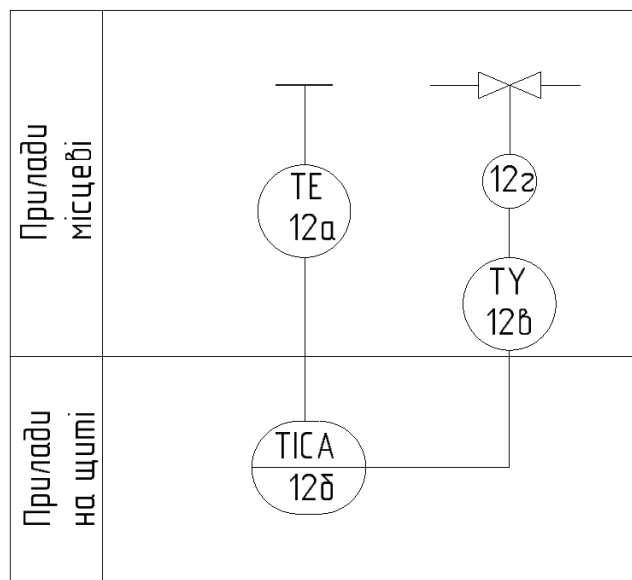


Рисунок 4.12 – Контур контролю і управління температурою реакційного газу на четвертий шар контактнього апарату.

До складу каналу управління входить датчик температури, перетворювач сигналу датчика, регулятор, перетворювач сигналу регулятора, виконавчий механізм, виконавчий орган.

4.13 Температуру реакційного газу з четвертого шару контактнього апарату будемо контролювати і сигналізувати про вихід за допустимі межі за схемою, представленою на рис. 4.13.

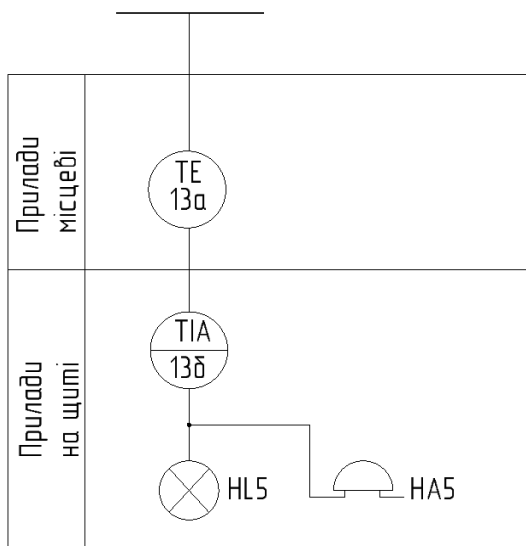


Рисунок 4.13 – Схема контролю і сигналізації температури реакційного газу з четвертого шару контактнього апарату.

До складу каналу контролю і сигналізації входить датчик температури, перетворювач сигналу датчика, пристрій для показань і пристрої для сигналізації.

4.14 Температуру реакційного газу на п'ятий шар контактного апарату будемо регулювати зміною прохідного перетину трубопроводу подачі реакційного газу із теплообмінника контактного вузла шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана.

Канал контролю і управління температурою реакційного газу на п'ятий шар контактного апарату представлений на рис. 4.14.

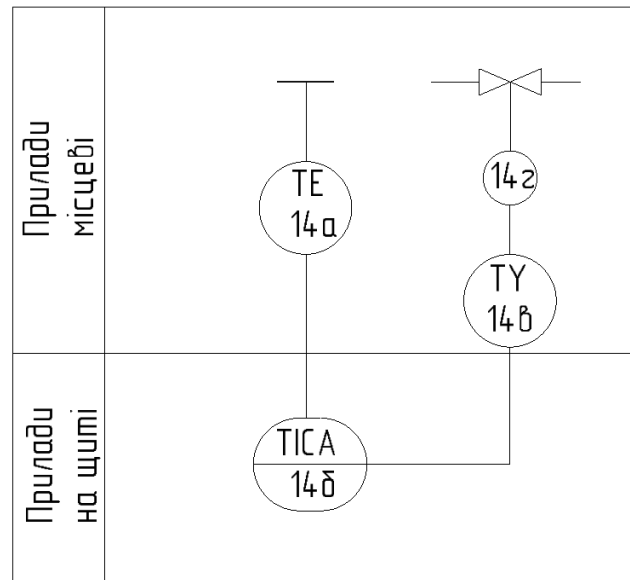


Рисунок 4.14 – Контур контролю і управління температурою реакційного газу на п'ятий шар контактного апарату.

До складу каналу управління входить датчик температури, перетворювач сигналу датчика, регулятор, перетворювач сигналу регулятора, виконавчий механізм, виконавчий орган.

5 ВИБІР ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

5.1 Вибір датчиків

Для вимірювання параметрів технологічного процесу потрібно вибрати датчики, що відповідають необхідним межам вимірювань, точності, умовам застосування.

5.1.1 Вибір датчиків температури

5.1.1.1 Датчик для вимірювання температури запиленого випалювального газу на виході з печі

Є особливі вимоги середовища вимірювання – непрозоре абразивне, хімічно агресивне рухливе середовище, номінальна температура 700 °С.

Відповідно до [9] для такого середовища рекомендований датчик із матеріалом захисної арматури 15X25T (зарубіжний аналог AISI 268) до 1050 °С або ХН45Ю до 1300 °С, або 10Х23Н18 до 1000 °С.

За температурою можна використати такі датчики температури: Метран -270 [10], Метран- 2700[11], Метран -280 [12] , Rosemount 848Т[13], Rosemount 248 [14].

Порівняємо їх характеристики в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 _Порівняльні характеристики датчиків температури.

Характеристика	Датчик температури				
	Метран-270	Метран-2700	Метран-280	Rosemount 848Т	Rosemount 248
НСХ (первинний перетворювач)	Pt100(ТСП), 100М(ТСМ), К(ТХА)	К(ТХА), N(ТНН), S(ТПП), В(ТПР), Pt100, 100П(ТСП), 50М, 100М(ТСМ)	К(ТХА), N(ТНН), Pt100(ТСП)	К(ТХА), N(ТНН), S, R(ТПП), В(ТПР), Е(ТХК), J(ТЖК),Т(ТМК), Pt100, Pt200, Pt500, Pt1000, 50П, 100П(ТСП), 50М, 100М, Cu100, Cu50(ТСМ), Ni120	К(ТХА), N(ТНН), S, R(ТПП), В(ТПР), Е(ТХК), J(ТЖК), Т(ТМК), Pt100, Pt200, Pt500, Pt1000(ТСП), Ni120, L(ТХК)
Діапазон вимірювань, °С	-50...1000 -	50...1600 -	50...1200	в залежності від НСХ первинного перетворювача	в залежності від НСХ первинного перетворювача

Продовження таблиці 5.1

Характеристика	Датчик температури				
	Метран-270	Метран-2700	Метран-280	Rosemount 848T	Rosemount 248
Вхідні сигнали первинних перетворювачів (Кількість каналів)	1	1	1	8	1
Діапазон довжин первинного перетворювача, мм	60...3 150	60...10 000 (для поверхневих від 10)	60...3 150	в залежності від первинного перетворювача	50...2 500
Можливий протокол обміну даними/вихідний сигнал вимірювального перетворювача	4 -20 мА	4 -20 мА 20 -4 мА	HART/4- 20 мА	Foundation Fieldbus	HART/4 -20 мА
Міжповітряний інтервал	4 роки	4 роки - для К, N; 5 років- для Pt100, 100П, 100М, 50М; 1 рік - для НСХ S, В	4 роки - для НСХ К, N; 5 років - для НСХ Pt100	5 років - на ВП	на ВП - 2 роки (вир-во Німеччини); - 5 років (вир-во РФ);
Основна похибка вимірювального перетворювача для НСХ Pt100, ± ° С	1,25 похибка збирання	0,4 похибка збирання	0,4 похибка збирання	0,3 похибка тільки ВП	0,2 похибка тільки ВП
Вбудований захист від стрибків напруги	немає	немає	немає	є	
Тип монтажу	у голівці	у голівці/на DIN рейці	у голівці	на DIN рейці	у голівці/на DIN рейці
Діапазон температур довкілля, ° С	-45...70 (опція -50...85)	- 40...85 (опція -51...85)	- 40...70 (опція -50...85)	- 40...85 (опція -50...85)	- 40...85 (опція -51...85, - 60...85)
Ступінь пиловологозахисту	IP65	IP65	IP65	IP66	IP66/IP68
Види виконань по вибухозахисту	Exia и Exd	Exia и Exd	Exia и Exd	Exia	Exia и Exd

Продовження таблиці 5.1

Характеристика	Датчик температури				
	Метран-270	Метран-2700	Метран-280	Rosemount 848T	Rosemount 248
Гальванічна розв'язка (вхід/вихід)	немає	є	є	є	є
РКІ (відображення вимірюваної величини)	немає	Немає	Немає	Немає	Немає
функції діагностики	немає	діагностика первинного перетворювача (обрив і КЗ)	стандартна діагностика HART	діагностика первинного перетворювача (обрив і КЗ), контроль опору термопар, контроль власної температури	стандартна діагностика HART

Характеристики первинних перетворювачів (сенсорів), які можна використовувати при вимірюванні температури, наведені у табл. 5.2.

Таблиця 5.2_Порівняльні характеристики первинних перетворювачів температури Rosemount 0065 і Rosemount 0185[15].

Характеристика	Термоперетворювачі опору Rosemount 0065	Термоелектричні перетворювачі Rosemount 0185
Можливі НСХ	Pt100	J, K, N
Діапазон вимірюваних температур, °С	-196...600	-40...1000
Клас точності	AA (1/3B), A, B	1
Діапазон довжин первинного перетворювача (стандартний), мм	50...2 500	50...2 500
Конструктивне виконання	Без захисної гільзи; Зварна захисна гільза; Суцільновиточена захисна гільза	Без захисної гільзи; Зварна захисна гільза; Суцільновиточена захисна гільза
Кількість ЧЕ	1 чи 2	1 чи 2
Спай для термопар/Схема для термоопорів	3-и, 4-и дрова	Ізольований, неізолюваний
Види виконань по вибухозахисту	Exd, Exia	Exd, Exia
Ступінь захисту по ГОСТ 14254	IP65/IP68 I	IP65/IP68 I
Міжповірочний інтервал	4 роки	4 роки

Продовження таблиці 5.2

Характеристика	Термоперетворювачі опору Rosemount 0065	Термоелектричні перетворювачі Rosemount 0185
Матеріал захисної арматури	1.4404 (AISI 316L), 1.4571 (AISI 316Ti)	1.4404 (AISI 316L), 1.4571 (AISI 316Ti)
Метран – 2000[16]		
	Термоперетворювачі опору	Термоелектричні перетворювачі
Можливі НСХ	100П, Pt100, 50М, 100М	К, N, S, В
Діапазон вимірюваних температур, °С	-50...600	-40...1200
Клас точності	AA(1/3В); А; В; С	1; 2
Діапазон довжин первинного перетворювача (стандартний), мм	60...3150	60...3150
Конструктивне виконання	А – загальнопром.; В - кабельна конструкція; Е - підшипникові	А - загальнопром; А10-11 жароміцні; В - кабельна конструкція; С - комбінована захисна арматура; D - поверхневий; Е - без головок, для потоків, підшипникові
Кількість ЧЕ	1 чи 2	1 чи 2
Спай для термопар/Схема для термоопорів	2-о,3-и, 4-и дротова	Ізольований, неізолюваний
Види виконань по вибухозахисту	Exd, Exia	Exd, Exia
Ступінь захисту по ГОСТ 14254	IP65 з головкою (і для Е07, Е08); IP5Х без головки	IP65/IP68 I
Міжповірочний інтервал	5 років	4 роки
Матеріал захисної арматури	12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т, Л63, Л96	12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т, 10Х23Н18, 15Х25Т, ХН78Т, ХН45Ю, КТВП, КВПТ, БСГ-30, CarSIK-Z, 12Х1МФ, Л63, Л96, AISI 321, Inconel 600, Nicrobel
Метран – 200 [17]		
	Термоперетворювачі опору	Термоелектричні перетворювачі
Можливі НСХ	50М; 50П; 100М; 100П, Pt100	К; L
Діапазон вимірюваних температур, °С	-70...600	-40 ...1000
Клас точності	А; В; С	1; 2

Продовження таблиці 5.2

Характеристика	Термоперетворювачі опору Rosemount 0065	Термоелектричні перетворювачі Rosemount 0185
Діапазон довжин первинного перетворювача (стандартний), мм	60...3150	60...3150
Конструктивне виконання	0 - загального (універсального) призначення; 2 - термоперетворювачі опору з напленням ЧЕ; 4 - підшипникові та поверхневі; 5 - вибухозахищеного виконання	0 - загального (універсального) призначення; 1 - термоелектричні перетворювачі з «благородних металів» (Платина, платинородій); 3 - малоінерційні датчики температури; 4 - підшипникові та поверхневі; 5 - вибухозахищеного виконання; 6 - багатозонні
Кількість ЧЕ	1 чи 2	1 чи 2
Спай для термопар/Схема для термоопорів	2-о,3-и, 4-и дротова	Ізольований, неізольований
Види виконань по вибухозахисту	Exd для 253, 254	Exd для 251, 252
Ступінь захисту по ГОСТ 14254	IP65 з головкою (і для E07, E08); IP5X без головки	IP65/IP68 I
Міжповітряний інтервал	5 років	4 роки
Матеріал захисної арматури	12X18H10T, 10X17H13M2T, Л63, Л96	12X18H10T, 10X17H13M2T, ХН78Т, ХН45Ю, 10X23H18, 15X25Т, КТВЦ, AISI 321, Inconel, 12X1МФ, Л63, Л96, КВПТ, БСГ30, CarSIK-Z

Розглянувши характеристики наведених датчиків, виберемо для вимірювання температури запиленого випалювального газу на виході з печі датчик температури Метран серії 280 з термоелектричним перетворювачем, який підходить для вимірювання за усіма параметрами, а саме, Метран-288-Ех1а із захисною арматурою із матеріалу 10X23H18, який рекомендований для використання в середовищах з присутністю сірчаних (сірчистих) складових.

