

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

_____ Худолей Г.М.

«__» _____ 2022 р.

Бакалаврська робота на тему:
«Система управління агрегатом
двоступеневої конверсії природного газу»

Керівник роботи:
викладач

Пата П.С.

Бакалаврант:
студент групи СУз-81ш

Стародубцев М.І.

Шостка – 2021 р.

РЕФЕРАТ

Стародубцев Максим Ігорович. Система управління агрегатом двоступеневої конверсії природного газу. Кваліфікаційна робота освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр» за напрямом 6.151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» – Шосткинський інститут Сумського державного університету, Шостка, 2022 р.

Бакалаврська робота містить 107 аркушів пояснювальної записки, 58 рисунків, 27 таблиць, 44 джерела інформації, конструкторську документацію, яка містить 3 креслення.

В бакалаврській роботі виконане проектування системи управління агрегатом двоступеневої конверсії природного газу. Автоматизація даного технологічного процесу забезпечує управління вибухонебезпечним виробництвом, в якому людина виводиться з виробничої зони і її втручання зводиться до налаштування пристроїв управління і регулювання і реакції на передаварійні ситуації.

Ключові слова: система управління, автоматизація виробництва, параметр управління, параметр дії, аналоговий сигнал, дискретний сигнал, сигнал управління, вузол управління, мікропроцесорний контролер.

РЕФЕРАТ

Стародубцев Максим Игоревич. Система управления агрегатом двухступенчатой конверсии природного газа. Квалификационная работа образовательного-квалификационного уровня «бакалавр» по направлению 6.151 «Автоматизация и компьютерно-интегрированные технологии» – Шосткинский институт Сумского государственного университета, Шостка, 2022 г.

Бакалаврская работа содержит 107 листов пояснительной записки, 58 рисунков, 27 таблиц, 44 источника информации, конструкторскую документацию, содержащую 3 чертежа.

В бакалаврской работе выполнено проектирование системы управления агрегатом двухступенчатой конверсии природного газа. Автоматизация данного технологического процесса обеспечивает управление взрывоопасным производством, в котором человек выводится из производственной зоны и вмешательство сводится к настройке устройств управления и регулирования и реакции на предаварийные ситуации.

Ключевые слова: система управления, автоматизация производства, параметр управления, параметр действия, аналоговый сигнал, дискретный сигнал, сигнал управления, узел управления, микропроцессорный контроллер.

SUMMARY

Starodubtsev Maxim Igorevich. Control system of the two-stage natural gas conversion unit. Qualification work of the educational and qualification level "bachelor" in the direction of 6.151 "Automation and computer-integrated technologies" -. Shostka Institute of Sumy State University, Shostka, 2022.

The bachelor's thesis contains 107 sheets of explanatory note, 58 figures, 27 tables, 44 sources of information, design documentation, which contains 3 drawings.

In the bachelor's work the design of the control system of the two-stage natural gas conversion unit was performed. Automation of this technological process provides control of explosive production, in which a person is removed from the production area and its intervention is reduced to the adjustment of control and regulation devices and response to pre-emergency situations.

Keywords: control system, production automation, control parameter, action parameter, analog signal, discrete signal, control signal, control unit, microprocessor controller

ЗМІСТ

Список скорочень.....	3
Вступ.....	5
1 Конструктивно-технологічний аналіз об'єкта автоматизації	7
2 Дослідження матеріальних потоків у технологічному процесі, побудова схеми інформаційних потоків.....	12
3 Вибір параметрів контролю, регулювання та сигналізації	14
4 Вибір каналів внесення регулюючих дій	18
5 Вибір засобів автоматизації	31
5.1 Вибір датчиків.....	31
5.2 Вибір регулюючих органів	57
5.3 вибір контролера.....	69
5.4 Вибір панелі оператора	83
6 Розробка структурної схеми системи управління.....	89
7 Розрахункова частина	92
7.1 Ідентифікація технологічного об'єкта управління (ТОУ).....	92
7.2 Визначення параметрів передавальної функції ТОУ.....	93
7.3 Перевірка адекватності моделі	94
7.4 Розрахунок параметрів регулятора	96
Висновок	101
Література	102

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.
- ВКПР – верхня концентрована межа поширення полум'я.
- ВМ – виконавчий механізм.
- ГДК – гранично-допустима концентрація.
- ЕСКД – єдина система конструкторської документації.
- ЗІЗ – засоби індивідуального захисту.
- КВП і А – контрольно-вимірювальні прилади і автоматика.
- МЕК – міжнародна електротехнічна комісія.
- НКМП – нижня концентрована межа поширення полум'я.
- 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.
- ПВМ – пневматичний виконавчий механізм.
- ПВП – первинний вимірювальний перетворювач.
- ПЗП – постійний пристрій, що запам'ятовує.
- ПК – персональний комп'ютер.
- ПЕВМ – персональна електронно-обчислювальна машина.
- ПБ – правила безпеки.
- ПК – персональний комп'ютер.
- ПЛК – програмований логічний контролер.
- ПЧ – перетворювач частоти.
- РКІ – рідкокристалічний індикатор.
- РО — регулюючий орган.
- САР – система автоматичного регулювання.

САУ — система автоматичного управління.

ТБ – техніка безпеки.

ТП — технологічний процес.

ТО– термoperетворювач опору.

ТП – термopара.

ЦАП — цифро-аналоговий перетворювач.

ЧЕ – чутливий елемент.

ВСТУП

Хімічні і біохімічні технології останні десятиліття виходять на перші позиції у плані забезпечення людства продовольством і боротьбою зі змінами клімату. Хімічні добрива, засоби захисту рослин дозволяють значно підвищувати врожаї, ефективно боротися зі шкідниками сільськогосподарських культур. Сировиною для виробництва їх є викопні мінерали, а також вугілля, нафта і природний газ і їхні похідні, з яких синтезують необхідні речовини.

Протягом останніх років у світі особливо помітні зміни клімату. На думку вчених катастрофічні катаклізми із людськими жертвами відбуваються внаслідок глобального потепління на планеті, пов'язане з викидами парникових газів. Тому збільшилась увага до викидів парникових газів у зв'язку з постійним підвищенням температури і поступовими змінами клімату, які призводять до виникнення небачених катаклізмів.

Заходи з техногенної безпеки поширюються світом. прийнята У 2015 році консенсусом Паризька угода в межах Рамкової конвенції ООН про зміну клімату (UNFCCC) щодо регулювання заходів зі зменшення викидів діоксиду вуглецю має на меті зменшення темпів глобального потепління. Паризька кліматична угода передбачає, що зобов'язання зі скорочення техногенних викидів в атмосферу беруть на себе всі держави, незалежно від ступеня їхнього економічного розвитку.

У 2021 році Мюнхенська кліматична конференція затвердила перспективу зниження вживання для отримання енергії викопної природної сировини і поступовий перехід до «зеленої» енергетики.

Україна також бере на себе зобов'язання з декарбонізації викидів, поетапного зменшення спалювання вугілля, перехід на безвуглецеве паливо і відновлювальну енергетику. І у цьому, крім сонячної і вітрової енергетики велику роль відіграє використання в енергетиці і в побуті водню, як безвуглецеве джерело тепла.

Поряд з цим необхідно підвищувати врожайність сільськогосподарських культур з метою забезпечення продовольчої безпеки і одним із заходів є збільшення випуску мінеральних добрив.

Конверсія природного газу дозволяє отримувати синтез-газ (CO) для виробництва багатьох найменувань продукції і водень (H₂) для використання у вигляді безвуглецевого палива у промисловості, побуті, на транспорті. Тож підвищення ефективності технологічного процесу конверсії природного газу є актуальною задачею, яка може вирішуватись також і за допомогою створення більш досконалих систем керування технологічним процесом конверсії, яка забезпечить більш точне і оперативне регулювання необхідних параметрів.

Нзараз у промисловості використовуються технологічні схеми конверсії природного газу при підвищеному тиску, що включають конверсію оксиду вуглецю. Перевагою цих схем є

зменшення витрати енергії на стиснення конвертованого газу, обсяг якого істотно більший за обсяг вихідних газів; при цьому зменшуються габарити апаратів, комунікацій та арматури; повніше рекуперується теплота вологих газів (оскільки підвищується температура конденсації водяної пари), спрощується конструкція азотоводневого компресора, що створює передумови для спорудження агрегатів великої одиничної потужності з використанням принципів енерготехнології.

У процесах хімічної технології використовуються пожежо- і вибухонебезпечні речовини, існують шкідливі для людини умови праці, отруйні і небезпечні речовини, підвищені температури, то однозначно можна зазначити, що автоматизація технологічних процесів у хімічній галузі – це нагальна необхідність.

Двоступенева конверсія природного газу дає можливість отримати сировину для виробництва добрив і синтетичних матеріалів із природного газу, водню для використання на транспорті і в побуті як палива.

Людина не може ефективно контролювати і управляти технологічним процесом конверсії природного газу, знаходитися територіально у шкідливій і небезпечній промисловій зоні, вчасно приймати рішення про зміну значень параметрів і режимів протікання технологічних процесів.

Тому актуальною є автоматизації деяких функцій і процесу контролю і управління роботою апаратів, машин і цілком агрегатом конверсії природного газу.

У бакалаврській роботі розроблена автоматизація агрегату двоступеневої конверсії природного газу, обрані засоби автоматизації, сучасні керуючі пристрої, пристрої сигналізації і запобігання нещасним випадкам і техногенним катастрофам, автоматичне керування пуском і зупинкою обладнання для проведення ремонтних робіт і у критичних ситуаціях.

Цілі, які можливо досягти при розробці проєкту управління агрегатом двоступеневої конверсії природного газу:

- 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.

1 КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

Процес двоступеневої парової та пароповітряної каталітичної конверсії під тиском отримав поширення у світовій і у вітчизняній азотній промисловості. На його основі створено великотоннажні агрегати за енерготехнологічною схемою з глибокою рекуперацією теплоти каталітичних реакцій конверсії CH_4 та CO , метанування та синтезу аміаку. На рис. 1.1 наведена схема агрегату двоступінчастої конверсії CH_4 та CO під тиском продуктивністю 1360 т/добу аміаку.

Природний газ стискають у компресорі 1 до тиску 4,6 МПа, змішують з азото-водневою сумішшю (авс : газ = 1 : 10) і подають у вогневий підігрівач 2, де реакційна суміш нагрівається від 130 -140 до 370 - 400 °С. Для обігріву використовують природний газ. Далі нагрітий газ піддають очищенню від сірчистих сполук: в реакторі 3 на алюмокобальтмолібденовому каталізаторі проводиться гідрування сіркоорганічних сполук до сірководню, а потім в адсорбері 4 сірководень поглинається сорбентом на основі оксиду цинку. Зазвичай встановлюють два адсорбери, з'єднані послідовно або паралельно. Один із них може відключатися на завантаження свіжого сорбенту. Вміст H_2S в очищеному газі не повинен перевищувати 0,5 мг/м³ газу.

Очищений газ змішується з водяною парою у відношенні 1 : 3,7 і отримана парогазова суміш надходить у конвекційну зону трубчастої печі 12. У радіаційній камері печі розміщені труби, заповнені каталізатором конверсії метану, і пальники, в яких спалюється природний або горючий газ. Отримані в пальниках димові газу обігривають труби з каталізатором, потім теплота цих газів додатково рекуперується в конвекційній камері, де розміщені підігрівачі парогазової та пароповітряної суміші, перегрівач пари високого тиску, підігрівачі високого тиску та природного газу.

Парогазова суміш нагрівається в підігрівачі 10 до 525 °С і потім під тиском 3,7 МПа розподіляється зверху вниз по великому числу паралельно розміщених труб, заповнених каталізатором. Парогазова суміш, що виходить з трубчастого реактора містить 9-10% CH_4 .

При температурі 850 °С конвертований газ надходить у конвертор метану другого ступеня 13 - реактор шахтного типу. У верхню частину конвертора 13 компресором 19 подається технологічне повітря, змішане з водяною парою і нагріте в конвекційній зоні печі до 480-500 °С. Парогазова і пароповітряна суміші надходять у реактор роздільними потоками у співвідношенні, необхідному для забезпечення практично повної конверсії метану та отримання технологічного газу з відношенням $(\text{CO} + \text{H}_2) : \text{N}_2 = 3,05 : 3,10$. Вміст водяної пари відповідає відношенню пар : газ = 0,7 : 1.

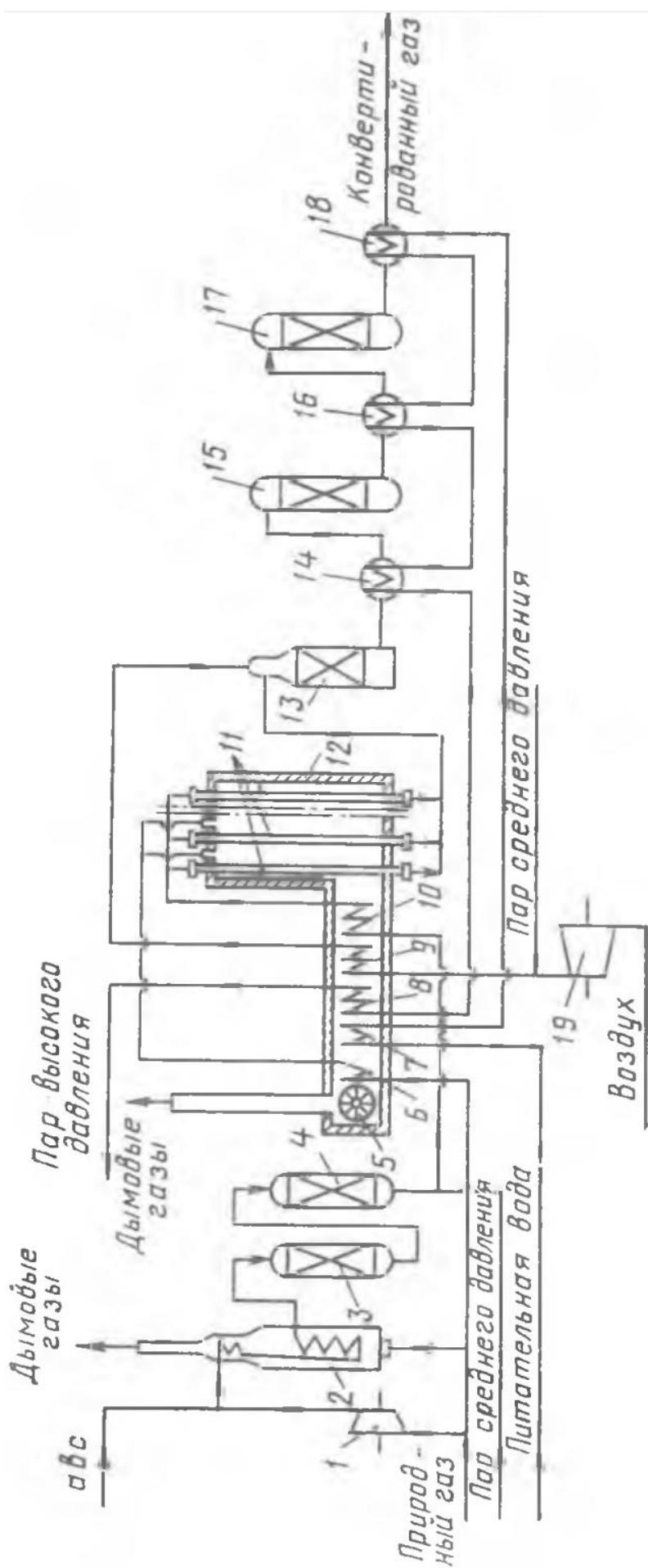


Рисунок 1.1 – Технологічна схема агрегату двоступеневої конверсії газу: 1 — компресор газу; 2 - вогневий підігрівач; 3 - реактор гідрування сірчистих сполук; 4 - адсорбер; 5 - димосос; 6, 7, 9, 10 - підігрівачі природного газу, живильної води, пароповітряної та парогазової сумішей відповідно; 8 - пароперегрівач; 11 - реакційні труби; 12 - трубчаста піч (конвертор метану першого ступеня); 13 - шахтний конвертор метану другого ступеня; 14, 16 - парові котли; 15, 17 - конвертори оксиду вуглецю першого і другого ступенів; 18 - теплообмінник; 19 - компресор повітря.