В якості первинного перетворювача в Метран 288-Ех1а використовуються чутливі елементи з термопарного кабелю з НСХ типу N по ГОСТ 6616 з можливістю вимірювання температури до 1200 °С.

Зв'язок ПТ Метран280 серії з АСУ ТП здійснюється:

- по аналоговому каналу передачею інформації про вимірювану температуру у вигляді постійного струму 4 - 20 мА;

- по цифровому каналу відповідно до HART-протоколу.

Для передачі сигналу на відстань використовуються 2 х провідні струмові лінії.

Датчики Метран для різних параметрів технологічного процесу зарекомендували себе найкраще і широко використовуються в системах управління в Україні.

5.1.1.2 Датчик для вимірювання температури пари на виході котла-утилізатора

Є особливі вимоги середовища вимірювання – перегріта пара тиском 4 МПа, номінальна температура 450 °С.

Для вимірювання температури пари на виході котла-утилізатора використаємо термоперетворювач Метран-286 з НСХ типу Pt100 по ГОСТ 6651 з можливістю вимірювання температури до 500 °С, умовний тиск (Ру) 6,3 МПа, група вібростійкості (Ву) G1.

5.1.1.3 Датчик для вимірювання температури 93-94% -ної сірчаної кислоти на зрошення насадкової сушильної вежі 10

Є особливі вимоги середовища вимірювання – хімічно агресивне середовище, температура 28 - 30 °С.

Для вимірювання температури 93-94% -ної сірчаної кислоти на зрошення насадкової сушильної вежі 10 можна застосувати такі датчики:

датчики для вимірювання температури агресивних середовищ TOPCV-1 і TOPCVE-1 [18];

датчики для вимірювання температури агресивних середовищ TOPSZ-157 і TOPSZE-157 [19];

датчик для вимірювання температури агресивних середовищ TOPE-142 <https://kip-e.ru/olderfiles/Limatherm/pdf/TOPE-142.pdf> [20];

аналоговий перетворювач температури з уніфікованим вихідним сигналом ТСМУ Метран-274 з НСХ типу 50М [21].

Таблиця 5.3_Технічні характеристики датчиків для вимірювання температури агресивних середовищ TOPCV-1, TOPCVE-1 [18]

Діапазон вимірювань температури/перетворюючий елемент	0÷100°C / Pt100 кл. В.
Оболонка:	матеріал сталь 1.4541, покрита теплостійким полівінілом; довжина L [мм]: 200÷2000
Головка для TOPCV-1:	В, IP54, -30÷130°C
Кабель для TOPCVE-1:	кабель Cu 2 чи 4 x 0,22 мм ² в подвійній тефлоновій ізоляції; довжина L _p [м]: 1,5 (стандарт)
Опції	Pt500, Pt1000, Ni100, Ni1000 Pt100: кл. AA 0÷100°C

Таблиця 5.4_Технічні характеристики датчиків для вимірювання температури агресивних середовищ TOPSZ-157, TOPSZE-157[19]

Діапазон вимірювань температури/перетворюючий елемент	0÷500°C / Pt100 кл. В з голівкою; 0÷180°C Pt100 кл. В з кабелем.
Оболонка:	боросилікатне скло SIMAX Ø15 или Ø10 мм; довжина L [мм]: 300÷680 для оболонки Ø15 мм; 300÷480 для оболонки Ø10 мм; довжина L ₁ [мм]: 300÷700 для Ø15 мм; 300÷500 для Ø10 мм; несуча оболонка: тефлон Ø15, 22 мм
Голівка для TOPSZ-157:	В, IP54, -30÷130°C
Кабель для TOPSZE-157:	кабель Cu 2 чи 4 x 0,22 мм ² в подвійній тефлоновій ізоляції; довжина L _p [м]: 1,5 (стандарт) чи інша
Опції	Pt500, Pt1000, Ni100, Ni1000 Pt100: кл. А -50÷450°C, кл. AA -50÷250°C

Таблиця 5.5_Технічні характеристики датчика для вимірювання температури агресивних середовищ TOPE-142[20]

Діапазон вимірювань температури/перетворюючий елемент	-50÷250°C / Pt100 кл. В
Оболонка:	матеріал оболонки і рукоятки: тефлон діаметр [мм]: Ø6/Ø10 довжина L [мм]: макс. 115
Кабель	кабель Cu 2 чи 4 x 0,22 мм ² в подвійній тефлоновій ізоляції; довжина Lp [м]: 1,5 (стандарт)
Опції	Pt500, Pt1000, Ni100, Ni1000 Pt100: кл. А -30÷250°C, кл. АА 0÷150°C
Додаткове оснащення	плоска міні-вилка типу SMPW (2-пінова) або MTP (3-пінова)

Таблиця 5.6_Технічні характеристики термоперетворювача з уніфікованим вихідним сигналом Метран-274 з НСХ типу 50М[21]

Діапазон вимірювань температури/перетворюючий елемент	-50...50, 0...50 /°50М кл. В
Оболонка:	матеріал сталь 10X17Н13М2Т діаметр [мм]: Ø8/Ø10 довжина L [мм]: макс. 3150
Голівка	Матеріал голівки поліамід Технамід® А-СВ-Л
Ступінь захисту термоперетворювача від впливу пилу і води	IP65 по ГОСТ 14254
IP65 по ГОСТ 14254	Pt500, Pt1000, Ni100, Ni1000 Pt100: кл. А -30÷250°C, кл. АА 0÷150°C
Вібростійкість	група виконання V1 по ГОСТ Р 52931
Вихідний сигнал	4-20мА 3-и дротове підключення
Напруга живлення	від 18 до 42 В постійного струму для термоперетворювачів з вихідним сигналом 4 20 мА

Для вимірювання температури 93-94% -ної сірчаної кислоти на зрошення насадкової сушильної вежі 10 використаємо термоперетворювач з уніфікованим вихідним сигналом Метран-274 з НСХ типу 50М з можливістю вимірювання температури до 50 ° С для агресивних середовищ як такий, що найбільше підходить до даних умов експлуатації.

5.1.1.4 Датчик для вимірювання температури реакційного газу на перший шар контактного апарату

Є особливі вимоги середовища вимірювання –хімічно агресивне рухливе середовище, температура 420-440 °С.

Знаючи характеристики наведених датчиків, виберемо для вимірювання температури реакційного газу на перший шар контактного апарату датчик температури Метран серії 280 з термоелектричним перетворювачем, який підходить для вимірювання за усіма параметрами, а саме, Метран-288-Ехіа із захисною арматурою із матеріалу 10Х23Н18, який рекомендований для використання в середовищах з присутністю сірчаних (сірчистих) складових.

5.1.1.5 Датчик для вимірювання температури реакційного газу з першого шару контактного апарату

Є особливі вимоги середовища вимірювання –хімічно агресивне рухливе середовище, номінальна температура 600 °С.

Знаючи характеристики наведених датчиків, виберемо для вимірювання температури реакційного газу з першого шару контактного апарату датчик температури Метран серії 280 з термоелектричним перетворювачем, який підходить для вимірювання за усіма параметрами, а саме, Метран-288-Ехіа із захисною арматурою із матеріалу 10Х23Н18, який рекомендований для використання в середовищах з присутністю сірчаних (сірчистих) складових.

5.1.1.6 Датчик для вимірювання температури реакційного газу на другий шар контактного апарату

Є особливі вимоги середовища вимірювання –хімічно агресивне рухливе середовище, номінальна температура 465 °С.

Знаючи характеристики наведених датчиків, виберемо для вимірювання температури реакційного газу на другий шар контактного апарату датчик температури Метран серії 280 з

термоелектричним перетворювачем, який підходить для вимірювання за усіма параметрами, а саме, Метран-288-Ехіа із захисною арматурою із матеріалу 10Х23Н18, який рекомендований для використання в середовищах з присутністю сірчаних (сірчистих) складових.

5.1.1.7 Датчик для вимірювання температури реакційного газу з другого шару контактного апарату

Є особливі вимоги середовища вимірювання –хімічно агресивне рухливе середовище, номінальна температура 514 °С.

Знаючи характеристики наведених датчиків, виберемо для вимірювання температури реакційного газу з другого шару контактного апарату датчик температури Метран серії 280 з термоелектричним перетворювачем, який підходить для вимірювання за усіма параметрами, а саме, Метран-288-Ехіа із захисною арматурою із матеріалу 10Х23Н18, який рекомендований для використання в середовищах з присутністю сірчаних (сірчистих) складових.

5.1.1.8 Датчик для вимірювання температури реакційного газу на третій шар контактного апарату

Є особливі вимоги середовища вимірювання –хімічно агресивне рухливе середовище, номінальна температура 450 °С.

Знаючи характеристики наведених датчиків, виберемо для вимірювання температури реакційного газу на третій шар контактного апарату датчик температури Метран серії 280 з термоелектричним перетворювачем, який підходить для вимірювання за усіма параметрами, а саме, Метран-288-Ехіа із захисною арматурою із матеріалу 10Х23Н18, який рекомендований для використання в середовищах з присутністю сірчаних (сірчистих) складових.

5.1.1.9 Датчик для вимірювання температури реакційного газу з третього шару контактного апарату

Є особливі вимоги середовища вимірювання –хімічно агресивне рухливе середовище, номінальна температура 470 °С.

Знаючи характеристики наведених датчиків, виберемо для вимірювання температури реакційного газу з третього шару контактного апарату датчик температури Метран серії 280 з термоелектричним перетворювачем, який підходить для вимірювання за усіма параметрами, а

саме, Метран-288-Ехіа із захисною арматурою із матеріалу 10Х23Н18, який рекомендований для використання в середовищах з присутністю сірчаних (сірчистих) складових.

5.1.1.10 Датчик для вимірювання температури реакційного газу на вході в олеумний абсорбер

Є особливі вимоги середовища вимірювання –хімічно агресивне рухливе середовище, номінальна температура 470 °С.

Знаючи характеристики наведених датчиків, виберемо для вимірювання температури реакційного газу на вході в олеумний абсорбер використаємо термоперетворювач з уніфікованим вихідним сигналом Метран-274 з НСХ типу 100М з можливістю вимірювання температури до 150 ° С для агресивних середовищ якк такий, що найбільше підходить до даних умов експлуатації.

5.1.1.11 Датчик для вимірювання температури реакційного газу на четвертий шар контактного апарату

Є особливі вимоги середовища вимірювання –хімічно агресивне рухливе середовище, номінальна температура 430 °С.

Знаючи характеристики наведених датчиків, виберемо для вимірювання температури реакційного газу на четвертий шар контактного апарату датчик температури Метран серії 280 з термоелектричним перетворювачем, який підходить для вимірювання за усіма параметрами, а саме, Метран-288-Ехіа із захисною арматурою із матеріалу 10Х23Н18, який рекомендований для використання в середовищах з присутністю сірчаних (сірчистих) складових.

5.1.1.12 Датчик для вимірювання температури реакційного газу з четвертого шару контактного апарату

Є особливі вимоги середовища вимірювання –хімічно агресивне рухливе середовище, номінальна температура 449 °С.

Знаючи характеристики наведених датчиків, виберемо для вимірювання температури реакційного газу з четвертого шару контактного апарату датчик температури Метран серії 280 з термоелектричним перетворювачем, який підходить для вимірювання за усіма параметрами, а

саме, Метран-288-Ехіа із захисною арматурою із матеріалу 10Х23Н18, який рекомендований для використання в середовищах з присутністю сірчаних (сірчистих) складових.

5.1.1.13 Датчик для вимірювання температури реакційного газу на п'ятий шар контактного апарату

Є особливі вимоги середовища вимірювання –хімічно агресивне рухливе середовище, номінальна температура 409 °С.

Знаючи характеристики наведених датчиків, виберемо для вимірювання температури реакційного газу на п'ятий шар контактного апарату датчик температури Метран серії 280 з термоелектричним перетворювачем, який підходить для вимірювання за усіма параметрами, а саме, Метран-288-Ехіа із захисною арматурою із матеріалу 10Х23Н18, який рекомендований для використання в середовищах з присутністю сірчаних (сірчистих) складових.

5.1.2 Вибір датчиків тиску

4.1.1.1 Датчик для вимірювання тиску пари на виході котла-утилізатора

Є особливі вимоги середовища вимірювання – перегріта пара температурою 450 °С, номінальний тиск 4 МПа,.

Для вимірювання тиску пари на виході котла-утилізатора можна застосувати високотемпературні датчики тиску GEFTRAN:

серії КЗ - датчики тиску для високих температур з виходом mV/V[22];

серії КЕ - датчики тиску для високих температур з виходом 4 ... 20 мА[23];

серії КN - датчики тиску для високих температур з виходом за напругою[24].

К-серія використовує принцип і конструкцію стандарту тиску розплаву, але вимірюючий матеріал (NaK-натрій-калій) майже нестискуваний при передачі тиску.