При температурі близько 1000 °С газ направляється в котел-утилізатор 14, що виробляє пар із тиском 10,5 МПа. Тут реакційна суміш охолоджується до 380 - 420 °С і йде в конвертор СО першого ступеня 15, де на залізохромовому каталізаторі протікає конверсія основної кількості оксиду вуглецю водяною парою. Газова суміш, що виходить з реактора при температурі 450 °С, містить близько 3,6% СО.

У паровому котлі 16, в якому також виробляється пар із тиском 10,5 МПа, парогазова суміш охолоджується до 225 °С і подається в конвертор СО другого ступеня 17, заповнений низькотемпературним каталізатором, де вміст СО знижується до 0,5%. Конвертований газ на виході з конвертора 17 має такий склад (%): Н₂ - 61,7; СО - 0,5; СО₂ - 17,4; N₂ + Ar - 20,1; СН₄ - 0,3.

Після охолодження та подальшої утилізації теплоти конвертований газ при температурі навколишнього середовища та тиску 2,6 МПа надходить на очищення.

Двоступінчаста парова та пароповітряна каталітична конверсія вуглеводневих газів та оксиду вуглецю під тиском є першою стадією енерготехнологічної схеми виробництва аміаку.

Теплота хімічних процесів стадій конверсії СН₄, СО, метанування та синтезу аміаку використовується для нагрівання води високого тиску та отримання перегрітої пари тиском 10,5 МПа. Ця пара, надходячи в парові турбіни, надає руху компресорам і насосам виробництва аміаку, а також служить для технологічних цілей.

Основним видом обладнання агрегату конверсії є трубчаста піч. Трубчасті печі розрізняються за тиском, типом трубчастих екранів, формою топкових камер, способом обігріву, розташуванням камер конвективного підігріву вихідних потоків і т. д. У промисловій практиці поширені такі типи трубчастих печей: багаторядна, терасна двоярусна, багатоярусна з внутрішніми перегородками. У сучасних виробництвах синтетичного аміаку та метанолу найчастіше застосовують прямоочні багаторядні трубчасті печі з верхнім полум'яним обігрівом.

Точні багаторядні трубчасті печі з верхнім полум'яним обігрівом.

На рис. 1.2 показаний загальний вигляд топкової камери багаторядної печі. Піч складається з камери радіації та камери конвекції та з'єднана димоходом з димососом та димовою трубою. Піч має зовнішній металевий кожух 1. Довжина печі 26,1 м, ширина радіаційної камери 21,5 м, будівельна висота цієї камери 18,3 м. До камери конвекції прибудовано пусковий котел високого тиску, в якому отримують пар тиском 10,5 МПа. Він служить для запуску установки і, у разі необхідності, вироблення деякої кількості пари при експлуатації агрегату У камері радіації розміщено вертикально 12 рядів труб 6 (504 труби), внутрішній діаметр яких 71 мм, товщина стінки 21,5 мм кожна труба має висоту 10,75 м.

Труби заповнені каталізатором, загальний об'єм якого становить 20,4 м³. Каталізатор є кільцем із зовнішнім діаметром 15 мм, внутрішнім діаметром 7 мм, висотою 12 мм.

Допустима температура нагрівання труби при тиску 3,7 МПа 930 °С. Труби виготовлені методом відцентрового лиття. Сплав містить 24-28% хрому і 18-22% нікелю. Спосіб приєднання труб до колекторів 2 дозволяє їм вільно подовжуватися в результаті нагрівання. У верхньому зводі камери радіації між реакційними рядами труб для їх обігріву розташовані 260 інжекційних пальників факельного типу 8.

У камері конвекції П-подібного типу розміщені чотири підігрівачі і пароперегрівач високого тиску, що обігріваються димовими газами, які надходять з камери радіації по збірних димоходах 4 при початковій температурі 1050 °С і залишають трубчасту піч при температурі 160-200 °С. Об'єм димових газів 400 тис. м³/год.

У димоході перед камерою і в камері конвекції також є пальники, що забезпечують при необхідності додаткове підведення теплоти.

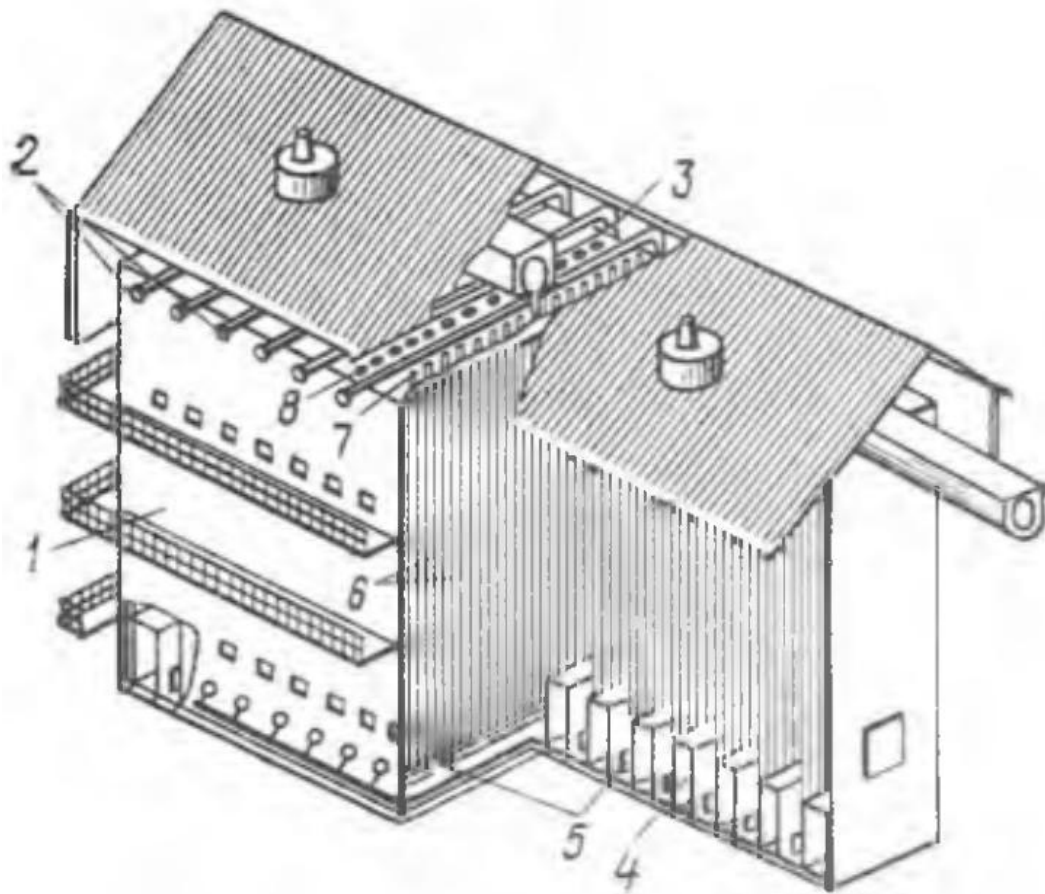


Рисунок 1.2 - Загальний вигляд топкової камери багатотрубчастої печі:

1 - кожух; 2 - колектор парогазової суміші; 3 - колектор конвертованого газу; 4 -- збірні димарі; 5 - нижні секційні колектори; 6 - реакційні труби; 7 – газовідвідні труби; 8 - пальники

Конверсія метану - взаємодія метану з водяною парою, двоокисом вуглецю і киснем для отримання синтез-газу (CO і H₂). Взаємодія описується наступними реакціями:





Отриманий в усіх наведених реакціях окис вуглецю далі окислюється водяною парою за реакцією



Сумарно процес конверсії CH_4 з водяною парою протікає з затратою тепла



Приміщення і будівлі ОНТП 24-86 за вибухопожежною та пожежною безпекою відносяться до категорії А, класів П-І за пожежною безпекою і В-Іа за вибухонебезпечною класифікацією.

У пожежонебезпечних зонах застосовуються електроустановки у відповідному виконанні. Так, в зонах класів П-І, П-ІІ і П-ІІІ застосовуються електричні машини закритого виконання; у зонах класу П-Іа допускається установка машин захищеного виконання. У всіх зонах рекомендується використовувати апаратуру управління у пилозахищеному виконанні.

У вибухонебезпечних зонах застосовуються електроустановки відповідного виконання. Електричні машини підбирають за рівнем вибухозахисту, залежно від класу вибухонебезпечної зони: у зонах класу В-І встановлюють вибухобезпечні машини; В-Іа і В-Іг – підвищеної надійності проти вибуху.

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 представлення матеріальних, енергетичних потоків і пов'язаних з ними інформаційних потоків між складовими в агрегаті двоступеневої конверсії природного газу побудуємо спрощену схему матеріально-інформаційних потоків (рис. 2.1).

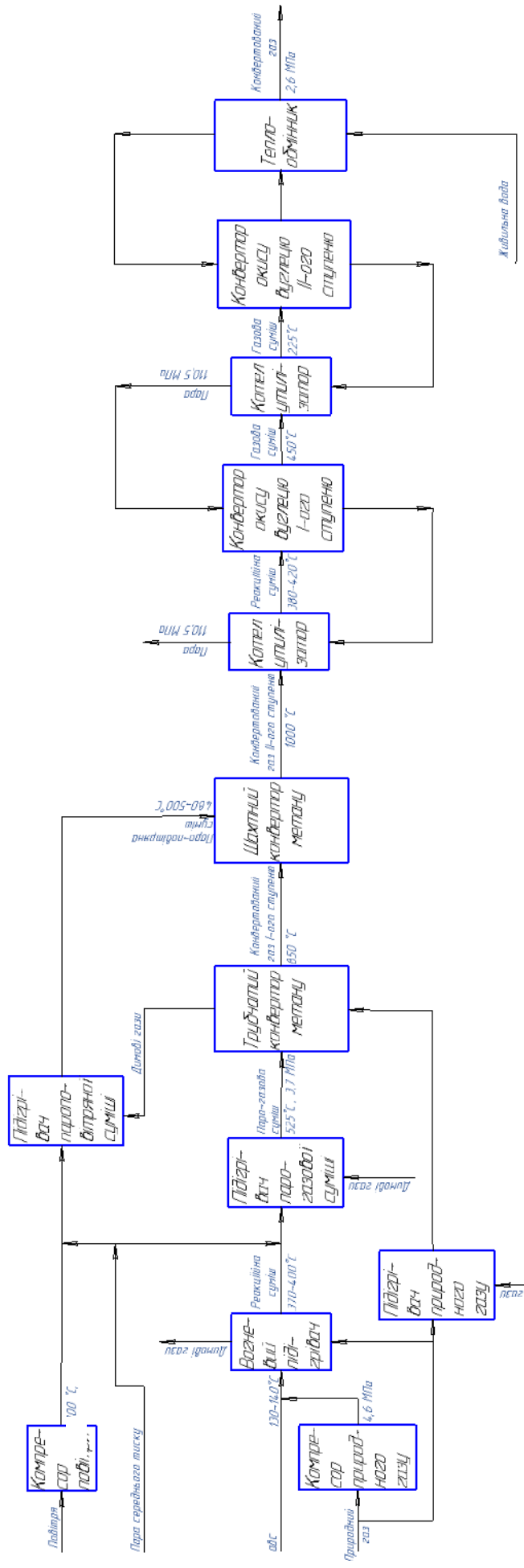


Рисунок 2.1 - Схема матеріально-інформаційних потоків агрегату двоступеневої конверсії природного газу.

3 ВИБІР ПАРАМЕТРІВ КОНТРОЛЮ, РЕГУЛЮВАННЯ ТА СИГНАЛІЗАЦІЇ

При виборі регульованих величин визначаються істотні показники ефективності і їх значення при протіканні процесу, взаємозв'язок його з іншими процесами, а також аналізується можливість появи збурень в об'єкт управління. Визначаються шляхи усунення збурень або їх стабілізації.

Як об'єкт управління розглядається агрегат двоступеневої конверсії природного газу.

Показниками ефективності цього технологічного процесу є отримання водню і синтез-газу з мінімальною кількістю домішок і мінімальною затратою енергії, що досягається підтриманням необхідних режимів проведення хімічних реакцій.

Контролю підлягають практично всі параметри регулювання. Контролю підлягають ті параметри, значення яких забезпечить правильний пуск, наладку, 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 оптимального проведення хімічних реакцій необхідно підтримувати тиск природного газу на виході компресора 1 природного газу 4,6 МПа, співвідношення 1:10 змішування азотоводневої суміші і природного газу на вході вогневого підігрівача 2, температуру 370-400 °С природного газу на виході вогневого підігрівача 2, співвідношення 1:3,7 змішування очищеного газу і водяної пари, температуру 525 °С парогазової суміші на вході конвекційної зони трубчатої печі 12, температуру 850 °С конвертованого газу на виході конвекційної зони трубчатої печі 12, температуру 450-500 °С паро-повітряної суміші на вході шахтного конвертора другого ступеню 13, температуру 1000 °С конвертованого газу на виході шахтного конвертора другого ступеню 13, температуру 380-420 °С реакційної суміші на виході котла-утилізатора 14, температуру 450 °С газової суміші на виході конвертора СО першого ступеню, температуру 225 °С парогазової суміші на виході котла-утилізатора 16, тиск 2,6 МПа на виході теплообмінника 18. Також контролю підлягають: вміст сірководню 0,5 мг/м³ в очищеному газі, тиск 3,7 МПа парогазової суміші на вході каталізаторних труб трубчатого конвертора 12 першого ступеню, вміст 9-10 % метану у парогазовій суміші на виході трубчатого конвертора 12 першого ступеню, тиск 10,5 МПа на виході котла-утилізатора 14.

Процес конвертації природного газу відноситься до вибухопожежонебезпечних, тому необхідно контролювати значення граничних значень параметрів і блокувати (зупиняти) технологічний процес, включати аварійну сигналізацію і проводити запуск системи технологічного пожежогасіння.

Аварійна сигналізація оповіщає про неприпустимі значення параметрів процесу або про аварійні відхилення будь-якого апарату технологічної системи.

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

Оскільки процес відноситься до вибухонебезпечних, то необхідно контролювати і сигналізувати граничне значення концентрації природного газу, монооксиду (оксиду) вуглецю і водню за допомогою світлової та звукової сигналізації за місцем і в операторній, тому що перевищення допустимого значення може призвести до виникнення аварійної ситуації.

Монооксид вуглецю CO (чадний газ) навіть при мінімальній концентрації вражає дихальну і нервову систему людини і може призвести до смерті. Для запобігання цьому необхідно контролювати і сигналізувати граничне значення концентрації чадного газу.