Порівняємо їх характеристики (табл.5.7 -табл.5.9).

Таблиця 5.7_Технічні характеристики датчиків серії K3[22]

Діапазони тиску	0-35 ... 0-1000 бар/0-500 ... 0-15000 psi
Точність ¹⁾	H \leq ±0,25% FSO (100 ... 1000 бар) M \leq ±0,5% FSO (35 ... 1000 бар)
Максимум надлишкового тиску (із погіршеними характеристиками)	2×FSO
Принцип вимірювання	Тензоміст
Опір мосту	3500 Ом(550 Ом нижче 100 бар/1500 psi)
Живлення	6...12 Vdc (10 Vdc- типове)
Опір ізоляції (при 50 Vdc)	>1000 Ом
Повна шкала вихідного сигналу (FSO) (допуск ±0,5 % FSO)	2,5 mV/V (опція 2) 3,33 mV/V (опція 3)
Баланс нуля	±5%
Сигнал калібрування	80% FSO
Діапазон компенсованих температур	0...+100 °C
Максимум температури на діафрагмі	538 °C
Дрейф нуля через зміну температури процесу	<33.% бар/100°C
Матеріал у контакті з середовищем процесу - стандарт	17-7Рифлена діафрагма із GTP покриттям для діапазонів <100 бар/1500 psi
Термопара	Стандарт: тип J (ізолюваний спай)
Електричне з'єднання	6-pin роз'єм VPT07RA10-6PT (PT02A-10-6PT) 8-pin роз'єм PC02E-12-8P
Ступінь захисту (із 6-ти жильним штуцером з внутрішньою різьбою)	IP65

FSO – вихід повної шкали.

GTP (розширений захист) – покриття з високою стійкістю до корозії, абразивів і високої температури.

¹⁾ BFSL – Best Fit Straight Line, метод (найкраща пряма лінія) -увібрала в себе сумісний ефект нелінійності, гістерезису і повторюваності.

Таблиця 5.8_Технічні характеристики KE – серії[23]

Діапазони тиску	0-35 ... 0-1000 бар/0-500 ... 0-15000 psi
Точність ¹⁾	H$\pm 0,25\% \text{ FSO}$ (100...1000 бар) M$\pm 0,5\% \text{ FSO}$ (35...1000 бар)
Максимум надлишкового тиску (із погіршеними характеристиками)	2×FSO; 1,5×FSO вище 1000 бар/15000 psi
Принцип вимірювання	Екстенціометричний
Живлення	10...30 Vdc
Поглинання струму, максимальне	32 mA
Опір ізоляції (при 50 Vdc)	>1000 МОм
Повна шкала вихідного сигналу (FSO)	20 mA
Баланс нуля (допуск $\pm 0,25\% \text{ FSO}$)	4 mA
Регулювання нульових сигналів (допуск $\pm 0,25\% \text{ FSO}$)	Функція «автообнулення»
Час відгуку електроніки (10-90)% FSO	1 мс
Завади на виході (RMS 10 – 400) Гц	$\pm 0,25\% \text{ FSO}$
Сигнал калібрування	80% FSO
Захист від КЗ на виході і зворотної полярності	є
Захист від стрибків напруги	>2kV випробування на розривання у відповідності до EN61000-4-4
Діапазон компенсованих температур	0...+85 °C
Діапазон робочих температур	-30...+105 °C
Максимум температури на діафрагмі	538 °C
Дрейф нуля (нуль)	<math>< 3,5 \text{ бар}/100^\circ\text{C}</math>
Термопара (модель KE2)	Стандарт: тип J (ізольований спай)
Ступінь захисту (із 6-ти жильним штуцером з внутрішньою різьбою)	IP65

Таблиця 5.9_Технічні характеристики KN – серії[24]

Діпазони тиску	0-35 ... 0-1000 бар/0-500 ... 0-15000 psi
Точність ¹⁾	H \leq \pm 0,25% FSO M \leq \pm 0,5% FSO
Максимум надлишкового тиску (без погіршення характеристик)	2 \times FSO
Принцип вимірювання	Екстенціометричний
Живлення	15...30 Vdc N, C 10...30 Vdc B, M
Максимальна споживана потужність	25 мВт
Опір ізоляції (при 50 Vdc)	>1000 МОм
Вихідний сигнал на повній шкалі (FSO)	5 Vdc (M, H) - 10 Vdc (N, L); 0,1 Vdc (B, C)
Баланс нуля (допуск \pm 0,25% FSO)	0,5 Vd (M, N, H, L); 0,1 Vdc (B, C)
Регулювання нульових сигналів (допуск \pm 0,25% FSO)	Функція «автонуль»
Максимальний споживаний струм	1 мА
Час відгуку електроніки (10-90)% FSO	1 мс
Завади на виході (RMS 10 – 400) Гц	\pm 0,25% FSO
Сигнал калібрування	80% FSO
Захист від КЗ на виході і зворотної полярності	ϵ
Захист від стрибків напруги	>2kV випробування на розривання у відповідності до EN61000-4-4
Діпазон компенсованих температур	0...+85 °C
Діпазон робочих температур	-30...+105 °C
Максимум температури на діафрагмі	538 °C
Дрейф нуля (нуль)	<3,5 бар/100°C

Продовження таблиці 5.9.

Термопара (модель KN2)	Стандарт: тип J (ізолюваний спай)
Ступінь захисту (із 6-ти жильним штуцером з внутрішньою різьбою)	IP65

Порівнявши наведені характеристики, можна зробити висновок, що за діапазоном вимірювання, точністю, ступенем захисту, швидкодією та іншими параметрами вони мають незначні відмінності, які не впливають на їх функціональне призначення. Але датчики тиску серії KE мають стандартний струмовий вихідний сигнал 4 ... 20 мА. Тому для вимірювання тиску пари на виході котла-утилізатора застосуємо високотемпературний датчик тиску GEFRAN серії KE.

5.2 Вибір регулюючих органів

5.2.1 Канал контролю і управління температурою запиленого випалювального газу на виході печі.

Управління температурою запиленого випалювального газу на виході печі здійснюється регулюванням витрати повітря на вході печі шляхом зміни прохідного перетину трубопроводу подачі повітря в піч шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана.

Особливих вимог до регулюючого клапана немає.

Розглянемо декілька підходящих клапанів і виберемо один із них для використання.

Універсальні повітряні клапани С-KVK[25] призначені для регулювання витрати припливного і витяжного повітря.

Опрацьоване повітря повинно бути підготовленим, не повинно містити тверді, волокнисті, клейкі або агресивні домішки.

Клапани Серії С-KVK мають круглий перетин і круглий корпус із встановленою усередині лопаткою. Така конструкція забезпечує пропорційну залежність витрати повітря через клапан від кута повороту лопатки.

Конструктивні елементи повітряних клапанів виконані з оцинкованої сталі. По периметру лопатка забезпечена гумовим ущільнювачем.

В якості виконавчого механізму використовуються:

- ручний привід для місцевого ручного управління;
- електропривід для дистанційного керування клапаном.

Для повітряних клапанів використовують приводи «відкрито-закрито» або з пружинним поверненням плавного регулювання або двохпозиційні, 220 В чи 24 В.

Клапан повітряний зберігає працездатність незалежно від просторової орієнтації.

Регулятор витрати повітря Systemair Tune-R[26].

Клапан для контролю і регулювання витрати повітря Tune-R від шведської компанії Systemair призначений для круглих повітроводів з ручним або механічним керуванням. Крила клапана Tune-R-2 мають 1 клас герметичності, а клапана Tune-R-3 - 4 клас.

Корпус клапанів Systemair Tune-R має герметичність класу C (згідно з EN +1751).

Спеціальна конструкція клапана дозволяє зовні ізолювати його шаром ізоляції 50 мм. Випускаються клапани типорозмірів Ø80-630.

Максимальна робоча температура: 100 °C. Максимальний тиск повітря тисячі Па.

Клапан виготовлений з оцинкованої листової сталі. Втулки виготовлені з чорної гуми. Пластикові прокладки виготовлені з поліпропілену. Всі комплектуючі повільно горючі. Клапан цієї версії поставляється з поворотним приводом.

Версії приводів

M0 - підготовлений до установки приводу;

M1 - 230V поворотний привід;

M2 - 24V поворотний привід;

M3 - 24V, 0-10V управляемий привід;

M4 - 230V привід з пружинним поверненням;

M5 - 24V привід з пружинним поверненням;

M6 - 24V, 0-10V привід з пружинним поверненням.

Електромагнітні клапани для повітря Elektrogas[27] типів VRA, VLA, VTA виробництва Elettromeccanica Delta S.p.A. (Італія) є закритими клапанами, спеціально розробленими для регулювання і подачі повітря горіння. Цей тип обладнання підходить для великого/малого управління повітрям горіння в промислових пальниках.

Даний тип пристрою підходить для закриття, регулювання (збільшення або зменшення) подачі повітря для згоряння в промислових газових пальниках. Випускаються в розмірах: різьби $\frac{3}{4}$ " - 2 " $\frac{1}{2}$, фланці DN40-DN80. Температура повітря до +60 ° C, тиск до 200 мбар. За запитом випускаються у вибухозахищеному виконанні (Ex).

Технічні характеристики.

Клапани виробляються з литого під тиском алюмінію з великим діапазоном приєднань, від DN 20 до DN 80.

Використовуються для безперервної роботи (100% ED).

Клапан поставляється без внутрішнього фільтра, так як в більшості випадків повітря дуже брудне і швидко засмічує фільтр, але установлене спеціальне сидло, здатне протистояти рухомим механічним частинкам.

Забезпечені отворами G1/4 "на двох сторонах вхідної камери, для підключення манометрів, реле тиску та ін. Фланцеві моделі забезпечені ним також і на вихідній камері.

Котушки забезпечені клемної коробкою або коннектором ISO 4400 (опція). Обидва варіанти забезпечені ущільнювачем кабелю для запобігання попадання води і бруду.

Всі вузли спроектовані, щоб витримувати будь-які механічні, хімічні та термічні умови під час експлуатації. Ефективна обробка поверхонь покращує механічну стійкість і стійкість до корозії елементів.

Додаткові опції:

- Розміри 1 "¼, 1" ½ і 2" можуть бути забезпечені отвором G1/4" також і на вихідній камері;
- Клас захисту може бути підвищений до IP65. Клапани будуть забезпечені ущільненою клемною коробкою і кабельним набором;
- Всі клапани можуть бути вибухозахищеними відповідно до директиви 94/9/EC (ATEX);
- Електричне з'єднання може бути за допомогою стандартного коннектора ISO 44004
- Різьбові моделі Rp1"1/2 і Rp2" можуть комплектуватися набором фланців;
- Клапани можуть бути з байпасним каналом в корпусі для малого горіння.

Клапани компанії Samson.

Серія 240 (прохідний клапан тип 3241)[28].

Регулюючий клапан для технологічних промислових установок, що відповідає стандартам DIN, ANSI и JIS

- Номінальний діаметр DN 15 до 300 · NPS ½ до 12 · DN 15A до 300A;
- Номінальний діаметр PN 10 до 40 · Class 125 до 300 · JIS 10K/20K;
- Температура робочого середовища –196 до +450 °C.

Властивості:

- прохідний клапан з пневматичним або електричним приводом;
- корпус клапана за вибором з сірого чавуну, чавуну з кулястим графітом, сталевого литва, кованої сталі, хладостойких і високолегованих сталей або спеціальних матеріалів;
- плунжер клапана з ущільненням м'яким, металевим або металевим для підвищених вимог.

Прохідний клапан · Тип 3321.

Регулюючий клапан для технологічних процесів і промислових установок, що використовують рідкі і газоподібні робочі середовища, а також водяну пару. За вибором прохідний або триходовий клапан згідно DIN чи ANSI.

Тип 3321/3323-E1 електричний регулюючий клапан: електричний привід Тип 5824 для 230 В/50 Гц і 24 В/50 Гц.

Тип 3321/3323-E3 електричний регулюючий клапан: електричний привід Тип 3374 для 230 В/50 Гц чи 60 Гц, 24 В/50 Гц чи 60 Гц, додатково: з функцією безпеки.

Розглянувши наведені пристрої, зупинимося на клапані компанії Samson Тип 3321/3323-E1 електричний регулюючий клапан: електричний привід Тип 5824 для 24 В/50 Гц і виберемо його для регулювання витрати повітря на вході печі шляхом зміни прохідного перетину трубопроводу подачі повітря в піч, як такий, що найкраще задовольняє вимоги.

5.2.2 Канал контролю і управління температурою пари на виході котла-утилізатора.

Управління температурою пари на виході котла-утилізатора здійснюється регулюванням витрати води на вході котла-утилізатора шляхом зміни прохідного перетину трубопроводу подачі води в котел-утилізатор шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана.

Особливих вимог до регулюючого клапану немає.

Виберемо клапан компанії Samson Тип 3321/3323-E1 електричний регулюючий клапан: електричний привід Тип 5824 для 24 В/50 Гц для регулювання витрати води на вході котла-утилізатора шляхом зміни прохідного перетину трубопроводу подачі води в котел-утилізатор, як такий, що найбільше задовольняє вимоги.

5.2.3 Канал контролю і управління температурою 93-94% -ної сірчаної кислоти на зрошення насадкової сушильної вежі 10.