Середовище вважається вибухонебезпечним, якщо концентрація найбільш вибухонебезпечного газу перевищує 50% його НКМП (нижньої концентраційної межі поширення полум'я): для монооксиду (оксиду) вуглецю – 12,5 %, для метану – 5,24 %, для водню – 4,08 %.

Перелік перерахованих параметрів і функцій в системі управління наведені 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 компресора природного газу	Тиск природного газу	Контроль, управління, сигналізація, індикація, реєстрація	4,6 МПа± 0,1 МПа
2	Вхід вогневого підігрівача	Співвідношення азотоводневої суміші і природного газу	Контроль, управління	1:10
3	Вихід вогневого підігрівача	Температура реакційної суміші	Контроль, управління, сигналізація	385 ± 15 °С
4	Вхід конвекційної зони трубчатої печі	Співвідношення очищеної реакційної суміші і водяної пари	Контроль, управління	1:3,7
5	Вхід конвекційної зони трубчатої печі	Температура парогазової суміші	Контроль, сигналізація	525 ± 10 °С
6	Вихід конвекційної зони трубчатої печі	Температура конвертованого газу	Контроль, управління,	850 ± 10 °С
7	Вхід шахтного конвертора	Співвідношення пари і повітря	Контроль, управління	0,7:1
8	Вхід шахтного конвертора	Температура пароповітряної суміші	Контроль, управління, сигналізація	475 ± 25 °С
9	Вихід шахтного конвертора	Температура конвертованого газу	Контроль, управління	1000 ± 10 °С

Продовження таблиці 3.1

10	Вихід котла-утилізатора 14	Температура конвертованого газу	Контроль, управління	400 ± 20 °C
11	Вихід конвертора CO першого ступеню	Температура газової суміші	Контроль, сигналізація	450 ± 10 °C
12	Вихід котла-утилізатора 16	Температура парогазової суміші	Контроль, управління	225 ± 10 °C
13	Вихід котла-утилізатора 16	Тиск водяної пари	Контроль, сигналізація	10,5 МПа
14	Вихід адсорбера 4	Вміст сірководню в очищеній реакційній суміші	Контроль, сигналізація	0,5 мг/м ³
15	Вихід теплообмінника 18	Тиск конвертованого газу	Контроль, сигналізація	$2,6 \text{ МПа} \pm 0,1 \text{ МПа}$
16	Вихід трубчатого конвертора	Вміст метану у парогазовій суміші	Контроль, індикація, сигналізація	9-10 %
17	Вхід каталізаторних труб трубчатого конвертора 12	Тиск парогазової суміші	Контроль, індикація, сигналізація	3,7 МПа
18	Агрегат конверсії	Концентрація метану у повітрі	Контроль, сигналізація, управління	5,4 % об.
19	Агрегат конверсії	Концентрація окису вуглецю у повітрі	Контроль, сигналізація, управління	12,4 % об.
20	Агрегат конверсії	Концентрація водню у повітрі	Контроль, сигналізація, управління	4,2 % об.

Структурна схема автоматизації представлена на рисунку 3.1.

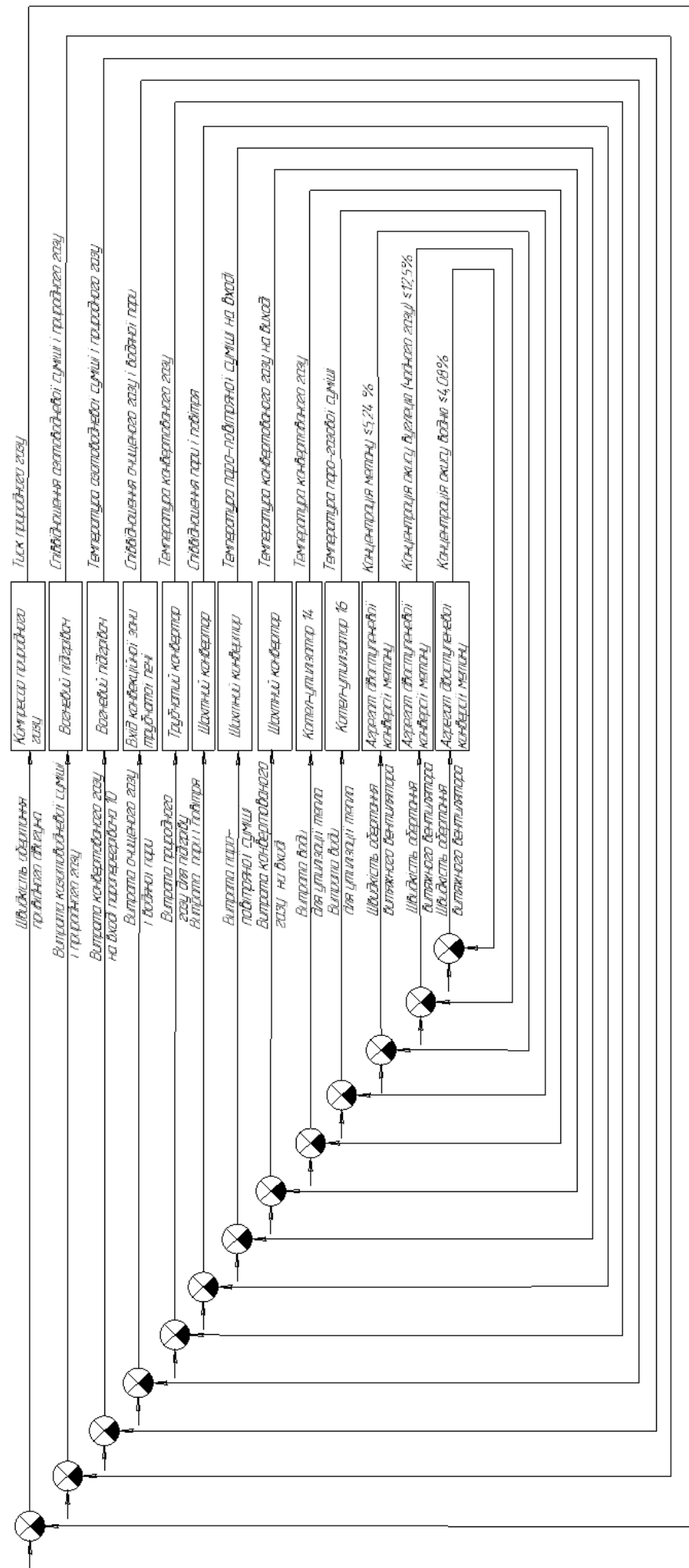


Рисунок 3.1-Структурна схема автоматизації.

4 ВИБІР КАНАЛІВ ВНЕСЕННЯ РЕГУЛЮЮЧИХ ДІЙ

4.1 Тиск природного газу на виході компресора природного газу будемо регулювати за допомогою зміни обертів приводного двигуна компресора.

Канал контролю і управління тиском природного газу на виході компресора природного газу представлений на рис. 4.1.

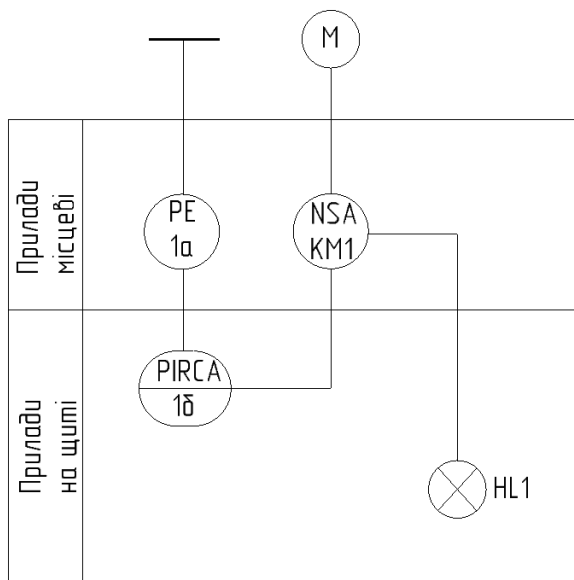


Рисунок 4.1 – Контур контролю і управління тиском природного газу на виході компресора природного газу.

До складу каналу управління входить датчик тиску, перетворювач сигналу датчика, регулятор, перетворювач сигналу регулятора, виконавчий механізм, виконавчий орган, пристрій індикації, пристрій реєстрації, пристрій сигналізації.

4.2 Співвідношення азотоводневої суміші і природного газу на вході вогневого підігрівача будемо регулювати за допомогою зміни витрати азотоводневої суміші і природного газу шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана на трубопроводі подачі азотоводневої суміші і на трубопроводі подачі природного газу у вогневий підігрівач. Канал контролю і управління співвідношенням азотоводневої суміші і природного газу на вході вогневого підігрівача представлений на рис. 4.2.

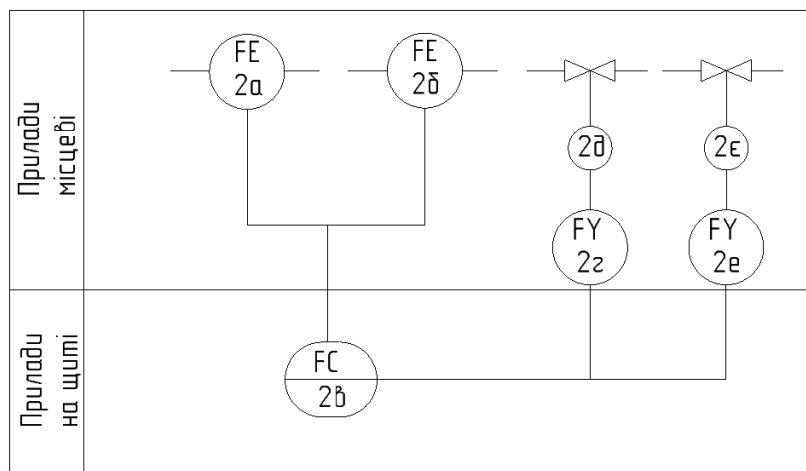


Рисунок 4.2 – Контур контролю і управління співвідношенням азотоводневої суміші і природного газу на вході вогневого підігрівача.

До складу каналу управління входять датчики витрати, перетворювач сигналів датчиків, регулятор, перетворювачі сигналів регулятора, виконавчі механізми, виконавчі органи.

4.3 Температуру реакційної суміші на виході вогневого підігрівача будемо регулювати за допомогою зміни витрати природного газу шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана на трубопроводі подачі природного газу у вогневий підігрівач для підігрівання реакційної суміші. Канал контролю і управління температурою реакційної суміші на виході вогневого підігрівача представлений на рис. 4.3.

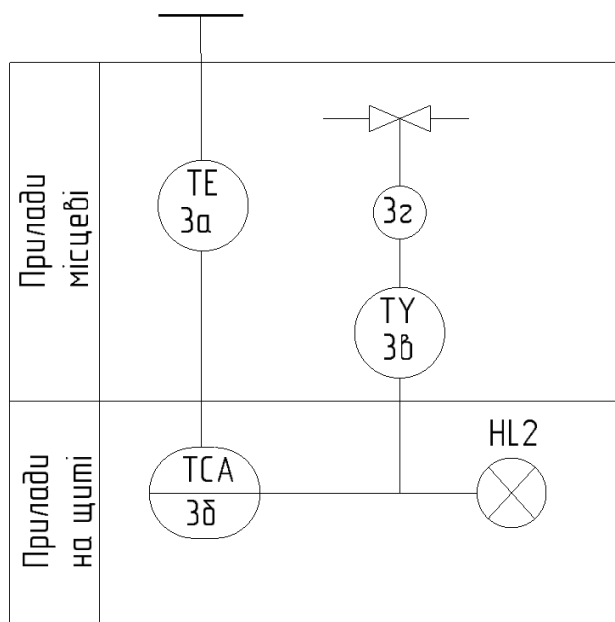


Рисунок 4.3 – Контур контролю і управління температурою реакційної суміші на виході вогневого підігрівача.

До складу каналу управління входить датчик температури, перетворювач сигналу датчика, контролер - універсальний регулятор, перетворювач сигналу контролера, виконавчий механізм, виконавчий орган, пристрій сигналізації.

4.4 Співвідношення очищеної реакційної суміші і водяної пари на вході конвекційної зони трубчатої печі будемо регулювати за допомогою зміни витрати очищеної реакційної суміші і водяної пари шляхом відкривання/закривання регулюючих клапанів на трубопроводі подачі очищеної реакційної суміші і на трубопроводі подачі водяної пари до конвекційної зони трубчатої печі. Канал контролю і управління співвідношенням очищеної реакційної суміші і водяної пари на вході конвекційної зони трубчатої печі представлений на рис. 4.4.

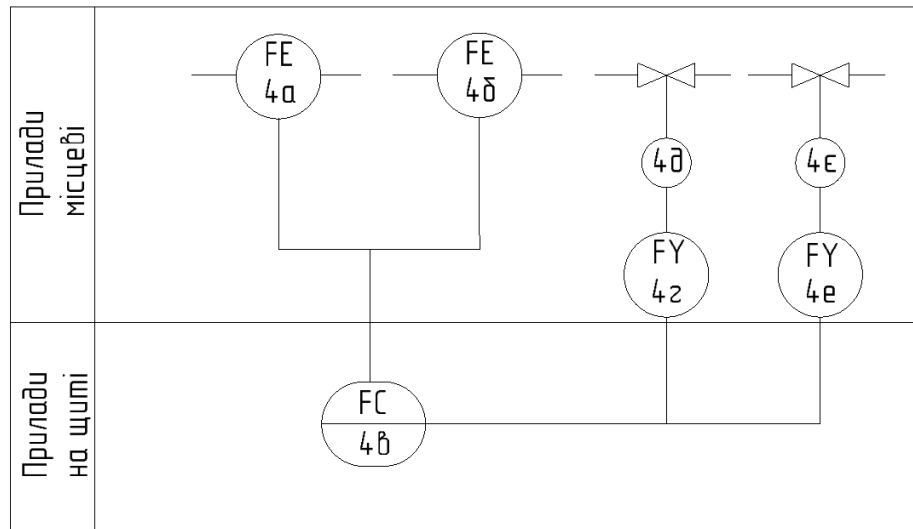


Рисунок 4.4 – Контур контролю і управління співвідношенням очищеної реакційної суміші і водяної пари на вході конвекційної зони трубчатої печі.

До складу каналу управління входять датчики витрати, перетворювач сигналів датчиків, регулятор, перетворювачі сигналів регулятора, виконавчі механізми, виконавчі органи.

4.5 Температуру парогазової суміші на вході конвекційної зони трубчатої печі будемо контролювати за схемою, наведеною на рис. 4.5.

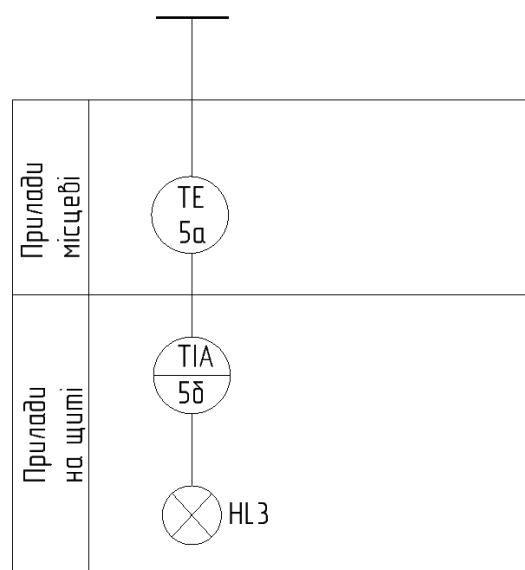


Рисунок 4.5 – Схема контролю температури парогазової суміші на вході конвекційної зони трубчатої печі

До складу схеми контролю температури входить датчик температури, пристрій індикації, пристрій сигналізації.

4.6 Температуру конвертованого газу на виході конвекційної зони трубчатої печі будемо регулювати за допомогою зміни витрати природного газу для підігріву реакційної суміші шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана на трубопроводі подачі природного газу до конвекційної зони трубчатої печі. Канал контролю і управління температурою конвертованого газу на виході конвекційної зони трубчатої печі представлений на рис. 4.6.

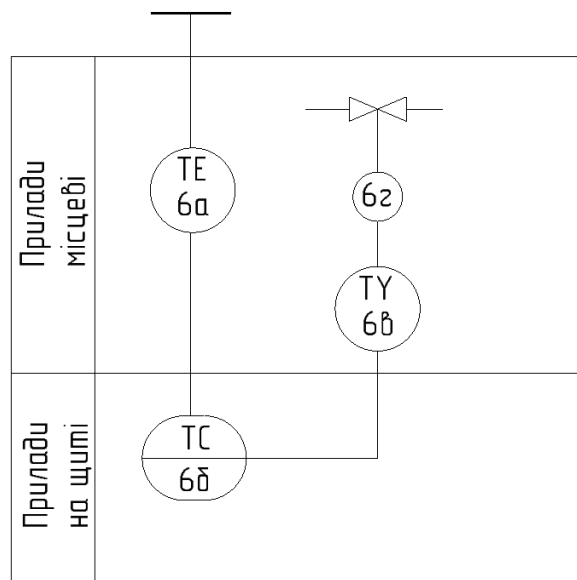


Рисунок 4.6 – Контур контролю і управління температурою конвертованого газу на виході конвекційної зони трубчатої печі.

До складу каналу управління входить датчик температури, перетворювач сигналу датчика, контролер - універсальний регулятор, перетворювач сигналу контролера, виконавчий механізм, виконавчий орган.

4.7 Співвідношення водяної пари і повітря на вході шахтного конвертора будемо регулювати за допомогою зміни витрати водяної пари і повітря шляхом відкривання/закривання регулюючих клапанів на трубопроводі подачі водяної пари і на трубопроводі подачі повітря на вхід шахтного конвертора. Канал контролю і управління співвідношенням водяної пари і повітря на вході шахтного конвертора представлений на рис. 4.7.

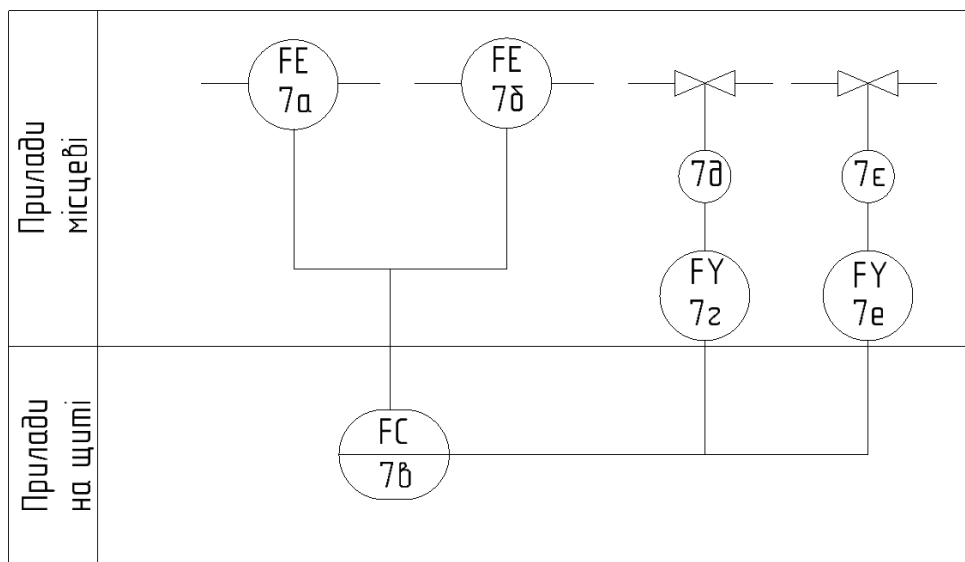


Рисунок 4.7 – Контур контролю і управління співвідношенням водяної пари і повітря на вході шахтного конвертора.

До складу каналу управління входять датчики витрати, перетворювач сигналів датчиків, регулятор, перетворювачі сигналів регулятора, виконавчі механізми, виконавчі органи.

4.8 Температуру паро-повітряної суміші на вході шахтного конвертора будемо регулювати за допомогою зміни витрати паро-повітряної суміші шляхом відкривання/закривання регулюючого клапану на трубопроводі подачі паро-повітряної суміші на вхід шахтного конвертора. Канал контролю і управління температурою паро-повітряної суміші на вході шахтного конвертора представлений на рис. 4.8.

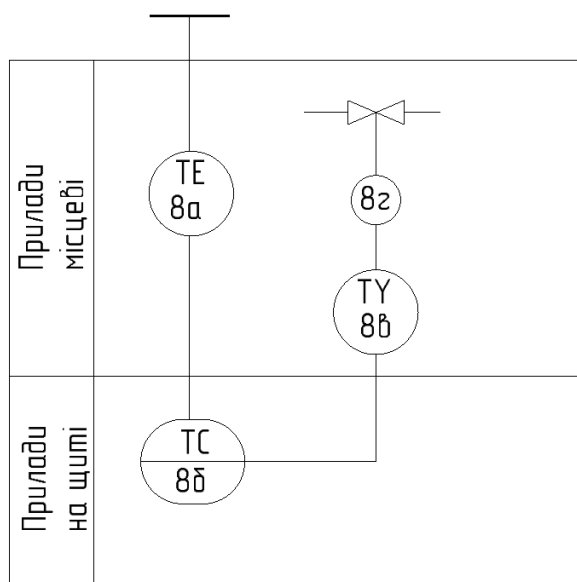


Рисунок 4.8 – Контур контролю і управління температурою паро-повітряної суміші на вході шахтного конвертора.

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

4.9 Температуру конвертованого газу на виході шахтного конвертора будемо регулювати за допомогою зміни витрати конвертованого газу шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана на трубопроводі подачі конвертованого газу на вхід шахтного конвертора. Канал контролю і управління температурою конвертованого газу на виході шахтного конвертора представлений на рис. 4.9.

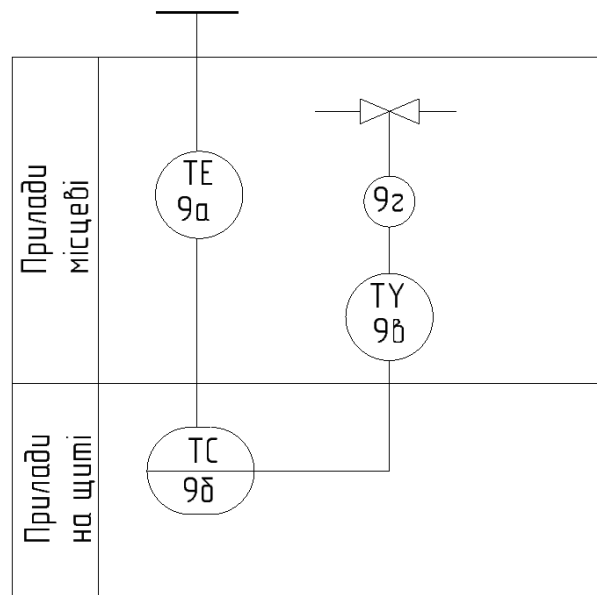


Рисунок 4.9 – Контур контролю і управління температурою конвертованого газу на виході шахтного конвертора.

До складу каналу управління входить датчик температури, перетворювач сигналу датчика, контролер - універсальний регулятор, перетворювач сигналу контролера, виконавчий механізм, виконавчий орган.

4.10 Температуру конвертованого газу на виході котла-утилізатора будемо регулювати за допомогою зміни витрати води для утилізації тепла шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана на трубопроводі . Канал контролю і управління температурою конвертованого газу на виході котла-утилізатора представлений на рис. 4.10.

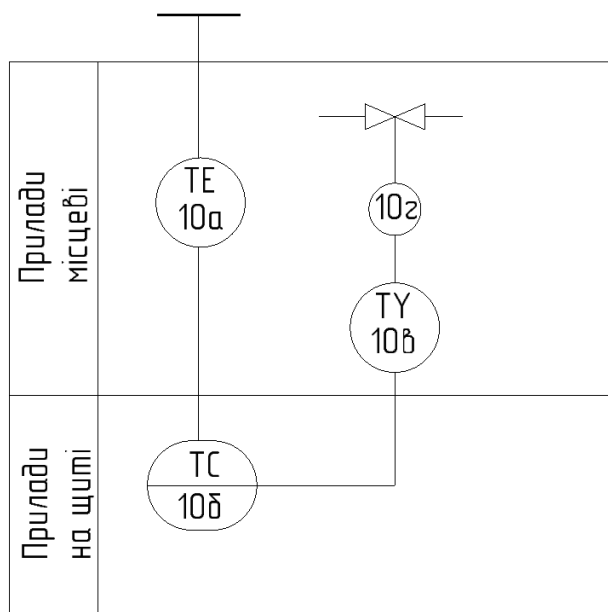


Рисунок 4.10 – Контур контролю і управління температурою конвертованого газу на виході котла-утилізатора.

До складу каналу управління входить датчик температури, перетворювач сигналу датчика, контролер - універсальний регулятор, перетворювач сигналу контролера, виконавчий механізм, виконавчий орган.

4.11 Тиск конвертованого газу на виході котла-утилізатора 14 будемо контролювати за схемою, наведеною на рис. 4.11.

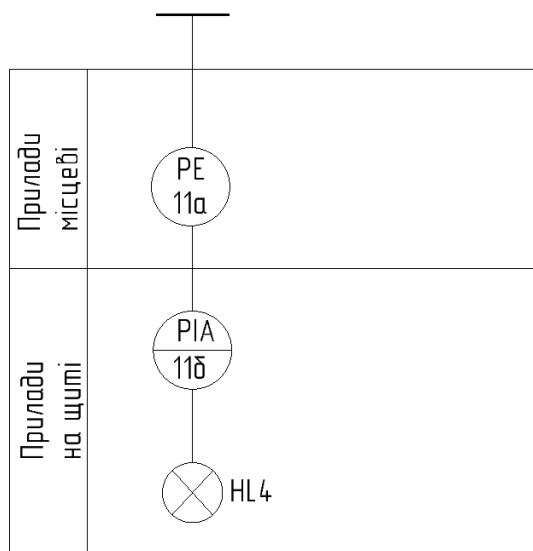


Рисунок 4.11 – Схема контролю тиску конвертованого газу на виході котла-утилізатора 14.

До складу схеми контролю температури входить датчик тиску, пристрій індикації, пристрій сигналізації.

4.12 Температуру газової суміші на виході конвертора CO першого ступеню будемо контролювати за схемою, наведеною на рис. 4.12.

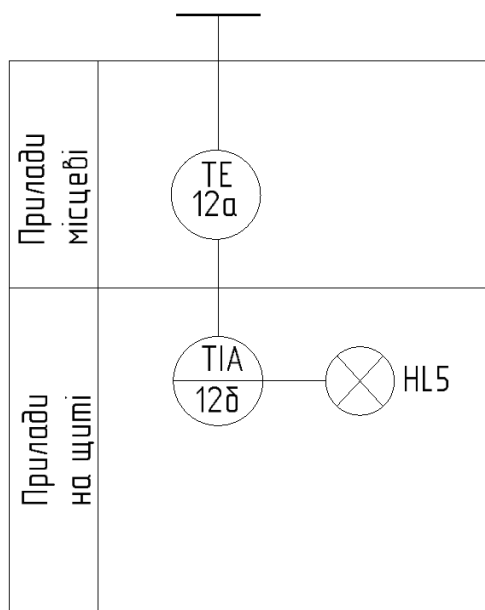


Рисунок 4.12 – Схема контролю температури газової суміші на виході конвертора CO першого ступеню.

До складу схеми контролю температури входить датчик температури, пристрій індикації, пристрій сигналізації.

4.13 Температуру паро-газової суміші на виході котла-утилізатора 16 будемо регулювати за допомогою зміни витрати води для утилізації тепла шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана на трубопроводі подачі води на вхід котла-утилізатора. Канал контролю і управління температурою паро-газової суміші на виході котла-утилізатора представлений на рис. 4.13.

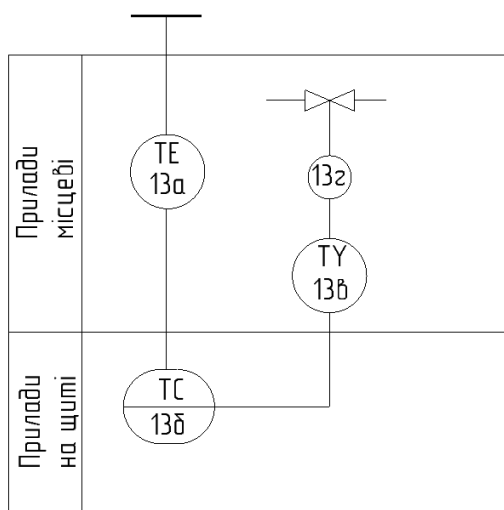


Рисунок 4.13 – Контур контролю і управління температурою паро-газової суміші на виході котла-утилізатора.

4.14 Вміст сірководню в очищеній реакційній суміші на виході адсорбера будемо контролювати за схемою, наведеною на рис. 4.14.

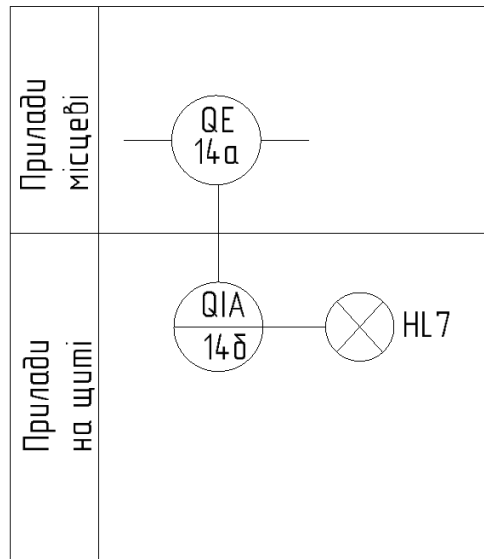


Рисунок 4.14 – Схема контролю вмісту сірководню в очищеній реакційній суміші на виході адсорбера.

До складу схеми контролю температури входить датчик концентрації, пристрій індикації, пристрій сигналізації.

4.15 Тиск конвертованого газу на виході теплообмінника будемо контролювати за схемою, наведеною на рис. 4.15.

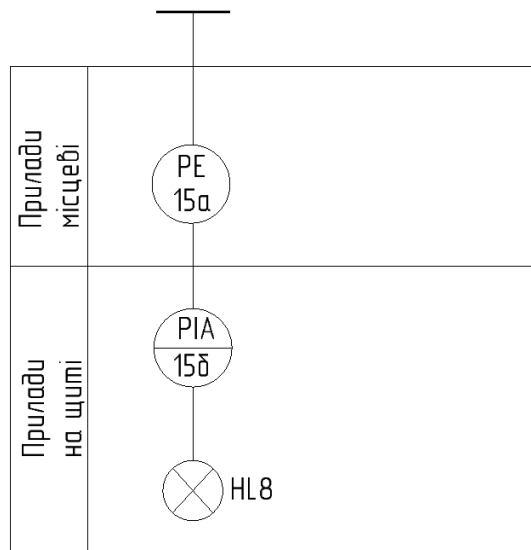


Рисунок 4.15 – Схема контролю тиску конвертованого газу на виході теплообмінника.