Управління температурою 93-94% -ної сірчаної кислоти на зрошення насадкової сушильної вежі 10 здійснюється зміною прохідного перетину трубопроводу подачі кислоти на вхід насадкової сушильної вежі через холодильник кислоти шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана

Особливі вимоги до регулюючого клапану агресивне середовище - 93-94% -на сірчана кислота.

Розглянемо декілька підходящих клапанів і виберемо один із них для використання.

Bürkert 0142[29] 2/2-ходовий сервоуправляємий електромагнітний клапан для агресивних середовищ. DN15-50, PN0.5-6.

Клапан Bürkert 0142 є мембранним клапаном із сервоуправлінням. Для відкриття і закриття клапана потрібен мінімальний перепад тиску 0,5 бар. Залежно від області застосування доступні різні комбінації матеріалів мембрани і різні методи роботи. 2/2-ходовий пілотний клапан можна легко перетворити з нормально замкнутого в нормально розімкнутий, повернувши його на основному сидлі. Зворотній зв'язок по положенню пілотного клапана може відбуватися за допомогою сигналу перемикачання або сигналу NAMUR. Котушки соленоїда залиті хімічно стійкою епоксидною смолою. Клапан 0142 оснащений ручним дублером для введення в експлуатацію і тестування. Для зниження енергоспоживання при роботі доступні котушки з електронікою "Kick and Drop" (KD) (технологія подвійного котушки). У поєднанні з кабельної вилкою відповідно до DIN EN 175301-803, форма А, клапани відповідають класу захисту IP65 і NEMA 4X.

Мембрана з сервоуправлінням діаметром до DN50.

Пластиковий клапан для агресивних і забруднених середовищ.

Версія з відділенням від носія, без металу.

Зручне в обслуговуванні ручне дублювання.

Надійність перемикачання з функцією зворотного зв'язку (доступно як опція).

Технічні дані.

Отвір DN 15-50.

Матеріал корпусу ПВХ, ПВДФ (на замовлення).

Клапан внутрішньої частини PVDF.

Матеріал пломби FKM, EPDM.

Робоче середовище: луги, лужні промивні та відбілюючі луги, кислоти та речовини, що окислюють, розчини солей.

Температура середовища:

Корпус з ПВХ від 0 до + 50 ° C;

PVDF-тіло від 0 до + 70 ° C.

Температура навколишнього середовища

Корпус з ПВХ від 0 до + 40 ° C;

PVDF-тіло від 0 до + 55 ° C.

Допуск напруги $\pm 10\%$.

Цикл роботи 100% безперервний.

Електричне підключення кабельний штекер для $\varnothing 7$ мм відповідно згідно DIN EN 175301-803

Форма А (постачається стандартно).

Клас захисту IP 65 з кабельним штекером.

Установлення за необхідністю, бажано з вертикальним приводом.

Клапан електромагнітний неіржавіючий SM5563S[30].

Клапан нормально-закритий (без напруги - закритий);

Прямої дії. Корпус з неіржавіючої сталі AISI 304 (AISI 316); Мембрана: FKM (NBR);

Призначений клапан для агресивних рідин і газів;

Температурний діапазон застосування: $-20 \dots +120$ °C;

У комплекті з котушкою AC 220В; AC 110В; AC 24В; DC 12В; DC 24В;

клас захисту: IP65. Допуск по напрузі: $\pm 10\%$.

Клапан електромагнітний неіржавіючий SM7205[31]

Клапан нормально-закритий (без напруги - закритий);

Прямої дії. Корпус з неіржавіючої сталі AISI 304 (AISI 316); Мембрана: FKM (NBR);

Призначений клапан для агресивних рідин і газів;

Температурний діапазон застосування: $-20 \dots +120$ °C;

У комплекті з котушкою AC 220В; AC 110В; AC 24В; DC 12В; DC 24В;

клас захисту: IP65. Допуск по напрузі: $\pm 10\%$.

Клапан електромагнітний неіржавіючий для надвисоких температур $+250$ °C HX5571

Клапан нормально-закритий (без напруги - закритий);

Пілотної дії. Корпус з неіржавіючої сталі AISI 304

(AISI 316); Ущільнення поршня: PTFE;

Призначений клапан для води, пари, повітря, рідких і газоподібних агресивних середовищ;

Температурний діапазон застосування: $-20 \dots +250$ °C;

У комплекті з котушкою AC 220В; DC 24В;

Клас захисту: IP65. Допуск по напрузі: $\pm 10\%$

Електромагнітний клапан 21L2K1T25[32] застосовується для води, повітря, кислот, лугів та інших рідких і газоподібних середовищ агресивних середовищ температурою до $+180$ °C. Нормально закритий. Приєднання G1/4 (Ду 6).

Коротка характеристика

Клапан електромагнітний нормально закритий 21L2K1T25, G1/4

Приєднувальний розмір G1/4

Робоча температура $-10 + 180$ °C

Коефіцієнт пропускної здатності, Kv 3,2 л/хв.

матеріал мембрани PTFE

Напруга живлення: Змінний струм, 50/60 Hz~ 12 В, 24 В, 48 В, 110 В, 220-230 В, 380 В

Постійний струм - 12 В, 24 В, 36 В, 48 В, 110 В, 220 В.

Принцип дії прямий.

Для регулювання витрати 93-94% -ної сірчаної кислоти через холодильник кислоти застосуємо клапан електромагнітний неіржавіючий SM5563S для агресивних середовищ як такий, що задовольняє умови використання.

5.2.4 Канали контролю і управління температурою реакційного газу на перший шар контактного апарату.

Управління температурою реакційного газу на перший шар контактного апарату здійснюється зміною прохідного перетину трубопроводу подачі реакційного газу із теплообмінника контактної вузла шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана.

Особливі вимоги до регулюючого клапана агресивне середовище - реакційний газ в своєму складі має окисли сірки, температура до 450 °С.

Розглянемо декілька підходящих клапанів і виберемо один із них для використання.

Прохідні і кутові клапани Class600/PN100 Тип ED, EAD[33]

регулюючі клапани Fisher ED і EAD є частиною сімейства універсальних клапанів easy-e®. Клапани ED і EAD – це односідельні клітинні клапани з розвантаженим плунжером, призначені для робіт в різних середовищах без механічних домішок в широкому діапазоні тисків і високій температурі. Підходять для широкого спектра застосувань, включаючи часто зустрічаються корозійні середовища в нафтовій і газовій промисловості. Можуть застосовуватися як в якості регулюючого, так і запірною клапана. ED – клапан прохідний конструкції, EAD – клапан кутової конструкції.

Номинальний діаметр: DN25...200/NPS 1...8.

Номинальний тиск: PN16...100/Class150...600.

Температурний діапазон: -198...+593 °С.

Виконання для агресивних середовищ відповідно до стандартів NACE MR0175- 2002, NACE MR0103, NACE MR0175 / ISO 15156 (опція).

Сальники конструкції ENVIRO-SEAL з витоком не більше 100ppm (опція).

Герметичність затвора по ANSI / FCI 70-2 і IEC 60534-4:

– Class II стандартно;

– Class III і IV з додатковими кільцями ущільнювачів;

– Class V з додатковим ущільненням C-seal для $T \leq 593$ °C.

Варіанти виконання корпусу:

- Стандартний;
- Для високих температур з подовженою кришкою 2 типів (Style 1 / Style 2);
- NACE MR0103, NACE MR0175-2002, NACE MR0175 / ISO 15156.

Для регулювання температури реакційного газу на перший шар контактного апарату застосуємо прохідний клапан Class600/PN100 Тип ED, EAD для агресивних середовищ Class V з додатковим ущільненням C-seal для $T \leq 593$ °C як такий, що задовольняє умови використання.

5.2.5 Канали контролю і управління температурою реакційного газу на другий шар контактного апарату.

Управління температурою реакційного газу на другий шар контактного апарату здійснюється зміною прохідного перетину трубопроводу подачі реакційного газу із теплообмінника контактного вузла шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана.

Особливі вимоги до регулюючого клапану: агресивне середовище - реакційний газ в своєму складі має окисли сірки, температура до 500 °C.

Для регулювання температури реакційного газу на другий шар контактного апарату застосуємо прохідний клапан Class600/PN100 Тип ED, EAD для агресивних середовищ Class V з додатковим ущільненням C-seal для $T \leq 593$ °C як такий, що задовольняє умови використання.

5.2.6 Канали контролю і управління температурою реакційного газу на третій шар контактного апарату.

Управління температурою реакційного газу на третій шар контактного апарату здійснюється зміною прохідного перетину трубопроводу подачі реакційного газу із теплообмінника контактного вузла шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана.

Особливі вимоги до регулюючого клапану: агресивне середовище - реакційний газ в своєму складі має окисли сірки, температура до 500 °C.

Для регулювання температури реакційного газу на третій шар контактного апарату застосуємо прохідний клапан Class600/PN100 Тип ED, EAD для агресивних середовищ Class V з додатковим ущільненням C-seal для $T \leq 593$ °C як такий, що задовольняє умови використання.

5.2.7 Канали контролю і управління температурою реакційного газу в олеумний абсорбер.

Управління температурою реакційного газу в олеумний абсорбер здійснюється зміною прохідного перетину трубопроводу подачі реакційного газу із теплообмінника контактного вузла шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана.

Особливі вимоги до регулюючого клапану: агресивне середовище - реакційний газ в своєму складі має окисли сірки, температура до 120 °С.

Для регулювання температури на вхід в олеумний абсорбер в олеумний абсорбер застосуємо клапан електромагнітний неіржавіючий SM5563S для агресивних середовищ як такий, що задовольняє умови використання.

5.2.8 Канали контролю і управління температурою реакційного газу на четвертий шар контактного апарату.

Управління температурою реакційного газу на четвертий шар контактного апарату здійснюється зміною прохідного перетину трубопроводу подачі реакційного газу із теплообмінника контактного вузла шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана.

Особливі вимоги до регулюючого клапану: агресивне середовище - реакційний газ в своєму складі має окисли сірки, температура до 450 °С.

Для регулювання температури реакційного газу на четвертий шар контактного апарату застосуємо прохідний клапан Class600/PN100 Тип ED, EAD для агресивних середовищ Class V з додатковим ущільненням C-seal для $T \leq 593$ °С як такий, що задовольняє умови використання.

5.2.8 Канали контролю і управління температурою реакційного газу на п'ятий шар контактного апарату.

Управління температурою реакційного газу на п'ятий шар контактного апарату здійснюється зміною прохідного перетину трубопроводу подачі реакційного газу із теплообмінника контактного вузла шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана.

Особливі вимоги до регулюючого клапану: агресивне середовище - реакційний газ в своєму складі має окисли сірки, температура до 450 °С.

Для регулювання температури реакційного газу на п'ятий шар контактного апарату застосуємо прохідний клапан Class600/PN100 Тип ED, EAD для агресивних середовищ Class V з додатковим ущільненням C-seal для $T \leq 593$ °С як такий, що задовольняє умови використання.

5.3 Вибір контролера

Відповідно до обраних датчиків і типів каналів управління зробимо вибір контролера. Оскільки закон управління на даному етапі невідомий, на функціональному рівні необхідно вибрати за вимогами вхідних і вихідних сигналів контролер, який реалізує П-, ПІ-, ПД і ПІД-закони управління. Дані про вхідні сигнали наведені в табл. 5.10.

Таблиця 5.10_ Вхідні сигнали управляючої системи

№ п.п.	Параметр управління	Сигнал	Величина
1	Температура запиленого випалювального газу	Аналоговий	4...20 мА
2	Температура пари	Аналоговий	4...20 мА
3	Тиск пари	Аналоговий	4...20 мА
4	Температура 93-94%-ної сірчаної кислоти	Аналоговий	4...20 мА
5	Температура реакційного газу	Аналоговий	4...20 мА
6	Температура реакційного газу	Аналоговий	4...20 мА
7	Температура реакційного газу	Аналоговий	4...20 мА
8	Температура реакційного газу	Аналоговий	4...20 мА
9	Температура реакційного газу	Аналоговий	4...20 мА
10	Температура реакційного газу	Аналоговий	4...20 мА
11	Температура реакційного газу	Аналоговий	4...20 мА
12	Температура реакційного газу	Аналоговий	4...20 мА
13	Температура реакційного газу	Аналоговий	4...20 мА
14	Температура реакційного газу	Аналоговий	4...20 мА

Дані про вихідні сигнали наведені в таблиці 5.11.

Таблиця 5.11_ Вихідні сигнали управляючої системи

№ п.п.	Параметр впливу	Сигнал
1	Витрата повітря	Аналоговий
2	Витрата води	Аналоговий
3	Витрата 93-94% -ної сірчаної кислоти	Аналоговий

Продовження таблиці 5.11

№ п.п.	Параметр впливу	Сигнал
4	Витрата реакційного газу	Аналоговий
5	Витрата реакційного газу	Аналоговий
6	Витрата реакційного газу	Аналоговий
7	Витрата реакційного газу	Аналоговий
8	Витрата реакційного газу	Аналоговий
9	Витрата реакційного газу	Аналоговий
10	Сигналізація	Дискретний

На підставі даних таблиць 5.10 і 5.11 можна скласти вимоги до контролера і вибрати його на функціональному рівні. Вимоги за кількістю вхідних і вихідних сигналів наведені в таблиці 5.12.

Таблиця 5.12_ Вхідні і вихідні сигнали управляючої системи

Сигнал	Вид	Кількість
Вхідний	Аналоговий	14
Вихідний	Аналоговий	10
Вихідний	Дискретний	4

В залежності від кількості аналогових і дискретних входів обраного контролера без пристроїв розширення є можливість обрати контролер інваріантно, забезпечивши можливість передачі інформації із вхідних пристроїв за допомогою аналогових або дискретних сигналів.