До складу схеми контролю температури входить датчик тиску, пристрій індикації, пристрій сигналізації.

4.16 Вміст метану у парогазовій суміші на виході трубчатого конвертора будемо контролювати за схемою, наведеною на рис. 4.16.

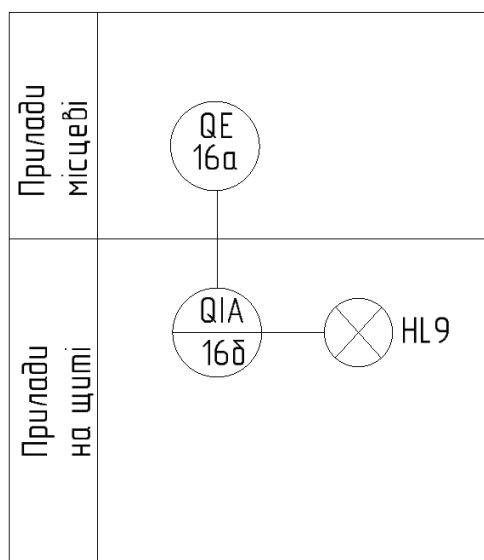


Рисунок 4.16 – Схема контролю вмісту метану у парогазовій суміші на виході трубчатого конвертора.

До складу схеми контролю температури входить датчик концентрації, пристрій індикації, пристрій сигналізації.

4.17 Тиск парогазової суміші на вході каталізаторних труб трубчатого конвертора будемо контролювати за схемою, наведеною на рис. 4.17.

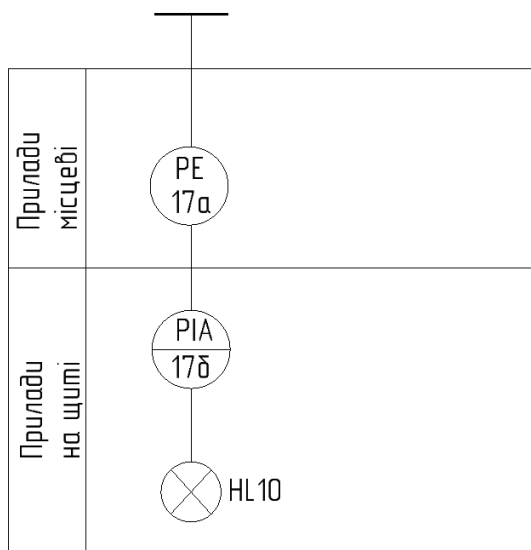


Рисунок 4.17 – Схема контролю тиску парогазової суміші на вході каталізаторних труб трубчатого конвертора.

До складу схеми контролю температури входить датчик тиску, пристрій індикації, пристрій сигналізації.

4.18 Тиск водяної пари на виході котла-утилізатора 16 будемо контролювати за схемою, приведеною на рис. 4.18.

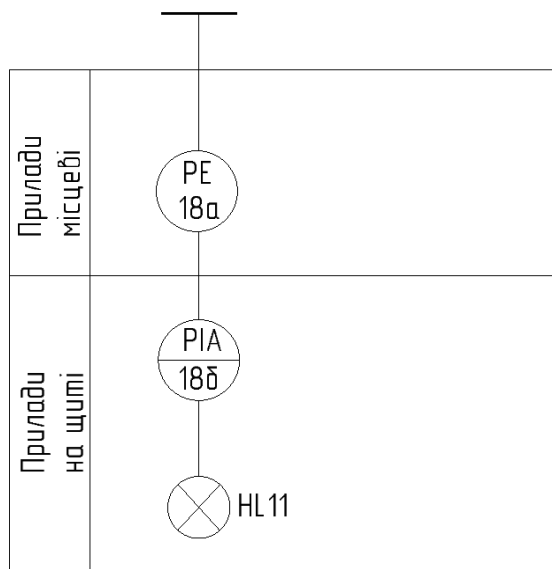


Рисунок 4.18 – Схема контролю тиску водяної пари на виході котла-утилізатора 16.

До складу схеми контролю тиску водяної пари входить датчик тиску, пристрій індикації, пристрій сигналізації.

До складу каналу управління входить датчик температури, перетворювач сигналу датчика, контролер - універсальний регулятор, перетворювач сигналу контролера, виконавчий механізм, виконавчий орган.

4.19 Концентрацію метану у повітрі агрегату конверсії будемо регулювати за допомогою зміни обсягу повітря витяжної вентиляції шляхом збільшення обертів привідного двигуна витяжного вентилятора. Канал контролю і управління концентрацією метану у повітрі агрегату конверсії представлений на рис. 4.19.

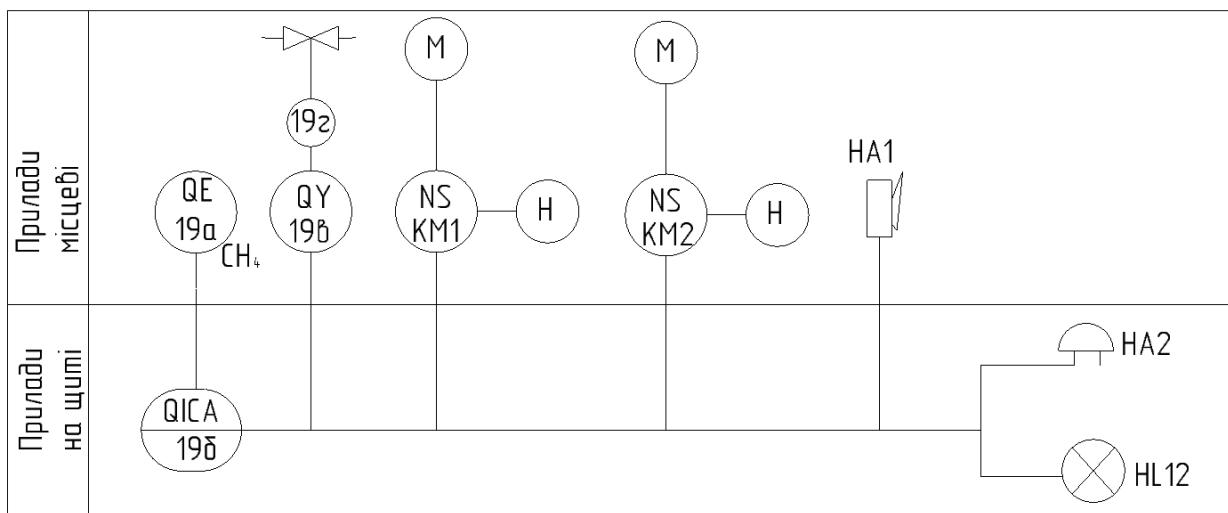


Рисунок 4.19 – Контур контролю і управління концентрацією метану у повітрі агрегату конверсії.

До складу каналу управління входить датчик концентрації метану, перетворювач сигналу датчика, контролер - універсальний регулятор, перетворювач сигналу контролера, виконавчий

механізм, виконавчий орган і обладнання для управління компресором і швидкістю обертання витяжного вентилятора, пристрої сигналізації.

4.20 Концентрацію окису вуглецю у повітрі агрегату конверсії будемо регулювати за допомогою зміни обсягу повітря витяжної вентиляції шляхом збільшення обертів привідного двигуна витяжного вентилятора. Канал контролю і управління концентрацією окису вуглецю у повітрі агрегату конверсії представлений на рис. 4.20.

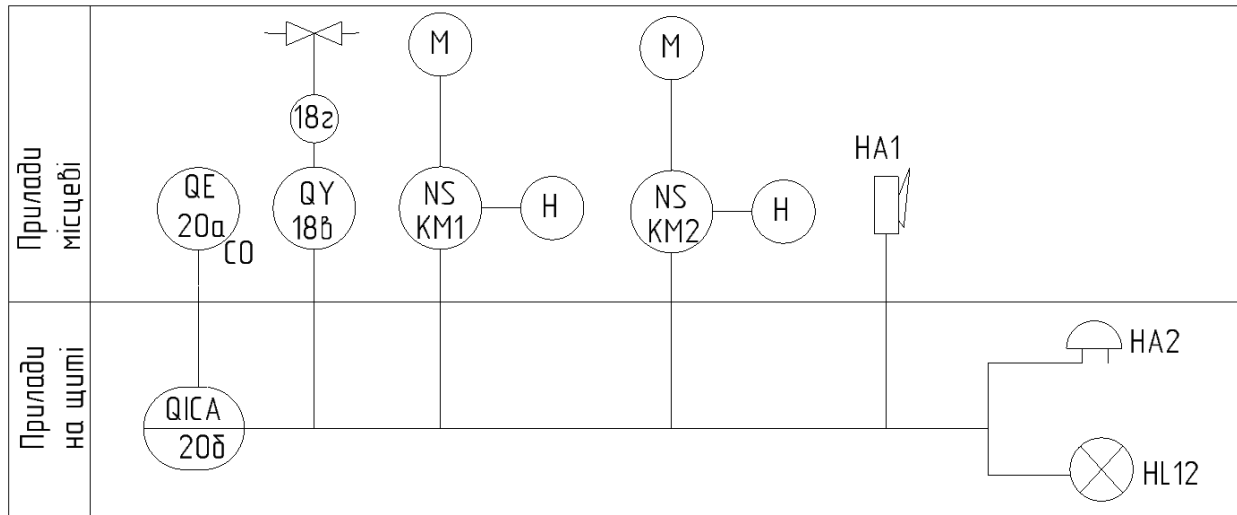


Рисунок 4.20 – Контур контролю і управління концентрацією окису вуглецю у повітрі агрегату конверсії.

До складу каналу управління входить датчик концентрації окису вуглецю, перетворювач сигналу датчика, контролер - універсальний регулятор, перетворювач сигналу контролера, виконавчий механізм, виконавчий орган і обладнання для управління компресором і швидкістю обертання витяжного вентилятора, пристрої сигналізації.

4.21 Концентрацію водню у повітрі агрегату конверсії будемо регулювати за допомогою зміни обсягу повітря витяжної вентиляції шляхом збільшення обертів привідного двигуна витяжного вентилятора. Канал контролю і управління концентрацією водню у повітрі агрегату конверсії представлений на рис. 4.21.

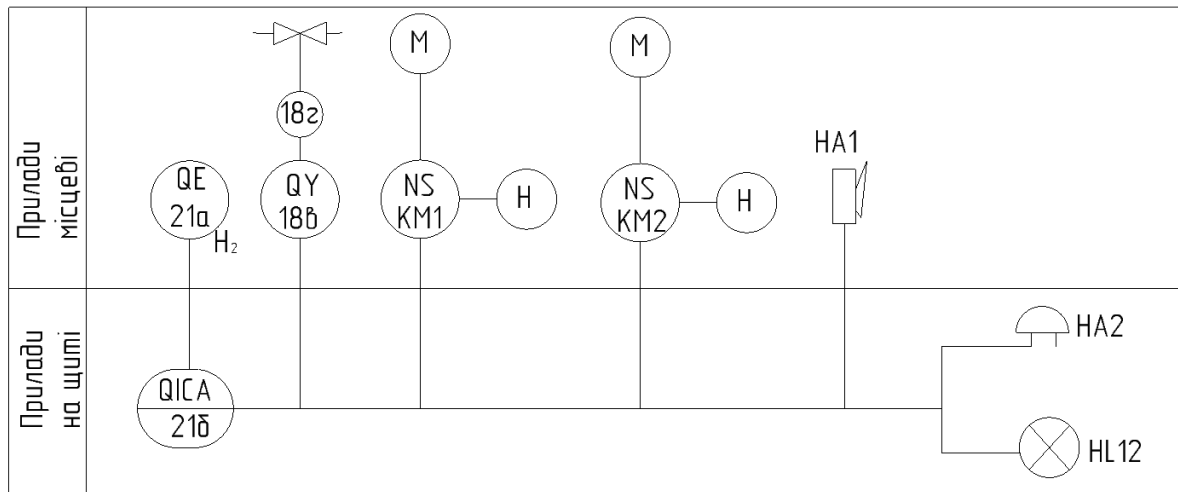


Рисунок 4.21 – Контур контролю і управління концентрацією водню у повітрі агрегату конверсії.

До складу каналу управління входить датчик концентрації водню, перетворювач сигналу датчика, контролер - універсальний регулятор, перетворювач сигналу контролера, виконавчий механізм, виконавчий орган і обладнання для управління компресором і швидкістю обертання витяжного вентилятора, пристрої сигналізації.

5 ВИБІР ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Виходячи з того, що агрегат двоступеневої конверсії природного газу за вибухопожежною небезпекою відносяться до категорії А, класів П-I і В-Ia усі технічні засоби автоматизації, способи і методи контролю, регулювання і сигналізації всіх параметрів технологічного процесу будемо проводити з огляду на дані обставини.

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 тиску

5.1.1.1 Датчик тиску у каналі контролю і управління тиском природного газу на виході компресора природного газу

Вимоги робочого середовища вимірювання:

- температура до +50 °С;
- тиск 0...5,0 МПа;
- пожежо- вибухоннебезпечне середовище;
- хімічно агресивне середовище;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-I і В-Ia.

DMP 331 (ДМП 331), датчик тиску BD Sensors [10], виробник Німеччина, датчик для тисків від 0 ... 0,04 до 0 ... 40 бар, абсолютний, надмірний, розрідження. Зовнішній вигляд датчика наведений на рис. 5.1



Рисунок 5.1 - Зовнішній вигляд датчик тиску DMP 331 (ДМП 331).

DMP 331 (ДМП 331) - універсальний недорогий датчик тиску для різних галузей промисловості, пропорційно перетворює тиск робочого середовища в електричний сигнал.

Завдяки різноманітності діапазону вимірювання датчик DMP 331 застосуємо для вирішення широкого кола завдань.

Датчик розрахований на вимір абсолютного або надлишкового тиску - як статичного, так і динамічного. Діапазони тиску від 0,04 до 150 бар. Можливі спеціальні виконання. Корпус датчика виготовлений з нержавіючої сталі 1.4571 і 1.4435. Стандартне ущільнення - витон (FKM), існують інші варіанти ущільнення.

Переваги та особливості датчика тиску DMP331:

- Економічне виконання;
- Висока лінійність характеристик, висока температурна стабільність;
- Захист від неправильного підключення, короткого замикання і перепадів напруги;
- Міцна і надійна конструкція для важких умов експлуатації, тривалий термін служби.

Технічні особливості:

- Настроювання діапазону на вимогу замовника;
- Наприклад: від -250 мбар до +150 мбар (від -25 кПа до +15 кПа);
- Похибка менше 0,75% ВПІ в температурному діапазоні 0 ... 70 °С;
- Корозійно-стійкий металевий корпус для польових умов;
- Спеціальна конструкція з відкритою мембраною;
- Іскробезпечне виконання: 0ExiaIICT4;
- Діапазони тиску: від 0 ... 0,04 до 0 ... 40 бар, абсолютне, надмірне, розрідження;
- Основна похибка: 0,5 / 0,35 / 0,25 / 0,2 / 0,1% ДІ;
- Вихідний сигнал: 0/4 ... 20 мА, 0 ... 10 В, 0 ... 5 В і ін. (Опція: Ex-виконання);
- Сенсор: кремнієвий п'єзорезистивний;
- Діапазон температур вимірюваного середовища: -25 ... + 125 °С;
- Клас захисту: IP 65-68;
- Механічне приєднання: M10x1, M12x1, M20x1.5, G¹/₄ », G¹/₂», 1/4 »NPT, 1/2» NPT;
- Електричне приєднання: DIN 43650, Binder 723 (5 конт.), M12x1 (4 конт.), Кабельне введення PG7, Виссаpeer.

5.1.1.2 Датчик тиску у каналі контролю тиску водяної пари на виході котла-утилізатора 14

Вимоги робочого середовища вимірювання:

- температура до 300 °С;
- тиск 0...11,0 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

У каналі застосуємо перетворювач тиску для високотемпературних середовищ: до +300 °С - 35Х НТС.

Зовнішній вигляд перетворювача тиску для високотемпературних середовищ 35Х НТС приведений на рис. 5.2.



Рисунок 5.2 - Зовнішній вигляд перетворювача тиску для високотемпературних середовищ 35Х НТС

Пьезорезистивний високотемпературний датчик тиску 35Х НТС[12] може працювати з температурами до 300°С. Тиск впливає на плоску мембрану і далі передається через капіляр, заповнений маслом, на кремнієвий чутливий елемент. Капіляр виконаний у вигляді спіралі та виконує функцію радіатора. Коли середовище, що вимірюється, потрапляє на мембрану з температурою 300°С, температура чутливого елемента збільшується тільки до 100°С. Вбудована електроніка дозволяє отримати посилений вихідний сигнал струму або напруги пропорційно тиску. Для вкрай агресивних середовищ KELLER пропонує різні матеріали виконання мембрани.

Цифровий вихідний сигнал перетворювачів

Основою даного перетворювача є стабільний п'єзорезистивний сенсор із найновішим мікропроцесором XEMICS з інтегрованим 16 bit A/D конвертером. Температурні коливання та нелінійність сенсора компенсуються математичними алгоритмами. За допомогою програми READ30 та кабелю KELLER cable K-107 перетворювач тиску може бути підключений до ноутбука або комп'ютера. Програма READ30 також дозволяє зчитувати дані та графічно відображати їх на РС. До 128 перетворювачів можуть бути з'єднання в єдину Bus-систему.

Аналоговий вихідний сигнал перетворювачів

Інтегрований процесор XEMICS може працювати як цифро/аналоговий перетворювач D/A, 16 біт для вихідних сигналів 4-20 мА або 0-10 В. Частота сигналу становить 400 Гц. Для всіх аналогових перетворювачів тиску доступний цифровий вихідний сигнал.

Програмування

За допомогою програми KELLER READ30, програми PROG 30, RS485-конвертора (наприклад K102 або K107) та ПК можна відображати тиск, змінювати одиниці вимірювання,

підлаштовувати нуль. Також можна налаштувати будь-які значення в межах вимірюваного діапазону аналогових вихідних сигналів.

Датчики за замовчуванням мають цифровий вихід RS485, але можуть бути також оснащені аналоговим виходом на вибір: 4...20 мА або 0...10 В. Через цифровий вихід з датчика на додаток до сигналу тиску можна знімати сигнал за температурою на сенсорі, що може бути корисно для статичних процесів.

Опції:

Релейний вихід, програмований.

Спеціальні обчислення тиску та температури.

Різні матеріали корпусу, наповнення олією, приєднання.

5.1.1.3 Датчик тиску у каналі контролю тиску конвертованого газу на виході теплообмінника

Вимоги робочого середовища вимірювання:

- температура до +250 °С;
- тиск 0...3,0 МПа;
- пожежо-вибухонебезпечне середовище;
- хімічно агресивне середовище;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

У каналі застосуємо високотемпературний датчик тиску ТД-10/130 [13], який є основою для багатьох промислових застосувань завдяки універсальній конструкції та різним варіантам виконання. Сенсор датчика – високочутливий п'єзорезистивний кремнієвий сенсор, що базується на MEMS-технології.

Особливості:

- Діапазон тиску до 1000 бар;
- Похибка вимірів 0,5, 0,25 або 0,1%;
- Максимальна температура середовища – до +300 °С;
- Електричне приєднання – DIN 43650А або кабель;
- Різні варіанти технологічного приєднання;
- Висока довготривала стабільність (<0,2% ВМВ/рік);
- MEMS технології.

Високотемпературний датчик тиску ТД-10/130 передбачає роботу в гарячих середовищах з температурою до 150 °С у стандартному виконанні та до 300 °С в опціональному.

Технологія МЕМС (мікроелектромеханічні системи) дозволяє значно зменшити механічні структури та повністю інтегрувати їх з електричними схемами.

Високотемпературний датчик тиску ТД-10/130 може застосовуватися для вимірювання абсолютного та надлишкового тиску газу або рідини на різних виробництвах і при цьому має високу довготривалу стабільність. Дрейф нульової точки становить лише <0,2% ВМВ/рік, що значно збільшує період між калібруванням виробу. Для живлення датчика потрібна напруга 12 або 24 В. Виріб має високу точність вимірювань, залежно від виконання похибка може становити до 0,25%.

Зовнішній вигляд високотемпературного датчика тиску ТД-10/130 приведений на рис. 5.3.



Рисунок 5.3 - Зовнішній вигляд високотемпературного датчика тиску ТД-10/130.

Технічні характеристики високотемпературного датчика тиску ТД-10/130 приведені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1_ Технічні характеристики високотемпературного датчика тиску ТД-10/130

Тип тиску	Абсолютний тиск, Надлишковий тиск
Діапазон вимірювання	-1...1000 бар
Точність	0,1, 0,25, 0,5 (стандарт)
Живлення	12, 24 В
Вихідний сигнал	0..5, 1..5, 4..20 мА
Електричний роз'єм	DIN 43650А, Кабель
Ступінь пиловологозахисту	IP65
Приєднання	G1/2, M20x1,5
Тип середовища	газ, рідина
Температура середовища	-20..+150 °С стандарт (опція -20..+300 °С)
Температура довкілля	Температура д-40..+125 °С

5.1.1.4 Датчик тиску у каналі контролю тиску парогазової суміші на вході каталізаторних труб трубчатого конвертора

Вимоги робочого середовища вимірювання:

- температура до +250 °С;
- тиск 0...11,0 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

Оскільки умови вимірювання співставні з попереднім каналом, застосуємо для вимірювання тиску конвертованого газу на виході теплообмінника високотемпературний датчик тиску ТД-10/130.

5.1.1.5 Датчик тиску у каналі контролю тиску пари на виході котла-утилізатора 16

Вимоги робочого середовища вимірювання:

- температура до +250 °С;
- тиск 0...11,0 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

Оскільки умови вимірювання співставні з попереднім каналом, застосуємо для вимірювання тиску конвертованого газу на виході теплообмінника високотемпературний датчик тиску ТД-10/130.

5.1.2 Вибір датчиків витрати

5.1.2.1 Датчик витрати у каналі контролю і управління співвідношенням азотоводневої суміші і природного газу на вході вогневого підігрівача

Вимоги робочого середовища вимірювання:

- температура до 140 °С;
- витрата 0...100,0 м³/год.;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

У каналі застосуємо витратомір вихровий Prowirl F 200[14] - багатофункціональний витратомір з функцією виявлення вологої пари та найвищою у своєму класі точністю.

Призначений для застосування з паром, а також забезпечує високу точність вимірювань для газів та рідин у допоміжних процесах. Завдяки унікальній 2-провідній технології датчик Prowirl F 200 забезпечує економічну та просту інтеграцію до існуючих інфраструктур. Прилад також забезпечує високу безпеку роботи у вибухонебезпечних зонах. Технологія Heartbeat Technology забезпечує постійну безпеку процесу.

Зовнішній вигляд витратоміра вихрового Prowirl F 200 наведений на рис. 5.4.



Рисунок 5.4 - Зовнішній вигляд витратоміра вихрового Proline Prowirl F 200.

Технічні характеристики витратоміра Proline Prowirl F 200 наведені в табл. 5.2.

Таблиця 5.2_Характеристики витратоміра Proline Prowirl F 200.

Принцип вимірювання	Вихровий
Вимірювані параметри	Об'ємні витрати, масові витрати, скориговані об'ємні витрати, витрати енергії, різниця витрати енергії, температура
Діапазон вимірювання	Рідина: 0,076...2100 м ³ /год. (0,045...1300 фунт ³ /хв.) залежно від середовища: вода при 1 бар абс., 20 °С (14,5 psi a, 68° F) Пара, газ: 0,39...28 000 м ³ /ч (0,23...17000 фунт ³ /хв.) в зависимости от среды: пара при 180 °С, 10 бар (356 °F, 145 psi a); повітря при 25 °С, 4,4 бар абс. (77 °F, 63,8 psi a)
Макс. похибка вимірювання	Об'ємна витрата (рідина): ±0,75 %; Об'ємна витрата (опція): ±0.65 %; Об'ємна витрата(пара, газ): ±1.00 %; Масова витрата(насичена пара): ±1,7% (з термокомпенсацією); ±1,5% (з термокомпенсацією/ компенсацією за тиском); Масова витрата (перегріта пара, газ): (з термокомпенсацією/компенсацією за тиском); ±1,7% (з термокомпенсацією + зовнішньою компенсацією тиску); Масова витрата (перегріта пара, газ): ±1,5 (з термокомпенсацією/компенсацією за тиском); Масова витрата (рідина): ±0,85%
Діапазон номінальних діаметрів	DN 15...300 (½...12")

Продовження таблиці 5.2

Макс. робочий тиск	PN 100, клас 600, 20К
Діапазон температур продукту	Стандартне виконання: -40...+260 °C (-40...+500 °F) Виконання для високих/низьких температур (опція): -200...+400 °C (-328...+752°F)
Діапазон навколишньої температури	Компактне виконання (стандартний варіант): -40...+80 °C (-40...+176 °F) Компактне виконання (опція): -50...+80 °C (-58...+176 °F) Роздільне виконання (стандартний варіант): -40 ... +85 ° C (-40 ... +185 ° F) Роздільне виконання (опція): -50 ... +85 ° C (-58 ... +185 ° F)
Функції датчика	Інженерія, що заощаджує простір – компенсація впускного потоку. Така ж точність аж до Re 10 000 – найбільш лінійний корпус вимірювача Vortex. Довгострокова стабільність – надійний емнісний датчик без дрейфу. Можливість вологої пари для DN 25 до 300 (1 до 12"). Гнучке розташування напірної камери. Промислова конструкція сифона для вимірювання тиску.
Особливості перетворювача	Зручна розводка пристрою – окремий відсік для підключення. Безпечна експлуатація – не потрібно відкривати пристрій завдяки дисплею з сенсорним управлінням, фоновому підсвіченню. Перевірка без переривання процесу – технологія Heartbeat. Модуль дисплея із функцією передачі даних. Міцний корпус із двома відсіками. Безпека підприємства: міжнародні сертифікати (SIL, вибухонебезпечні зони).
Матеріали, що змочуються	Вимірювальна трубка: 1.4408 (C3FM); CX2MW аналогічно сплаву C22, 2.4602
Матеріал корпусу сенсора	Корпус клемного відсіку датчика: AlSi10Mg з покриттям; 1.4408 (CF3M)
Матеріал корпусу перетворювача	AlSi10Mg, з покриттям; 1.4404 (316L)
Ступінь захисту	Компактне виконання: IP66/67, захисна оболонка типу 4X Датчик у роздільному виконанні: IP66/67, захисна оболонка типу 4X Перетворювач у роздільному виконанні: IP66/67, захисна оболонка типу 4X

Продовження таблиці 5.2

Матеріал корпусу перетворювача	AlSi10Mg, з покриттям; 1.4404 (316L)
Дисплей/Налаштування	4-рядковий сенсорний дисплей із підсвічуванням (зовнішнє керування) Налаштування за допомогою локального дисплея та керуючого ПЗ Доступний виносний дисплей
Вихідні сигнали	4...20 мА HART (пасивний) 4...20 мА (пасивний) Імпульсний/частотний/перемикаючий вихід (пасивний)
Вихідні сигнали	Стумовий вхід 4...20 мА (пасивний)
Цифровий зв'язок	HART, PROFIBUS PA, FOUNDATION Fieldbus
Джерело живлення	12...35 В пост. струму (4...20 мА HART з імпульсним/частотним/перемикаючим виходом або без нього) 12...30 В пост. струму (4...20 мА HART, 4...20 мА) 12...35 В пост. струму (4...20 мА HART, імпульсний/частотний/перемикаючий вихід, вхід 4...20 мА) 9...32 В пост. струму (PROFIBUS PA, імпульсний/частотний/перемикаючий вихід)
Сертифікати на вибухозахист	ATEX, IECEx, cCSAus, JPN, EAC
Безпека виробу	CE, C-TICK, EAC
Функціональна безпека	Функціональна безпека згідно з MEK 61508, можливість застосування для забезпечення безпеки згідно з IEC 61511
Метрологічні нормативи та сертифікати	Зроблено калібрування на сертифікованому калібрувальному обладнанні (відповідає ISO/IEC 17025) Технологія Heartbeat відповідає вимогам до верифікації, що простежується згідно з ISO 9001:2015 – Розділ 7.1.5.2 а (Атестація TÜV SÜD)
Сертифікати та нормативи щодо тиску	PED, CRN, AD 2000
Сертифікати на матеріали	Сертифікат на матеріал 3.1 NACE MR0175/MR0103, PMI (за запитом); тестування зварювання згідно з ISO 15614-1, аналогічно ASME IX (за запитом)

5.1.2.2 Датчик витрати у каналі контролю і управління співвідношенням очищеного газу і водяної пари на вході конвекційної зони трубчастої печі

Вимоги робочого середовища вимірювання:

- температура до 530 °С;
- тиск 0...5,0 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

У каналі застосуємо ультразвуковий витратомір для середовища високотемпературних газів та перегрітої пари OPTISONIC 8300[15], що функціонує за принципом вимірювання часу проходження ультразвукової хвилі, з частотою, спеціально обраною для речовини робочого середовища, вздовж внутрішнього перерізу трубопроводу, яке визначається геометрією установки чутливих датчиків ультразвуку, від однієї стінки до іншої.

OPTISONIC 8300 являє собою 2-променевий ультразвуковий витратомір для перегрітої пари та високотемпературних газів з температурою до +620°C/+1148°F та тиском макс. 200 бар/2900 фунт/кв.дюйм. Він демонструє високі показники точності вимірювань у широкому діапазоні витрат (до DN1000/40", динамічний діапазон регулювання 60:1). Це робить витратомір ідеальним рішенням для контролю технологічного процесу на котельних та електростанціях або для обліку пари. За наявності датчиків температури та тиску, підключених до витратоміру, вбудований обчислювач витрати дозволяє визначити масову витрату або ентальпію пари.

Зовнішній вигляд ультразвукового витратоміра OPTISONIC 8300 наведений на рис. 5.5.



Рисунок 5.5 - Зовнішній вигляд ультразвукового витратоміра OPTISONIC 8300.