Для початку потрібно визначитися з вибором виробника. Найбільшими світовими виробниками ПЛК є компанії Allen-Bradley, Omron, Schneider Electric, Siemens. Також ПЛК виробляють Advantech, Delta, VIPA, Mitsubishi Electric, WAGO I/O, Phoenix Contact та багато інших. Російські виробники ПЛК: Контар, Овен, Segnetics, Fastwel, Текон.

Важливим є доступність (вартість) і функціональність середовища розробки програми. Багато виробників випускають своє ПО для програмування ПЛК. Таке ПО враховує апаратні особливості контролерів. Інші використовують апаратно-незалежне ПО для розробки програм ПЛК «CoDeSys». Для роботи з CoDeSys необхідно встановити бібліотеку для обраного виробника. Сам CoDeSys є безкоштовним продуктом, при цьому вартість бібліотек встановлюється виробником контролерів.

Бажано вивчити його лінійку ПЛК, подивитися на скільки вона широка, чи можна вирішувати завдання різного рівня складності. Умовно за своїми можливостями ПЛК можна розділити на 3 групи: малі, середні та великі. Малі ПЛК призначені для простих завдань. Кількість пристроїв, що підключаються обмежена числом близько 100. При цьому малі ПЛК вже містять невелику кількість входів / виходів, і не потрібно підбирати окремі модулі. При цьому на сучасних контролерах цієї групи можна вирішити найрізноманітніші завдання. Найширша група ПЛК -

середня. ПЛК цієї групи робляться модульними, щоб можна було підібрати конфігурацію для вирішення завдання. За допомогою таких контролерів можна побудувати систему автоматизації цілої лінії або цеху. Середні ПЛК підтримують різні мережеві технології для інтеграції з польовими пристроями, для об'єднання керуючих пристроїв, а також для зв'язку з верхнім рівнем автоматизації. Далеко не всі виробники виробляють великі ПЛК. Вони дозволяють реалізувати автоматизацію всім заводом, при цьому без мережевих технологій тут вже неможливо. За функціональним можливостям вони не відрізняються від середніх ПЛК. Зробити свій вибір з об'єктивного порівняння ПЛК різних виробників на практиці виявляється досить складно, виробники дають технічні дані в різних одиницях виміру, що унеможлиблює однозначне порівняння. Тому треба просто визначитися, чи зможе обраний контролер вирішити поставлене завдання чи ні.

Розглянемо лінійку ПЛК фірми Siemens, як одного з найвідоміших європейських виробників засобів автоматизації.

Simatic s7-300 [34]-універсальні програмовані контролери.

Універсальний модульний програмований контролер для вирішення завдань автоматизації низького і середнього рівня складності.

Широкий спектр модулів для максимальної адаптації до вимог розв'язуваної задачі.

Використання локальних і розподілених структур введення-виведення і просте включення в мережеві конфігурації.

Зручна конструкція і робота з природним охолодженням.

Висока потужність завдяки наявності великої кількості вбудованих функцій.

Програмовані контролери S7-300 можуть мати у своєму складі:

- Модуль центрального процесора (CPU). Залежно від ступеня складності вирішуваних завдань в програмованому контролері доступні більше 20 типів центральних процесорів.

- Блоки живлення (PS) для живлення контролера від мережі змінного або постійного струму.

- Сигнальні модулі (SM), призначені для введення і виведення дискретних і аналогових сигналів. Підтримуються ГОСТ градування термометрів опору і термопар.

- Комунікаційні процесори (CP) - інтелектуальні модулі для підключення до промислових мереж ASInterface, PROFIBUS, Industrial Ethernet/PROFINET і системам PtP зв'язку.

- Функціональні модулі (FM)-інтелектуальні модулі, оснащені вбудованим мікропроцесором і здатні виконувати завдання автоматичного регулювання, зважування, позиціонування, швидкісного рахунку, управління переміщенням і т. д.

- Інтерфейсні модулі (ІМ) використовуються для підключення стійок розширення до базового блоку контролера, що дозволяє використовувати в системі локального введення-виведення до 32 модулів різного призначення.

Конструкція контролера відрізняється високою гнучкістю і зручністю обслуговування:

Всі модулі встановлюються на профільну шину S7-300 і фіксуються в робочих положеннях гвинтами. Об'єднання модулів в єдину систему виконується за допомогою шинних з'єднувачів (входять в комплект поставки кожного модуля), що встановлюються на тильну частину корпусу.

Переміщення розміщення модулів в монтажних стійках.

Фіксовані посадочні місця займають лише модулі PS, CPU і ІМ. Наявність знімних фронтальних з'єднувачів (замовляються окремо), що дозволяють виробляти швидко заміну модулів без демонтажу їх зовнішніх ланцюгів і спрощують виконання операцій підключення зовнішніх ланцюгів модулів.

Центральні процесори.

Всі центральні процесори S7-300 мають високу швидкодію, пам'ять, що завантажується, у вигляді карти пам'яті до 8 МБ, розвинені комунікаційні можливості і працюють без буферної батареї. Карта пам'яті ММС використовується для завантаження програми, збереження даних при перебоях в живленні CPU, зберігання архіву проекту з таблицею символів і коментарів, а також для архівування проміжних даних. Центральні процесори CPU 31хС оснащені набором вбудованих входів і виходів, а їх операційна система доповнена підтримкою технологічних функцій, що дозволяє використовувати в якості готових блоків управління.

SIMATIC S7-1200[35]- нове сімейство системних мікроконтролерів для вирішення найрізноманітніших завдань автоматизації малого рівня. Ці контролери мають модульну конструкцію і універсальне призначення. Вони здатні працювати в реальному масштабі часу, можуть використовуватися для побудови відносно простих вузлів локальної автоматики або вузлів комплексних систем автоматичного управління, що підтримують інтенсивний комунікаційний обмін даними через мережі Industrial Ethernet / PROFINET, PROFIBUS, а також PtP (Point-to-Point) з'єднання.

Програмовані контролери S7-1200 мають компактні пластикові корпуси із ступенем захисту IP20, можуть монтуватися на стандартну 35 мм профільну шину DIN або на монтажну плату і працюють в діапазоні температур 0..50 °C або -20 ... 60 °C. Вони здатні обслуговувати від 10 до 284 дискретних і від 2 до 51 аналогового каналу введення-виведення. При однакових з S7-200 конфігураціях введення-виведення контролер S7-1200 займає на 35% менший монтажний об'єм. До центрального процесора (CPU) програмованого контролера S7-1200 можуть бути

підключені комунікаційні модулі (CM); сигнальні модулі (SM) і сигнальні плати (SB) введення-виведення дискретних і аналогових сигналів. Спільно з ними використовуються 4-канальний комутатор Industrial Ethernet (CSM 1277) і модуль блоку живлення (PM 1207).

Кожен центральний процесор S7-1200 оснащений вбудованим інтерфейсом Ethernet, який використовується для програмування та діагностики, обміну даними з іншими системами автоматизації, пристроями та системами людино машинного інтерфейсу. Всі типи центральних процесорів оснащені двома аналоговими входами, набором дискретних входів і виходів, а також блоком живлення датчиків з вихідним напругою = 24 В. Підключення зовнішніх ланцюгів виконується через знімні термінальні блоки з контактами під гвинт. Центральні процесори допускають підключення до трьох комунікаційних модулів і установку однієї сигнальної плати (SB) введення-виведення. Додатково до CPU 1212C може підключатися до 2, до CPU 1214C і 1215C - до 8 сигнальних модулів (SM). Сигнальні модулі (SM) розширення дозволяють адаптувати контролер до вимог розв'язуваної задачі. Вони дозволяють збільшувати кількість входів і виходів, з якими працює центральний процесор, доповнювати систему введення-виведення дискретними і аналоговими каналами з необхідними параметрами вхідних і вихідних сигналів. Сигнальні модулі встановлюються праворуч від центрального процесора (крім CPU 1211C). Комунікаційні модулі встановлюються зліва від центрального процесора і підключаються до його внутрішньої шини через вбудовані в кожен модуль з'єднувачі. Максимально можна використовувати 3 будь-яких комунікаційних модулів з усіма типами центральних процесорів.

Таблиця 5.13_Коротка технічна інформація про SIMATIC S7-1200

Центральний процесор	CPU1211C	CPU1212C	CPU1214C	CPU1215C	CPU1217C
Вбудована завантажувана пам'ять	1 МБ	1 МБ	4 МБ 4 МБ		4 МБ
розширення	Картою пам'яті ємністю до 24 Мбайт				
Вбудована робоча пам'ять	30 КБ	50 КБ	75 КБ	100 КБ	125 КБ
Незалежна пам'ять для збереження даних	10 КБ	10 КБ	10 КБ	10 КБ	10 КБ

Продовження таблиці 5.13

Адресний простір введення-виведення, не більше	1024 байт на введення/1024 байт на виведення				
Час виконання, не менше					
логічної операції	0.08 мкс	0.08 мкс	0.08 мкс	0.08 мкс	0.08 мкс
операції зі словами	1.7 мкс	1.7 мкс	1.7 мкс	1.7 мкс	1.7 мкс
математичної операції з плаваючою комою	2.3 мкс	2.3 мкс	2.3 мкс	2.3 мкс	2.3 мкс
Під регулювання	Підтримується, до 16 контурів				
швидкісні входи	100 кГц, всі входи CPU, тільки в моделях з транзисторними виходами				
Швидкісні входи RS485	-	-	-	-	4, до 1 МГц
імпульсні виходи	100 кГц, всі виходи CPU, тільки в моделях з транзисторними виходами				
Імпульсні виходи RS485	-	-	-	-	4, до 1 МГц
Запас ходу годинника	480 годин	480 годин	480 годин	480 годин	480 годин
інтерфейс Ethernet	1xRJ45, 10/100Мбит/с			2x RJ45, 10/100 Мбит/с	
Вбудований комутатор Ethernet	немає	немає	немає	1x10/100 Мбит/с	

Продовження таблиці 5.13

Максимальна конфігурація	1xSB+3xCM	1xSB+3xCM+2xS M	1xSB+3xCM+8xS M	1xSB+3xCM+8xSM	
Вбудовані входи і виходи	2AI+6DI+4D O	2AI+8DI+6DO	2AI+14DI+10DO	2AI+2AO+14DI+10DO	
Кількість каналів дискретного введення / виведення, не більше	8 / 6	42 / 40	144 / 140	144 / 140	
Кількість каналів аналогового введення/ виведення, не більше	2/1	10/5	34/17	34/17	34/17
Розміри, ШxВxГ, мм	90x100x75	90x100x75	110x100x75	130x100x75 5	150x100x75

Simatic s7-1500[36] - інноваційний програмований контролер, що базується на подальшому розвитку і вдосконаленні функціональних можливостей програмованих контролерів S7-300 і S7-400. Покращена продуктивність системи, вбудована підтримка стандартних функцій управління переміщенням, обмін даними через PROFINET в режимі IRT (Isochronous Real Time), мовні розширення пакета STEP 7, можливість використання в виробничих і переробних галузях промисловості, а також підтримка перевірених часом функцій S7-300/S7-400 гарантують отримання незаперечних переваг використання нового контролера.

Ключові особливості:

Найвища продуктивність для свого класу. Ефективне вирішення завдань автоматизації середнього і високого рівня складності. Мінімальні часи реакції на зовнішні події.

Модульна конструкція. Максимальна адаптація апаратури до вимог вирішуваних завдань. Зручна конструкція і робота з природним охолодженням.

Одночасне обслуговування систем локального і розподіленого вводу-виводу і просте включення в мережеві конфігурації. Вбудована підтримка захищеного обміну даними через промислові мережі та Інтернет.

Розширена концепція захисту доступу до програми і даними.

Вільні нарощування функціональних можливостей при модернізації системи управління.

Склад апаратури і конструкція.

Механічна конструкція контролера відрізняється високою гнучкістю і зручністю обслуговування. Всі модулі встановлюються на профільну шину S7-1500 і фіксуються в робочих положеннях гвинтами. В одну монтажну стійку може встановлюватися до 32 модулів контролера. Порядок розміщення модулів може бути довільним. Додатковий набір модулів може встановлюватися в стійки розширення, що підключаються до контролера через інтерфейсні модулі станції ET 200MP і мережу PROFINET. Об'єднання модулів в єдину систему виконується за допомогою U-подібних шинних з'єднувачів, що встановлюються на тильну частину корпусу. Ці з'єднувачі входять в комплект поставки кожного модуля. У стадії розробки знаходиться варіант об'єднання модулів через активну внутрішню шину. Зовнішні ланцюга сигнальних модулів підключаються через знімні фронтальні штекери, механічне кодування яких виключає можливість виникнення помилок при заміні модулів. Додатково для цієї мети можуть використовуватися модульні і гнучкі з'єднувачі. Всі модулі контролера можуть бути розбиті на декілька потенційних груп, кожна з яких має спільні шини живлення зовнішніх ланцюгів.

Центральні процесори.

Стандартним інтерфейсом для всіх типів центральних процесорів є інтерфейс PROFINET. Він використовується для програмування, конфігурування, діагностики та обслуговування контролера, комунікаційного обміну даними, а також обслуговування систем розподіленого вводу-виводу з підтримкою обміну даними в режимах RT і IRT V2.2, а також функцій контролера, загальних і інтелектуальних приладів вводу-виводу. Старші моделі CPU додатково оснащені другим і третім (1518-4 PN / DP) інтерфейсом Ethernet з власною IP адресою, а також інтерфейсом PROFIBUS DP.