OPTISONIC 8300 розроблений для запобігання дорогим простоям паропроводів. Його первинний перетворювач з повнопрохідним перетином труби не містить рухомих або виступаючих елементів і дозволяє виключити втрати тиску. Він може зберігати високу точність вимірювань ($\leq \pm 1\%$ від виміряного значення) без проведення регулярного технічного

обслуговування або періодичного перекалібрування протягом 20 років. Завдяки цьому відсутня необхідність демонтувати витратомір з трубопроводу, а отже, клапани та байпасні лінії не потрібні. Якщо потрібно проведення перевірки точності вимірювань, це можливо забезпечити з використанням діагностичних функцій витратоміра. с постачається з різними варіантами цифрового зв'язку.

Технічні характеристики витратоміра OPTISONIC 8300 наведені в табл. 5.3.

Таблиця 5.3_Характеристики витратоміра OPTISONIC

Номинальний діаметр первинного перетворювача DN	Від 50 до 750 мм.
Відносна похибка а) Перевірка об'ємним методом - для DN від 100 до 750 мм - для DN від 50 до 80 мм б) Поверка имитационным методом - для DN от 100 до 750 мм - для DN від 50 до 80 мм	±1% ±1,5% ±2% ±3%
Робочий тиск, до	43,3 МПа
Температура вимірюваного середовища	до +540 °С
Робоча температура при експлуатації у вибухонебезпечних зонах	до +600°С
Клемна коробка	з нержавіючої сталі (316 L) з видом вибухозахисту Exd
Сертифікати АTEX, IECEx, QPS та NEPSI	Сертифікат вибухозахисту для зони класу 0 для вимірювання вибухонебезпечних газових сумішей
Температура навколишнього середовища	-60...+70 °С
Вихідні сигнали:	<ul style="list-style-type: none"> • Аналоговий 4...20 мА, HART • Частотний (імпульсний) • Modbus • Foundation Fieldbus

Конструкція первинного перетворювача та застосовувані матеріали розраховані на тривалий термін служби. Можливе, як фланцеве виконання, так і виконання під приварювання.

Конвертер GFC 300 F:

Для вимірювання об'ємної витрати;

Виконання Базове, Ех-і або Модульне;

Протоколи HART, FF, Modbus.

Для вимірювання масової витрати⁴

Функція: Витрата пари.

Модульні входи/виходу (I/O) з 2-ма активними входами (4-20 mA);

Протоколи HART, FF, Modbus

Використання конвертера GFC 300 дає можливість обчислення об'ємної витрати, наведеної до нормальних умов, масової витрати, молярну масу, ентальпію потоку, а також передавати діагностичні параметри процесу системи управління.

У GFC 300 опціонально передбачена можливість приймати сигнали від датчиків тиску та температури.

5.1.2.3 Датчик витрати у каналі контролю і управління співвідношенням водяної пари і повітря на вході шахтного конвертора

Вимоги робочого середовища вимірювання:

- температура до 500 °С;
- тиск 0...5,0 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

Умови використання витратоміра ідентичні попереднім. Тому для використання у цьому каналі застосуємо ультразвуковий витратомір для середовища високотемпературних газів та перегрітої пари OPTISONIC 8300.

5.1.3 Вибір датчиків температури

5.1.3.1 Датчик температури у каналі контролю і управління температурою азотоводневої суміші і природного газу на виході вогневого підігрівача

Вимоги робочого середовища вимірювання:

- температура до 400 °С;
- тиск 0...5,0 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

У каналі застосуємо термометр з голівкою, зі змінним чутливим елементом - 200 ÷ 550 °С (RTD) у виконанні Ехі: TOPGN-1..EXI, ТТКGN-1..EXI, ТТJGN-1..EXI[16] , які застосовуються для вимірювання температури в рідинах та газах у небезпечних зонах АТЕХ.

Вони мають змінний чутливий елемент, що дозволяє застосовувати їх у різних промислових сферах. Заміна чутливого елемента не потребує зупинення технологічного

процесу. Пружинна вставка забезпечує надійне з'єднання сенсора із захисною гільзою. Датчик схвалений на відповідність директиві АТЕХ для використання в потенційно вибухонебезпечній атмосфері.

Зовнішній вигляд термоперетворювача з голівкою, зі змінним чутливим елементом у виконанні ЕхІ наведений на рис. 5.6.



Рисунок 5.6 - Зовнішній вигляд термоперетворювача з голівкою виконанні ЕХІ.

Технічні характеристики термоперетворювача з голівкою, зі змінним чутливим елементом у виконанні ЕХІ наведені в табл. 5.4.

Таблиця 5.4_Характеристики термоперетворювачів TOPGN-1..ЕХІ, ТТКGN-1..ЕХІ, ТТJGN-1..ЕХІ з головною, зі змінним чутливим елементом у виконанні ЕХІ

Діапазон вимірювання температури	<ul style="list-style-type: none"> • -200 ÷ 550 °C (RTD) • -40 ÷ 550°C (J, K)
Взаємозамінність датчиків	зі змінною вставкою W1./6 ЕхІ або вставкою з мінеральною ізоляцією W2./6 ЕхІ
Сенсорний елемент	<ul style="list-style-type: none"> • 1 або 2 Pt100, 2, 3, 4-проводи • 1 або 2 x NiCr-NiAl (K), NiCr-CuNi (J)
Вихід	RTD, TC, 4÷20 mA
Температура навколишнього середовища	-40 ÷ 100 °C
Точність	A, B (RTD), 1, 2 клас (TC)
Підключення до процесу	G½", M20x1.5
Монтажна довжина	85 ÷ 2000 мм або особлива довжина
Діаметр датчика	9 mm
Матеріал термокарману	1.4541
Головка датчика	XE-DANA тип (S1), алюмінієвий сплав
Кабельне Введення	M20x1.5 (стандарт) або 1/2"NPT

5.1.3.2 Датчик температури у каналі контролю температури парогазової суміші на вході конвекційної зони трубчатої печі

Вимоги робочого середовища вимірювання:

- температура до 535 °С;
- тиск 0...5,0 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

У каналі застосуємо іскробезпечний термоперетворювач з сенсорним елементом -40 ÷ 700 °С (J) без зовнішньої оболонки Exi: ТОРІ-...EXI, ТТКІ-...EXI і ТТЛІ-...EXI[17] застосовуються для вимірювання температури в рідинах та газах у небезпечних зонах АТЕХ.

Датчик схвалений на відповідність директиві АТЕХ для використання е потенційно вибухонебезпечній атмосфері.

Зовнішній вигляд термоперетворювача без зовнішньої оболонки наведений на рис. 5.7.

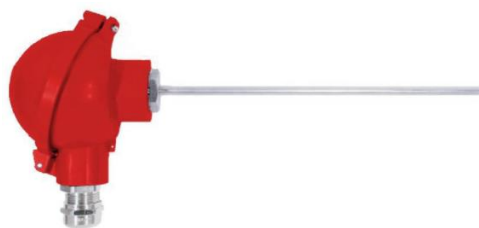


Рисунок 5.7 - Зовнішній вигляд термоперетворювача без зовнішньої оболонки у виконанні EXI.

Технічні характеристики термоперетворювача без зовнішньої оболонки у виконанні EXI наведені в табл. 5.5.

Таблиця 5.5_Характеристики термоперетворювачів ТОРІ-...EXI, ТТКІ-...EXI і ТТЛІ-...EXI з голівкою, зі змінним чутливим елементом у виконанні EXI

Температурний діапазон	<ul style="list-style-type: none"> • -200 ÷ 600°C (RTD) • -40 ÷ 700°C (J) • -40 ÷ 1200°C (K)
Взаємозамінність датчиків	зі змінною вставкою W1. Exi або мінеральна ізольована вставка W2. Exi
Сенсорний елемент	Pt, J, K, N
Вихід	RTD, TC, 4÷20 mA
Температура навколишнього середовища	-40 ÷ 100 °С
Точність	А, В (RTD), 1, 2 клас (TC)
Підключення до процесу	вставний тип
Монтажна довжина	100 ÷ 3000 мм або спеціальна довжина
Діаметр датчика	3, 4, 5, 6, 8 мм
Матеріал термогользи	Трубна вставка: 1.4541 Мінеральна ізольована: 1,4541 (Т, J); 1,4571 (Pt), 2,4816 (N, K)
Сенсорна головка	типу ХЕ-DANA (S1), алюмінієвий сплав

Продовження таблиці 5.5

Кабельне введення	M20x1,5 (стандарт) або 1/2"NPT
Клас захисту	IP65 (кабельне введення АТЕХ II GD IP65, $\varnothing 5 \div 10$ мм)
Допуски	CE, АТЕХ: M1 Ex ia I (з з'єднувальною голівкою N1); II ½G Ex ia IIC T6; II ½D Ex iaD 20/21 T85°C

5.1.3.3 Датчик температури у каналі контролю і управління температурою конвертованого газу на виході конвекційної зони трубчатої печі

Вимоги робочого середовища вимірювання:

- температура до 850 °С;
- тиск 0...5,0 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів II-I і В-Ia.

У каналі застосуємо кабельний датчик температури ТОРЕ-361ЕХІ, ТТЈЕ-361ЕХІ, ТТКЕ-361ЕХІ з сенсором $-40 \div 1000^{\circ}\text{C}$ (К)[18].

Кабельний датчик температури ТОРЕ-361ЕХІ, ТТЈЕ-361ЕХІ, ТТКЕ-361ЕХІ застосовується для вимірювання температури рідких та газоподібних середовищ в умовах високого тиску в небезпечних зонах АТЕХ.

Зовнішній вигляд кабельного датчика температури ТОРЕ-361ЕХІ, ТТЈЕ-361ЕХІ, ТТКЕ-361ЕХІ наведений на рис. 5.8.

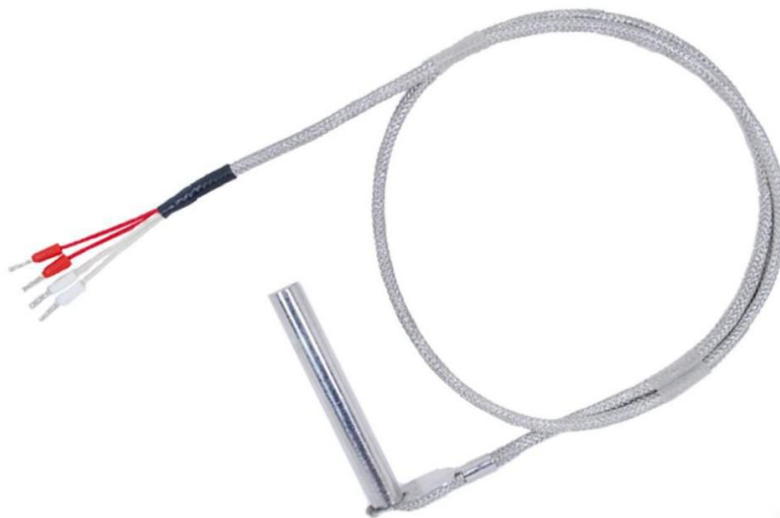


Рисунок 5.8 - Зовнішній вигляд кабельного датчика температури
ТОРЕ-361ЕХІ, ТТЈЕ-361ЕХІ, ТТКЕ-361ЕХІ

Технічні характеристики кабельного датчика температури ТОРЕ-361ЕХІ, ТТЈЕ-361ЕХІ, ТТКЕ-361ЕХІ наведені в табл. 5.6.

Таблиця 5.6_Характеристики кабельного датчика температури TOPE-361EXI, TTJE-361EXI, TTKE-361EXI

Діапазон температур	<ul style="list-style-type: none"> • -50 ÷ 550°C (Pt100) • -40 ÷ 1000°C (K) • -40 ÷ 700°C (J)
Конструкція	прямо або з гільзою вставка W2. Exi
Сенсорний елемент	Pt, J, K, N
Вихід	RTD, TC, 4÷20 mA
Точність	A, B (RTD), 1, 2 клас (TC)
Довжина датчика	100 ÷ 3000 мм або спеціальна довжина
Діаметр датчика	3, 4, 5, 6, 8 мм
Наконечник датчика	плоский
Матеріал сенсора	1.4541
Дріт:	<p>Ws: багатожильний дріт TC: 2x0,22 мм² з ізоляцією зі скловолокна, сталеву оплеткою (до 400 °C)</p> <p>Si: багатожильний дріт TC: 2x0,22 мм² із силіконовою ізоляцією (до 180°C)</p>
Довжина кабелю	1.5 м (стандарт) або у відп. до вимог
Сертифікати	CE, ATEX: II 2G Ex ia IIC T6 / II 2D Ex ia III T85 °C

5.1.3.4 Датчик температури у каналі контролю і управління температурою пароповітряної суміші на вході шахтного конвертора

Вимоги робочого середовища вимірювання:

- температура до 500 °C;
- тиск 0...5,0 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів II-I і В-Ia.

У каналі застосуємо іскробезпечний термоперетворювач з чутливим елементом - 200 ÷ 600°C (RTD) без зовнішньої оболонки Exi: TOPI-...EXI, TTKI-...EXI і TTJI-...EXI[19] застосовуються для вимірювання температури в рідинах та газах у небезпечних зонах АТЕХ.

Зовнішній вигляд термоперетворювача без зовнішньої оболонки наведений на рис. 5.9.

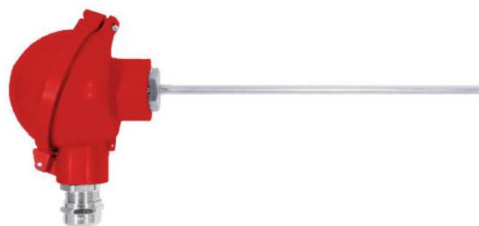


Рисунок 5.9 - Зовнішній вигляд термоперетворювача без зовнішньої оболонки у виконанні EXI.

Технічні характеристики термоперетворювача без зовнішньої оболонки у виконанні ЕХІ наведені в табл. 5.7.

Таблиця 5.7_Характеристики термоперетворювачів без зовнішньої оболонки у виконанні ЕХІ

Температурний діапазон	<ul style="list-style-type: none"> • -200 ÷ 600°C (RTD) • -40 ÷ 700°C (J) • -40 ÷ 1200°C (K)
Взаємозамінність датчиків	зі змінною вставкою W1. Ехі або мінеральна ізольована вставка W2. Ехі
Сенсорний елемент	Pt, J, K, N
Вихід	RTD, TC, 4÷20 mA
Температура навколишнього середовища	-40 ÷ 100 °C
Точність	A, B (RTD), 1, 2 клас (TC)
Підключення до процесу	вставний тип
Монтажна довжина	100 ÷ 3000 мм або спеціальна довжина
Діаметр датчика	3, 4, 5, 6, 8 мм
Матеріал термогоільзи	Трубна вставка: 1.4541 Мінеральна ізольована: 1,4541 (Т, J); 1,4571 (Pt), 2,4816 (N, K)
Сенсорна головка	типу XE-DANA (S1), алюмінієвий сплав
Кабельне введення	M20x1,5 (стандарт) або 1/2"NPT
Клас захисту	IP65 (кабельне введення АТЕХ II GD IP65, ø5 ÷ 10 мм)
Допуски	CE, АТЕХ: M1 Ex ia I (з з'єднувальною головкою N1); II ½G Ex ia IIC T6; II ½D Ex ia D 20/21 T85°C

5.1.3.5 Датчик температури у каналі контролю і управління температурою конвертованого газу на виході шахтного конвертора

Вимоги робочого середовища вимірювання:

- температура до 1000 °C;
- тиск 0...5,0 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів II-I і В-Ia.