Вбудований Web-сервер.

Всі центральні процесори оснащені вбудованим Web сервером, який дозволяє:

отримувати доступ до системних і оперативним повідомленнями, а також до ідентифікаційним даними;

виконувати системну діагностику всіх модулів, використовуваних в проекті;

виконувати діагностику комунікаційних з'єднань, відображати параметри налаштування, отримувати статистичні дані про роботу мережі;

отримувати доступ до виробничих даними з використанням таблиць змінних і вільно конфігуруються списків змінних;

використовувати конфігуровані користувачем при проектуванні Web сторінки.

дисплей процесора

Всі центральні процесори S7-1500 комплектуються знімними дисплеями, істотно підвищують експлуатаційні характеристики контролера. Кожен дисплей оснащений 6-ю кнопками управління і кольоровим РК-екраном діагоналю 34.5мм (для CPU1511/1511C/1512C/1513) або 61мм (інші типи CPU). Вони дозволяють:

виконувати установку/зміну параметрів настройки (IP адрес, імені станції і т. д.) без використання програматора;

відображати діагностичну інформацію і аварійні повідомлення;

відображати стану модулів в системі локального і розподіленого вводу-виводу;

відображати ідентифікаційні дані: замовні і серійні номери, а також версії програмно-апаратних засобів модулів системи локального і розподіленого вводу-виводу.

Пам'ять і продуктивність.

Центральні процесори S7-1500 оснащені робочою пам'яттю досить великого обсягу. Як завантажується пам'яті використовуються карти пам'яті SIMATIC Memory Card ємністю від 4 Мбайт до 32 Гбайт. Додатково карта пам'яті знаходить застосування для роботи без обслуговування збереження даних при перебоях в живленні контролера без використання буферних батарей, а також для збереження всього проекту STEP 7, включаючи символні імена. Висока продуктивність центральних процесорів доповнюється швидкісною внутрішньою шиною контролера. Швидкість обміну даними через цю шину 400 Мбіт/с. Поєднання цих факторів дозволяє отримувати мінімальні часи циклів виконання програми, а також мінімальні часи реакції на зовнішні події. Час реакції термінал-термінал в програмованому контролері S7-1500 не перевищує 100 мкс. Всі центральні процесори S7-1500 забезпечують вбудовану підтримку технологічних функцій управління переміщенням, трасування і ПІД-регулювання.

Сумісність.

Для програмування, конфігурування, діагностики та обслуговування програмованих контролерів S7-1500 використовуються інструментальні засоби пакета STEP 7 Professional V13 (TIA Portal). Вбудовані в STEP 7 Professional кошти міграції проектів дозволяють використовувати контролер S71500 для виконання існуючих програм контролерів S7-300 / S7-400. За допомогою функцій копіювання і вставки окремі частини програм контролерів S7-1200 можуть бути перенесені в програмі S7-1500.

SIMATIC ET 200SP - це універсальна багатofункціональна станція нового покоління для побудови систем розподіленого вводу-виводу на основі мереж PROFINET і PROFIBUS. Залежно

від типу інтерфейсного модуля в одній станції може використовуватися до 64 периферійних модулів, які обслуговують до 1024 дискретних або до 256 аналогових каналів введення-виведення. Також доступні центральні процесори (CPU) на базі S7-1500 для створення повноцінних інтелектуальних розподілених систем ПЛК, програмованих через Step7 Professional V13.

Розглянувши наведені ПЛК, зупинимося на SIMATIC S7-1200, який є досить новітнім. Має можливість до розширення і використання у перспективі і на даний час задовольняє вимоги щодо автоматизації поточного процесу.

6 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

6.1. Ідентифікація технологічного об'єкта управління (ТОУ)

Трудомісткість автоматизації технологічних процесів багато в чому визначається ступенем наявної інформації про ТОУ, їх статичних і динамічних характеристиках.

Найбільш повна інформація про ТОУ міститься в їх математичних моделях.

В результаті експериментальних досліджень об'єкта управління був отриманий вид перехідної характеристики. Після чого був нормований. Перехідна характеристика зображена на рис. 6.1.

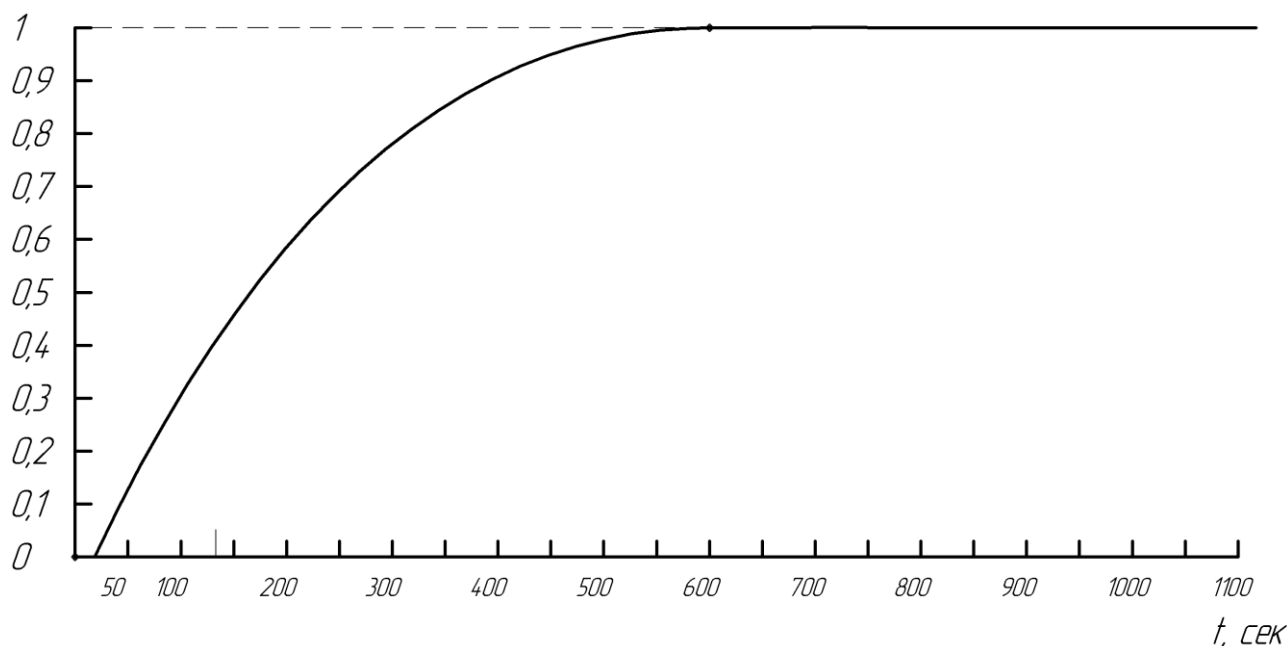


Рисунок 6.1 – Експериментально отримана перехідна характеристика.

Нормованим параметром від 0 до 1 на шкалі Y є зміна температури відповідно від 0 до 150 °C.

Виходячи з вигляду перехідної характеристики (кривої розгону) задамося одним з видів передавальної функції об'єкта управління:

У вигляді передавальної функції інерційної ланки першого порядку з запізненням:

$$W(p) = \frac{K^{-\tau * p}}{Tp + 1}$$

6.2 Визначення параметрів передавальної функції ТОУ.

Активні методи визначення динамічних характеристик об'єктів припускають подачу на вхід об'єкту пробних тестуючих сигналів. Залежно від виду пробного сигналу вибирають

відповідні методи обробки вихідного сигналу об'єкта управління. У нашому випадку на вхід подається ступінчастий сигнал і знімається перехідна характеристика на виході.

Знявши перехідну характеристику, і оцінивши характер об'єкта управління можна визначити параметри відповідної передавальної функції.

Визначимо постійні часу об'єкта управління з експериментальної перехідній характеристикі. Дані для розрахунку параметрів розглянемо на рис.6.2.

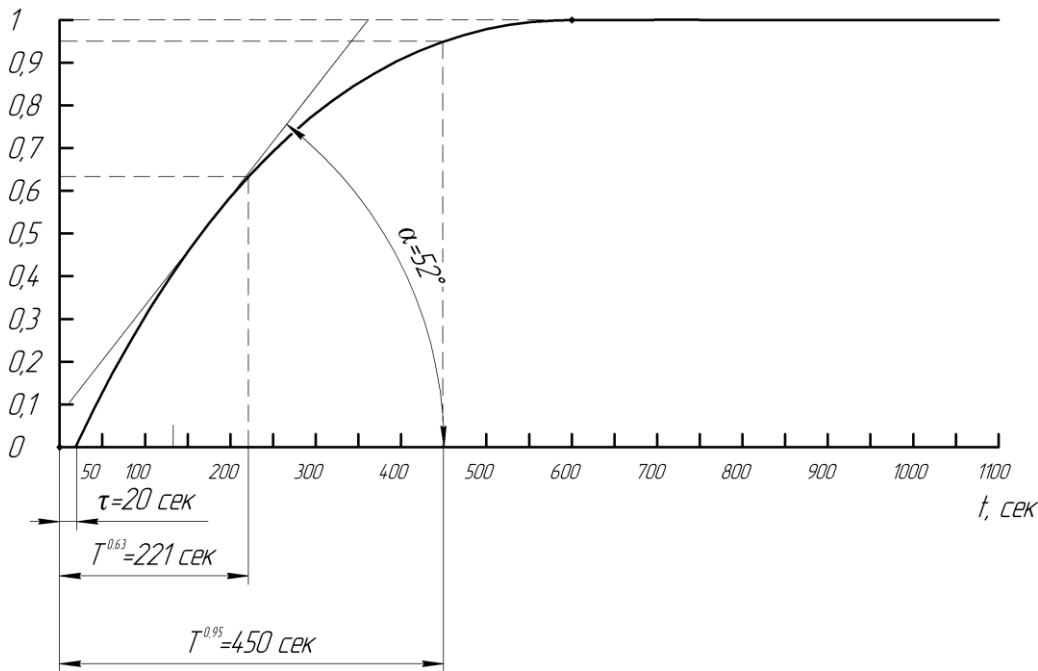


Рисунок 6.2 – Отримання даних для визначення параметрів передавальної функції.

$$T_{063}=221; T_{ob}=3 \times T_{063}$$

$$T_{095}=450; T_{095} \leq T_{ob}$$

$$T_{ob} = \frac{3 \times T_{063} + T_{095}}{2} = 556.5 ; - \text{постійна часу об'єкта.}$$

Проведемо дотичну для розрахунку коефіцієнта посилення.

К дорівнює тангенсу кута нахилу дотичної

$$K = \tan(\alpha) = 1.28.$$

В результаті отримаємо передавальну функцію об'єкта відповідно до виду передавальної функції інерційної ланки першого порядку:

$$W(p) = \frac{K^{-\tau^* p}}{Tp + 1} ;$$

$$W_o = \frac{1.28^{-20^* p}}{556.5 p + 1}.$$

Промодельюємо отриманий результат в пакеті Matlab(simulink) і проаналізуємо роботу об'єкта управління при подачі ступінчатого сигналу на його вхід.

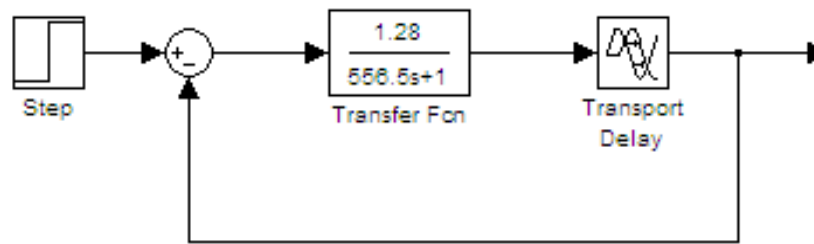


Рисунок 6.3 – Модель ОУ в пакеті Matlab.

В результаті моделювання отримали осцилограму перехідного процесу при подачі ступінчатого сигналу. Перехідний процес має великий час і запізнювання дорівнює 20 с.

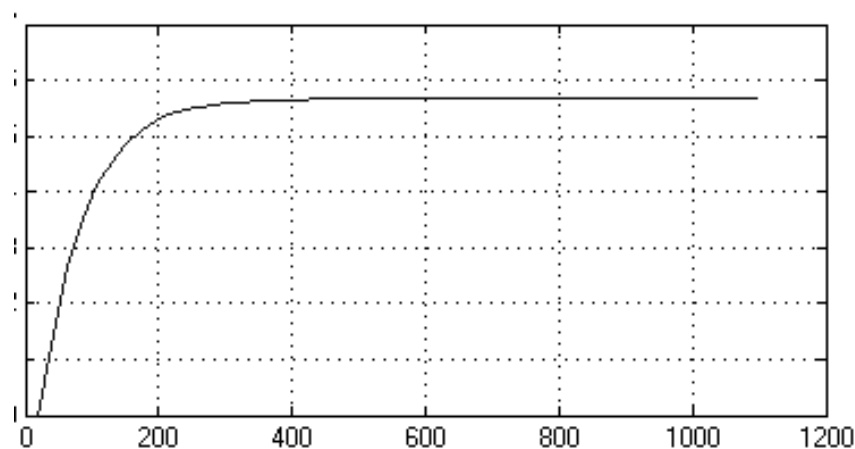


Рисунок 6.4 –Графік перехідного процесу при подачі ступінчатого сигналу

6.3 Перевірка адекватності моделі

Зробимо перевірку адекватності моделі отриманої шляхом розрахунку і моделі отриманої шляхом реального експерименту. Для цього використовуємо метод перевірки адекватності за критерієм Фішера.

1) Розділимо графік перехідної характеристики, отриманий експериментальним способом (рис 6.1) і перехідну характеристику, отриману в результаті моделювання (рис 6.4) по осі X на 14 рівних інтервалів.

2) Запишемо значення точок перетину прямих на функції для кожної ділянки. І занесемо їх в таблицю 6.1.

Таблиця 6.1 - дані за отриманими точками

t_i	75	150	225	300	375	450	525	600	675	750	825	900	975	1050
Y_{i1}	0.27	0.48	0.65	0.78	0.88	0.95	0.98	1	1	1	1	1	1	1
Y_{i2}	0.61	0.85	0.94	0.97	0.98	0.991	0.996	0.998	1	1	1	1	1	1

де t_i – значення точок по осі X; Y_{i1} – значення точок по осі Y на експериментальній кривій; Y_{i2} значення точок по осі Y на змодельованій кривій;

3) За формулами, викладеними в даному методі визначимо оцінку дисперсії по кожній кривій, і розрахуємо критерій Фішера. Розрахунки проведемо за допомогою математичного пакета MathCad.

$$S1 = \frac{1}{n-1} \times \sum_N (Y1_N - Y1_{sred})^2 \quad S2 = \frac{1}{n-1} \times \sum_N (Y2_N - Y2_{sred})^2$$

$$S1 = 0.054$$

$$S2 = 0.011$$

$$F_{ras} = \frac{S2}{S1} = 0.209$$

де $S1$ – оцінка дисперсії експериментальної кривої;

$S2$ - оцінка дисперсії змодельованої кривої;

n – кількість точок;

N – діапазон точок масиву 0-13;

$Y1_{sred}$ – середнє значення точок експериментальної кривої;

$Y2_{sred}$ - середнє значення точок змодельованої кривої;

F_{ras} – розрахункове значення критерію Фішера.

4) За таблицями наведеними в даному методі розрахунку знайдемо $F_{крит} \geq F_{ras}$.

Таблиця 6.2-значення критерію Фішера (F-критерію) для рівня f_1 - число ступенів свободи більшої дисперсії, f_2 - число ступенів свободи меншої дисперсії

	f_1										
f_2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15
1	161.45	199.50	215.71	224.58	230.16	233.99	236.77	238.88	240.54	241.88	245.95
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.43
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.70
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.86
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.62
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	3.94
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.51
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.22
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.01
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.85
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.72
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.62
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.53
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.46
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.40
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.35
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.31
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.27
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.23
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.20

$F_{\text{рас}}=0,209 < F_{\text{крит}}=2.56$, що свідчить про те що за критерієм Фішера модель отримана шляхом розрахунку, адекватна об'єкту.

6.4. Розрахунок параметрів регулятора

Розрахунок налаштувань регулятора будемо проводити методом Ротача. (Метод мінімуму коливальності).

Завдання розрахунку в тому, що потрібно підібрати такі настройки регулятора, щоб АФХ розімкнутої системи доторкнулася до кола з заданим показником коливальності. Найбільш просто таку побудову можна виконати для П-регулятора, який не змінює фазних співвідношень в системі, а змінює лише масштаб.

6.4.1 Побудуємо АФХ розімкнутої системи.

$$\alpha = \arcsin \frac{1}{M}$$

6.4.2 Проводимо промінь ON під кутом

де M - показник коливальності системи 1,62, що приблизно відповідає ступеню загасання 0.9.

6.4.3. Методом підбору додаткових параметрів, що дозволяють оперативно змінювати параметри кола забороненої області, будуємо коло радіусом r , яке одночасно дотикалося б прямої лінії і АФХ (з центром на негативній півосі).

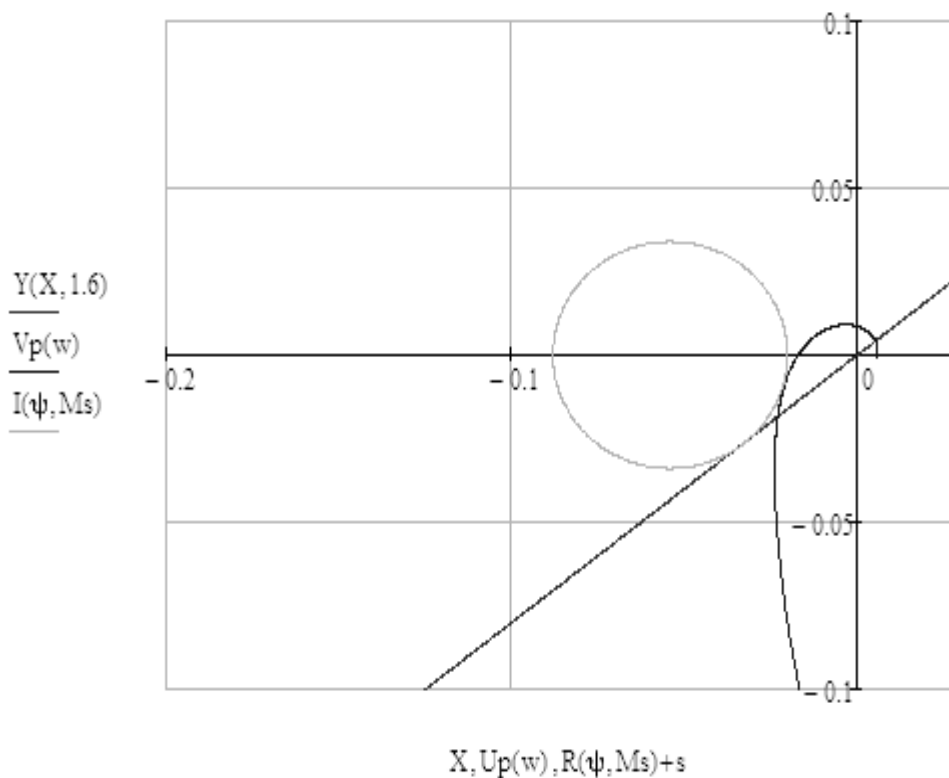


Рисунок 6.5 – АФХ системи з виконаними побудовами

6.4.4 Розрахуємо настройки П-регулятора за допомогою математичного пакета MathCad:

$$M_z = 1.6 \quad T = 556.5$$

$K = 1.28 \quad \tau = 20$ - задаємо вихідні дані: ступінь коливальності M і параметри передавальної функції об'єкта управління.

$W(w) = \frac{1.28^{-\tau \cdot (j^* w)}}{556.5 \cdot (j^* w) + 1}$ - формуємо частотну передавальну функцію об'єкта управління шляхом виконання заміни $s = j \cdot \omega$.

$Wp(k1, w) = k1 \cdot W(w)$ - формуємо частотну передавальну функцію розімкненої системи як послідовне з'єднання об'єкта і П регулятора. Коефіцієнт посилення $k1$ використовуємо як параметр функції $Wp(k1, w)$ для зручності побудови АФЧХ.

$$Up(w) = \text{Re}(Wp(1, w))$$

$Vp(w) = \text{Im}(Wp(1, w))$ - отримуємо функціональні залежності для дійсної і уявної частин АФЧХ розімкненої системи при коефіцієнті посилення регулятора, що дорівнює одиниці.

$\gamma(M) = a \sin\left(\frac{1}{M}\right) \quad Y(X, M) = \tan(\gamma(M)) \cdot X$ - формуємо функціональну залежність, що описує лінію в залежності від значення показника коливальності M .

$r(M) = \frac{M}{M^2 - 1}$ $u(M) = \frac{M^2}{M^2 - 1}$ - запишемо вирази для визначення радіусу кола забороненої області та положення її центру як функцію показника коливальності M .

$\omega = 0.010, 0.011 \dots 1$ - задаємо діапазон частот і крок зміни для побудови АФЧХ з метою відображення тієї частини, яка припадає на третій квадрант.

$$R(\psi, M) = r(M) * \sin(\psi) - u(M)$$

$I(\psi, M) = r(M) * \cos(\psi)$ - формуємо рівняння кола забороненої області в прямокутній системі координат (параметричне рівняння кола як функція кута повороту ψ).

$s = 0.947$ $M_s = 29.5$ - уводимо додаткові параметри, що дозволяють оперативно змінювати параметри кола забороненої області з метою отримання одночасного дотику її з АФЧХ і променем.

$$\frac{M_z}{M_z^2 - 1} * \frac{1}{r(M_s)} = 30.222$$
 - визначення граничного коефіцієнта посилення П-регулятора.

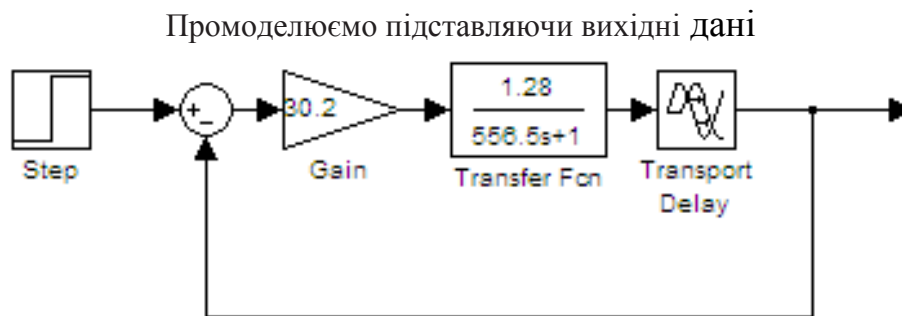


Рисунок 6.6 - Модель об'єкта з П-регулятором в середовищі Simulink.

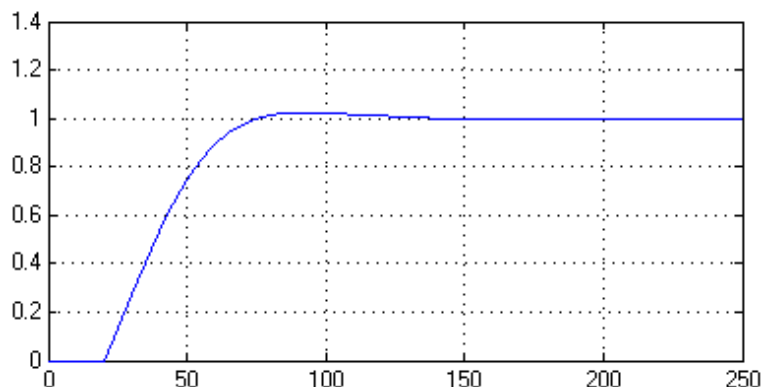


Рисунок 6.7 – Перехідна характеристика об'єкта управління з П-регулятором.

Бачимо що час перехідного процесу зменшився. Але при застосуванні П-регулятора можемо отримати нестійкий процес при коефіцієнт посилення більшому, ніж $K_{крит}$.

6.4.5 Розрахуємо настройки ПІ-регулятора за допомогою математичного пакету MathCad:

Особливість розрахунку для ПІ - регулятора полягає в необхідності виконання обчислень, аналогічних зазначеним для ПІ-регулятора для різних фіксованих значень другого параметра настройки, в даному випадку - часу ізодрому T_i .

Відповідно, в програмі необхідно модифікувати вираз для визначення АФЧХ розімкнутої системи:

$$W_p(k1, w) = (k1 * \frac{1}{T_i * (j * w)}) * W(w)$$

$$U_p(w, T_i) = \text{Re}(W_p(1, T_i, w))$$

$$V_p(w, T_i) = \text{Im}(W_p(1, T_i, w))$$

Величини граничного коефіцієнта посилення ПІ - регулятора визначаємо відповідно до

формули $\frac{M_z}{M_z^2 - 1} * \frac{1}{r(Ms)}$ для кожного значення T_i . Отримані пари налаштувань зводимо у табл. 6.3.

Таблиця 6.3 - розраховані пари налаштувань ПІ-регулятора.

K	3.02	6.04	12.06	15.08	18.1	21.12	23.15	25.17	28.19	30.2
Ti	0.145	0.298	0.425	0.562	0.701	0.848	0.99	1.125	1.23	1.36

Далі шляхом підстроювання вибираємо потрібну пару налаштувань ПІ-регулятора, яка задовольняє вимоги.

Промодельюємо підставляючи вихідні дані.

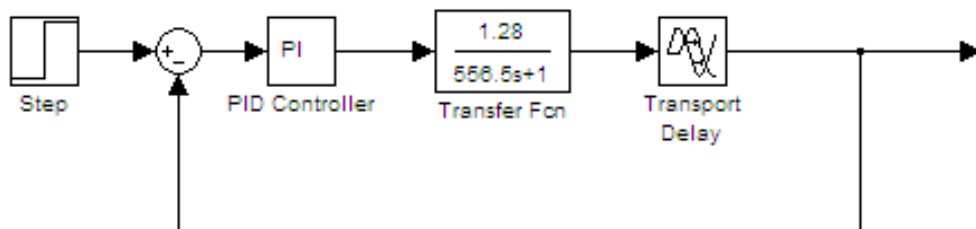


Рисунок 6.8 - Модель об'єкта з ПІ-регулятором в середовищі Simulink.

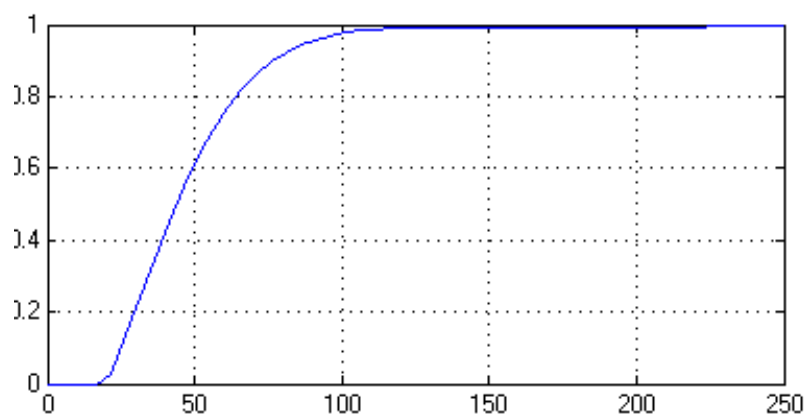


Рисунок 6.9 – Перехідна характеристика об'єкта управління з ПІ-регулятором.

Бачимо, що час перехідного процесу зменшився, вдалося позбутися від перерегулювання. Процес є стійким.

В результаті дослідження робимо висновок, що для даного процесу ПІ-регулятор забезпечує достатні показники якості перехідного процесу.

7 АЛГОРИТМ РОБОТИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

Весь процес виробництва сірчаної кислоти з колчедану методом подвійного контактування складається з декількох стадій: випалювання газу із колчедану, очищення газу від механічних і хімічних домішок, поступове концентрування сірчаної кислоти до 98-99 % у контактному апараті каталітичним окисленням SO_2 в SO_3 і зменшенням його вмісту в реакційному газі.

Управління всім процесом здійснюється за значеннями параметрів процесу, які об'єктивно визначають якість продукції.

Перед запуском процесу проводиться перевірка готовності обладнання до роботи. Перевіряється перевірка датчиків, клапанів, двигунів і виконавчих механізмів. В разі негативного закінчення тесту оператору видається повідомлення, інакше – ініціалізуються порти контролера, в масиви контрольних даних записуються вихідні дані, встановлюються параметрів регулювання.

Далі система переходить в режим очікування команди оператора. Після підтвердження оператором готовності система починає цикл виконання стадій технологічного процесу виробництва сірчаної кислоти з колчедану методом подвійного контактування.

Технологічний процес виробництва сірчаної кислоти з колчедану методом подвійного контактування є безперервним від початку його запуску до вимикання оператором в разі відсутності технологічних збоїв і аварійних ситуацій.

Програма управління технологічним процесом виробництва сірчаної кислоти з колчедану методом подвійного контактування лінійна. В її складі є декілька підпрограм.

Повний алгоритм управління технологічним процесом виробництва сірчаної кислоти з колчедану методом подвійного контактування наведений у додатку В.

ВИСНОВОК

В роботі виконана розробка системи управління технологічним процесом виробництва сірчаної кислоти з колчедану методом подвійного контактування. Виконаний аналіз технологічного процесу, обрані канали управління, зроблений вибір засобів автоматизації, а саме, датчиків, виконавчих механізмів, засобів сигналізації і контролера. Також були розроблені функціональна схема автоматизації, електрична схема зовнішніх з'єднань і алгоритм роботи системи. Проведені розрахунки контуру управління. Обраний закон регулювання та визначені оптимальні параметри регулятора.

ЛІТЕРАТУРА

1. А. М.Кутепов , Т. И. Бондарева , М. Г. Беренгартен Общая химическая технология, М.: «Высшая школа». 1990, 520 с.
2. Process Control of Technological Processes [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.ispatguru.com/process-control-of-technological-processes/?utm_source=rss&utm_medium=rss&utm_campaign=process-control-of-technological-processes
3. Deciding Upon Control-System Technology <http://www.ethanolproducer.com/articles/1456/deciding-upon-control-system-technology>
4. В.А. Голубятников, В.В. Шувалов Автоматизация производственных процессов в химической промышленности, – М.: Химия, 1972. – 248с.
5. Проектування систем автоматизації: Навч пос. / М.С. Пушкар, С.М. Проценко, 2013.- 268 с.
6. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: Справ пос. / А.С. Ключев Б.В. Глазов, А.Х. Дубровский, А.А. Ключев; под ред. А.С. Ключева – М.: Энергоатомиздат, 1990.-464 с.
7. A Guide to the Automation Body of Knowledge (2nd Edition) Trevathan, Vernon L. (2006) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpAGABKE07/viewerType:toc//root_slug:guide-automation-body?b-cat-name=Process%20Design%2C%20Control%20%26%20Automation&b-cat-slug=process-design-control-automation&b-cat-id=197&b-order-by=name&b-sort-by=ascending&b-filter-by=all-content
8. Автоматизація виробничих процесів: Підручник. / І.В. Ельперін, О.М. Пупена, В.М. Сідлецький, С.М. Швед. — К.: Видавництво Ліра-К, 2015— 340 с.
9. Рекомендации по выбору и установке датчиков температуры [Электронный документ]. Систем. вимоги: Adobe Acrobat Reader. / – Режим доступа: <https://www.emerson.com/documents/automation/%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%BE%D0%B3-%D0%B4%D0%B0%D1%82%D1%87%D0%B8%D0%BA%D0%B8-%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%82%D1%83%D1%80%D1%8B-ru-ru-61696.pdf>
10. Датчики температуры: Метран -270 [Электронный документ]. Систем. вимоги: Adobe Acrobat Reader. / – Режим доступа:

- <https://www.emerson.com/documents/automation/%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%BE%D0%B3-%D0%B4%D0%B0%D1%82%D1%87%D0%B8%D0%BA%D0%B8-%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%82%D1%83%D1%80%D1%8B-ru-ru-61696.pdf>
11. Датчики температуры: Метран -2700 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.emerson.ru/ru-ru/catalog/metran-2700-ru-ru>
 12. Метран -280. [Электронный документ]. Систем. вимоги: Adobe Acrobat Reader. / – Режим доступа: <https://www.emerson.com/documents/automation/%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%BE%D0%B3-%D0%B4%D0%B0%D1%82%D1%87%D0%B8%D0%BA%D0%B8-%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%82%D1%83%D1%80%D1%8B-ru-ru-61696.pdf>
 13. Измерительный преобразователь температуры Rosemount™ 848Т. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.emerson.ru/ru-ru/catalog/rosemount-sku-848t-temperature-transmitter-ru-ru?fetchFacets=true#facet:&partsFacet:&facetLimit:&productBeginIndex:0&partsBeginIndex:0&orderBy:&partsOrderBy:&pageView:list&minPrice:&maxPrice:&pageSize:&http://electricalschool.info/spravochnik/apparaty/1888-termometry-soprotivlenija-princip.html>.
 14. Измерительный преобразователь Rosemount 248. [Электронный документ]. Систем. вимоги: Adobe Acrobat Reader. / – Режим доступа: <https://www.emerson.com/documents/automation/rosemount-248-en-454872.pdf>
 15. Термопреобразователи сопротивления Rosemount 0065 и термоэлектрические преобразователи Rosemount 0185. . [Электронный документ]. Систем. вимоги: Adobe Acrobat Reader. / – Режим доступа: <https://www.emerson.com/documents/automation/rosemount-0065-0185-en-454868.pdf>
 16. Метран™ 2000 Термосопротивления. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.emerson.ru/ru-ru/catalog/metran-2000rtd-ru-ru>.
 17. Термопреобразователи сопротивления медные взрывозащищенные ТСМ Метран-253 (50М) и ТСМ Метран-254 (100М) [Электронный документ]. Систем. вимоги: Adobe Acrobat Reader. / – Режим доступа: <https://www.emerson.com/documents/automation/-200-ru-61340.pdf>

18. Датчики для измерения температуры агрессивных сред TOPCV-1. И TOPCVE-1. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://olil.ru/thermoolil/dditas/v1> .
19. Датчики для измерения температуры агрессивных сред TOPSZ-157 И TOPSZE-157. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://olil.ru/thermoolil/dditas/z157>
20. Датчики для измерения температуры агрессивных сред TOPE-142 [Электронный документ]. Систем. вимоги: Adobe Acrobat Reader. / – Режим доступа: <https://kip-e.ru/olderfiles/Limatherm/pdf/TOPE-142.pdf>.
21. Аналоговые преобразователи температуры с унифицированным выходным сигналом ТХАУ Метран-271, ТСМУ Метран-274, ТСПУ Метран-276. [Электронный документ]. Систем. вимоги: Adobe Acrobat Reader. / – Режим доступа: <https://www.emerson.ru/documents/automation/%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD-271-%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD-274-%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD-276-%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%B4%D0%B5%D0%BB-%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B0-ru-ru-4848882.pdf>
22. Датчики давления GEFRAN серия К3. [Электронный документ]. Систем. вимоги: Adobe Acrobat Reader. / – Режим доступа: https://linedrive.ru/upload/iblock/eb9/4pdcqncsp54sochmuovfw74sjux22q4v/ds_K3_rus.pdf
23. Датчики давления Gefran серия KE. [Электронный документ]. Систем. вимоги: Adobe Acrobat Reader. / – Режим доступа: file:///C:/Users/MVI/Downloads/DTS_KE-PLc_07-2014_RU_final.pdf
24. Датчики давления Gefran серия KN. [Электронный документ]. Систем. вимоги: Adobe Acrobat Reader. / – Режим доступа: https://linedrive.ru/upload/iblock/728/vx0kxvotl12h02ggy229o417gx1vdqhf/ds_KN_rus.pdf
<https://www.emerson.com/documents/automation/%D1%80%D1%83%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE-%D0%BF%D0%BE-%D1%8D%D0%BA%D1%81%D0%BF%D0%BB%D1%83%D0%B0%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8-%D1%80%D0%B0%D1%81%D1%85%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%80%D1%8B-3051-sfc-ru-ru-89612.pdf>.
25. Універсальні повітряні клапані С-KVK. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://shostka.prom.ua/p186730357-vozdushnyj-klapan-dlya.html?utm_source=google_pla&utm_medium=cpc&utm_content=pla&utm_campaign=cpc_05_06_materialy_dlya_remonta&utm_term=%7Bkeyword%7D&gclid=CjwKCAjw-

- [qeFBhAsEiwA2G7NlyM2y7LxQ9uHFU-f5byKJELdNNRQVXjnfKaRSxBJobLpmtbX3YG7cxoCF-MQAvD_BwE](http://www.systemair-ukraine.com/tune-r.html)
26. Регулятор расхода воздуха Systemair Tune-R . [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.systemair-ukraine.com/tune-r.html>
 27. Электромагнитные клапаны для воздуха Elektrogas типов VRA, VLA, VTA. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.italgaz.com.ua/solenoid-valves/solenoid-valves-for-combustion-air-regulation-vta-vra-vla-elektrogas.html>
 28. Клапаны компанії Samson. Серія 240. [Электронный документ]. Систем. вимоги: Adobe Acrobat Reader. / – Режим доступа: <https://www.samsongroup.com/document/k00200ru.pdf>.
 29. Клапан Bürkert 0142. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.burkert.com/en/type/0142>
 30. Клапан электромагнитный SM5563. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.eco61.ru/catalog/clapana/>
 31. Клапан электромагнитный SM-7205 . [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mosklapan.ru/catalog/nerzhaveyushchie-elektromagnitnye-klapany/klapan-elektromagnitnyy-sm-7205-normalno-zakrytyy-pn-10-bar/>
 32. Клапан электромагнитный 21L2K1T25. [Электронный документ]. Систем. вимоги: Adobe Acrobat Reader. / – Режим доступа: https://armakip.com.ua/uploads/ODE/pdf_2014/21l2k1t25.pdf
 33. Регулирующие клапаны Fisher ED и EAD [Электронный документ]. Систем. вимоги: Adobe Acrobat Reader. / – Режим доступа: <https://www.emerson.com/documents/automation/%D0%B1%D1%80%D0%BE%D1%88%D1%8E%D1%80%D0%B0-%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BA%D0%B8%D0%B9-%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%BE%D0%B3-%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%86%D0%B8%D0%B8-fisher-metran-ru-ru-4761364.pdf>
 34. simatic s7-300 универсальные программируемые контроллеры. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://techinprom.com.ua/SIMATICs300.htm>.
 35. simatic s7-1200 новое семейство микроконтроллеров. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://techinprom.com.ua/simatics1200.htm> .
 36. simatic s7-1500. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://techinprom.com.ua/LOR.htm>.

37. Advanced PID Control Åström, Karl J.; Hägglund, Tore (2006)
https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpAPIDC001/viewerType:toc//root_slug:advanced-pid-control?b-cat-name=Process%20Design%2C%20Control%20%26%20Automation&b-
https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpAPIDC001/viewerType:toc//root_slug:advanced-pid-control?b-cat-name=Process%20Design%2C%20Control%20%26%20Automation&b-cat-slug=process-design-control-automation&b-cat-id=197&b-order-by=name&b-sort-by=ascending&b-filter-by=all-content
38. Методические указания по оформлению курсовых и дипломных проектов. Инструктивные материалы. Для студентов специальности 6.091401 "Компьютеризованные системы управления и автоматика". - Сумы.: СумГУ, 1998. – 77 с.
39. Інструктивні вказівки до виконання курсових і дипломних проектів / укладачі : В. Д. Черв'яков, О.Ю. Журавльов, І.В. Щокотова. – Суми : Сумський державний університет, 2013. – 69с.
40. ДСТУ Б А.2.4-3:2009 Національний стандарт України. Правила виконання робочої документації автоматизації технологічних процесів.