У каналі застосуємо іскробезпечний термоперетворювач з чутливим елементом - 40 ÷ 1200°C (K) без зовнішньої оболонки Ехі: ТОPI-...ЕХІ, ТТКІ-...ЕХІ I ТТJІ-...ЕХІ[19] застосовуються для вимірювання температури в рідинах та газах у небезпечних зонах АТЕХ.

5.1.3.6 Датчик температури у каналі контролю і управління температурою конвертованого газу на виході котла-утилізатора 14

Вимоги робочого середовища вимірювання:

- температура до 400 °С;
- тиск 0...5,0 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

У каналі застосуємо термоперетворювачі з голівкою, зі змінним чутливим елементом -200 ÷ 550°С (RTD) у виконанні Exi: TOPGN-1..EXI, ТТКGN-1..EXI, ТТJGN-1..EXI[21] застосовуються для вимірювання температури в рідинах та газах у небезпечних зонах АТЕХ.

Зовнішній вигляд термоперетворювача з голівкою, зі змінним чутливим елементом у виконанні Exi наведений на рис. 5.10.



Рисунок 5.10 - Зовнішній вигляд термоперетворювача з голівкою, зі змінним чутливим елементом у виконанні ExI.

Технічні характеристики термоперетворювача з голівкою, зі змінним чутливим елементом у виконанні ExI наведені в табл. 5.8.

Таблиця 5.8_Характеристики термоперетворювачів TOPGN-1..EXI, ТТКGN-1..EXI, ТТJGN-1..EXI з голівкою, зі змінним чутливим елементом у виконанні ExI

Діапазон вимірювання температури	<ul style="list-style-type: none"> • -200 ÷ 550°С (RTD) • -40 ÷ 550°С (J, K)
Взаємозамінність датчиків	зі змінною вставкою W1./6 Exi або вставкою з мінеральною ізоляцією W2./6 Exi
Сенсорний елемент	<ul style="list-style-type: none"> • 1 або 2 Pt100, 2, 3, 4-проводи • 1 або 2 x NiCr-NiAl (K), NiCr-CuNi (J)
Вихід	RTD, TC, 4÷20 mA
Температура навколишнього середовища	-40 ÷ 100 °С
Точність	A, B (RTD), 1, 2 клас (TC)
Підключення до процесу	G½", M20x1.5
Монтажна довжина	85 ÷ 2000 мм або особлива довжина

Продовження таблиці 5.8

Діаметр датчика	9 mm
Матеріал термокарману	1.4541
Головка датчика	XE-DANA тип (S1), алюмінієвий сплав
Кабельне Введення	M20x1.5 (стандарт) або 1/2"NPT

5.1.3.7 Датчик температури у каналі контролю температури газової суміші на виході конвертора CO першого ступеню

Вимоги робочого середовища вимірювання:

- температура до 460 °С;
- тиск 0...5,0 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

У каналі застосуємо термоперетворювачі з голівкою, зі змінним чутливим елементом - 200 ÷ 550°С (RTD) у виконанні Exi: TOPGN-1..EXI, ТТКGN-1..EXI, ТТJGN-1..EXI[21] застосовуються для вимірювання температури в рідинах та газах у небезпечних зонах АТЕХ.

5.1.3.8 Датчик температури у каналі контролю і управління температурою парогазової суміші на виході котла-утилізатора 16

Вимоги робочого середовища вимірювання:

- температура до 235 °С;
- тиск 0...5,0 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

У каналі застосуємо кабельний датчик температури з чутливим елементом -40 ÷ 400 °С (К) ТОРЕ-365EXI, ТТКЕ-365EXI, ТТJЕ-365EXI [22].

Кабельні датчик температури ТОРЕ-365EXI, ТТКЕ-365EXI, ТТJЕ-365EXI застосовуються для вимірювання температури рідких та газоподібних середовищ в умовах високого тиску в небезпечних зонах АТЕХ.

Зовнішній вигляд кабельного датчика температури ТОРЕ-365EXI, ТТКЕ-365EXI, ТТJЕ-365EXI наведений на рис. 5.11.



Рисунок 5.11 - Зовнішній вигляд кабельного датчика температури TOPE-365EXI, ТТКЕ-365EXI, ТТЈЕ-365EXI.

Технічні характеристики кабельного датчика температури TOPE-365EXI, ТТКЕ-365EXI, ТТЈЕ-365EXI наведені в табл. 5.9.

Таблиця 5.9_Характеристики кабельного датчика температури TOPE-365EXI, ТТКЕ-365EXI, ТТЈЕ-365EXI

Діапазон температур	<ul style="list-style-type: none"> • $-50 \div 400^{\circ}\text{C}$ (Pt100) • $-40 \div 400^{\circ}\text{C}$ (K, J)
Конструкція	прямо або з гільзою вставка W2. Exi
Сенсорний елемент	Pt, J, K, N
Вихід	RTD, TC, $4 \div 20$ mA
Точність	A, B (RTD), 1, 2 клас (TC)
Довжина датчика	$100 \div 3000$ мм або спеціальна довжина
Діаметр датчика	3, 4, 5, 6, 8 мм
Наконечник датчика	плоский
Матеріал сенсора	1.4541
Дріт:	<p>Ws: багатожильний дріт TC: $2 \times 0,22$ мм² з ізоляцією зі скловолокна, сталеву оплеткою (до 400°C)</p> <p>Si: багатожильний дріт TC: $2 \times 0,22$ мм² із силіконовою ізоляцією (до 180°C)</p>
Довжина кабелю	1.5 м (стандарт) або у відп. до вимог
Сертифікати	CE, ATEX: II 2G Ex ia IIC T6 / II 2D Ex ia IIC T85 °C

5.1.4 Вибір датчиків концентрації

5.1.4.1 Датчик концентрації сірководню у каналі контролю вмісту сірководню в очищеному газі на виході адсорбера

Вимоги робочого середовища вимірювання:

- концентрація до 1,0 мг/м³;
- температура до 400 °С;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

У каналі застосуємо газоаналізатор сірководню GPro 500[23] - настроюваний діодний лазер для вимірювання питомого змісту H₂S.

Газоаналізатор сірководню (H₂S) серії GPro 500 - це унікальний високоефективний спектрометр на основі діодного лазера, що настроюється, призначений для вимірювання концентрації H₂S в газовому потоці. Прилад працює за принципом зворотного шляху лазерного променя, що спрощує його установку і забезпечує точне вимірювання вмісту H₂S.

Аналізатор H₂S GPro 500 для складних умов застосування забезпечує надійний вимір в установках каталітичного риформінгу та аналізі коксового газу, забезпечує високу ефективність вимірювання вмісту H₂S, низькі витрати на технічне обслуговування та експлуатацію.

Цей газоаналізатор H₂S призначений для роботи в газовому потоці без технічного обслуговування системи підготовки проб, що знижує сукупну вартість утримання.

Газоаналізатор GPro 500 на основі TDL має просту установку на об'єкті вимірювання, дозволяє обійтися без юстування та пов'язаних з ним труднощів, що зазвичай виникають при встановленні TDL-пристроїв.

Газоаналізатор H₂S серії GPro 500 встановлюється в потоці газу, що дозволяє швидко отримувати результат без відбору та підготовки проб. Це надійна та ефективна альтернатива технологіям, що вимагають відбору та підготовки проб газу.

Модульна конструкція газоаналізатора сірководню GPro 500 з безліччю технологічних адаптерів дозволяє встановлювати його в різних умовах, в тому числі, у важкодоступних місцях.

У цьому газоаналізаторі використовується технологія цифрового керування датчиками (ISM), що забезпечує попереджувальну діагностику стану газоаналізатора з автоматичним повідомленням необхідності очищення оптичного шляху.

Зовнішній вигляд газоаналізатора H₂S серії GPro 500 наведений на рис. 5.12.



Рисунок 5.12 - Зовнішній вигляд газоаналізатора H₂S серії GPro 500 .

Технічні характеристики газоаналізатора H₂S серії GPro 500 наведені в табл. 5.10.

Таблиця 5.10_Характеристики газоаналізатора H₂S серії GPro 500

Вимірюваний газ	Сірководень
Нижня межа чутливості.	20 ppm об.
Діапазон вимірювання	0-50%
Точність	2% від виміряного значення або 20 ppm (більша з цих двох величин)
Нелінійність	Менше 1 %
Число поділок шкали	20 ppm об.
Дрейф	Незначно малий (< 2 % від діапазону вимірювання між інтервалами технічного обслуговування)
Швидкість відбору зразків	1 секунда
Час відгуку (T90)	H ₂ S у N ₂ від 1 до 0 % за < 4 с
Відтворюваність	±0,25 % від виміряного значення або 100 ppm об. H ₂ S (більша з цих двох величин)
Діапазон тиску процесу	Від 0,8 до 3 бар (абс.)/від 11,6 до 29 psi (абс.)
Діапазон температури процесу:	Від 0 до 250 °C (від 23 до 482 °F); опціонально (для встановлення датчика) від 0 до 600 °C (від 0 до 1112 °F) з додатковим тепловим бар'єром
Ефективна довжина шляху	Від 50 мм до 10 м, залежно від конструкції
Технологічна арматура або датчик	Датчик

5.1.4.2 Датчик метану у парогазовій суміші у каналі контролю вмісту метану в парогазовій суміші на виході трубчатого конвертора

Вимоги робочого середовища вимірювання:

- концентрація до 9-10 %;
- температура до 860 °С;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

У каналі застосуємо газоаналізатор метану GPro 500[24] - настроюваний діодний лазер для вимірювання питомого змісту CH_4 .

Зовнішній вигляд газоаналізатора H_2S серії GPro 500 наведений на рис. 5.13.



Рисунок 5.13 - Зовнішній вигляд газоаналізатора H_2S серії GPro 500 .

Газоаналізатор метану (CH_4) серії GPro 500 - це унікальний високоефективний спектрометр на основі діодного лазера, що настроюється, призначений для вимірювання концентрації CH_4 в газовому потоці. Прилад працює за принципом зворотного шляху лазерного променя, що спрощує його установку і забезпечує точне вимірювання вмісту CH_4 .

Аналізатор CH_4 GPro 500 для складних умов застосування забезпечує надійний вимір в установках каталітичного риформінгу та аналізі коксового газу, забезпечує високу ефективність вимірювання вмісту H_2S , низькі витрати на технічне обслуговування та експлуатацію.

Цей газоаналізатор CH_4 призначений для роботи в газовому потоці без технічного обслуговування системи підготовки проб, що знижує сукупну вартість утримання.

Газоаналізатор GPro 500 на основі TDL має просту установку на об'єкті вимірювання, дозволяє обійтися без юстування та пов'язаних з ним труднощів, що зазвичай виникають при встановленні TDL-пристроїв.

Технічні характеристики газоаналізатора CH_4 серії GPro 500 наведені в табл. 5.11.

Таблиця 5.11_Характеристики газоаналізатора CH₄ серії GPro 500

Вимірюваний газ	Метан CH ₄
Нижня межа чутливості.	1 ppm об.
Діапазон вимірювання	0-1 %
Точність	2% від виміряного значення або 1 ppm (більша з цих двох величин)
Нелінійність	Менше 1 %
Число поділок шкали	1 ppm об.
Дрейф	Незначно малий (< 2 % від діапазону вимірювання між інтервалами технічного обслуговування)
Швидкість відбору зразків	1 секунда
Час відгуку (T90)	CH ₄ у N ₂ від 1 до 0 % за < 4 с
Відтворюваність	±0,25 % від виміряного значення або 100 ppm об. CH ₄ (більша з цих двох величин)
Діапазон тиску процесу	Від 0,8 до 3 бар (абс.)/від 11,6 до 29 psi (абс.)
Діапазон температури процесу:	Від 0 до 250 °C (від 23 до 482 °F); опціонально (для встановлення датчика) від 0 до 600 °C (від 0 до 1112 °F) з додатковим тепловим бар'єром
Ефективна довжина шляху	Від 50 мм до 10 м, залежно від конструкції
Технологічна арматура або датчик	Датчик

5.1.4.3 Датчик концентрації метану у повітрі у каналі контролю і управління концентрацією метану в зоні агрегату конверсії

Вимоги робочого середовища вимірювання:

- температура до 40 °C;
- тиск 0...1,0 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

У каналі застосуємо стаціонарний газоаналізатор Дозор-С[25] 1 - 5 каналів вимірювань з датчиком концентрації метану.

Стаціонарний газоаналізатор Дозор-С 1 - 5 каналів вимірювань призначений для:

1) безперервного та автоматичного контролю в повітрі приміщень та відкритих просторів:

- концентрацій горючих газів:
 - метану (CH₄) та природного газу;

- пропан-бутану (C_3H_8);
- водню (H_2);
- концентрацій парів горючих рідин (гексан, бензин, спирти, розчинники);
- концентрацій чадного газу, окису вуглецю (CO);
- концентрацій хлору (Cl_2);
- концентрацій кисню (O_2);
- концентрацій сірководню (H_2S);
- концентрацій оксиду азоту (NO);
- концентрацій аміаку (NH_3);
- концентрацій сірчистого газу (SO_2);
- концентрацій елегазу (SF_6);
- температури.

2) видачі світлової та звукової сигналізації, а також комутації зовнішніх електричних ланцюгів при перевищенні встановлених значень концентрації;

3) перетворення вимірюваного значення концентрації (об'єму) речовини у вихідний сигнал постійного струму (для сигналізаторів, що мають струмовий вихідний сигнал);

4) перетворення вимірюваного значення концентрації (об'єму) речовини та стану порогових пристроїв у вихідний цифровий сигнал інтерфейсу RS 232 або RS 485 (для сигналізаторів, що мають вихідний цифровий сигнал);

5) видачі сигналу для блокування зовнішніх електричних ланцюгів при відключенні живлення сигналізатора.

Зовнішній вигляд стаціонарного газоаналізатора Дозор-С 1 - 5 каналів вимірювань наведений на рис. 5.14.



Рисунок 5.14 - Зовнішній вигляд стаціонарного газоаналізатора Дозор-С 1 - 5 каналів вимірювань.

Переваги стаціонарного газоаналізатора Дозор-С 1 - 5 каналів вимірювань:

- мікропроцесорна система обробки інформації, а також самодіагностики;
- інтегрована світлова та звукова сигналізація на кожен вимірювальний канал;
- цифровий відліковий пристрій концентрації газу;
- автоматичне підстроювання "нуля";
- перешкоднозахищена лінія зв'язку "Датчик-БПС";
- вибухозахищені датчики газоаналізатора Дозор-С 1 - 5 каналів вимірювань з рівнем вибухозахисту "підвищена надійність проти вибуху" за ГОСТ 12.2.020, підтверджується маркуванням "2ExdІІВТ6/Н2". Такий клас вибухозахисту дозволяє використовувати датчики практично у всіх будівлях та спорудах, де можуть утворюватися вибухонебезпечні концентрації;
- можливість керування зовнішніми виконавчими пристроями;
- наявність струмових та цифрових виходів;
- можливість одночасного контролю до вибухонебезпечних концентрацій та ГДК шкідливих газів (CO, SO₂ та ін.);
- стандартний 3-х полюсний роз'єм для підключення до зовнішнього блоку живлення.

Технічні характеристики стаціонарного газоаналізатора Дозор-С 1 - 5 каналів вимірювань наведені в табл. 5.12.

Таблиця 5.12 _ Технічні характеристики стаціонарного газоаналізатора Дозор-С 1 - 5 каналів вимірювань

Кількість вимірювальних каналів	від 1 до 5
Схема підключення датчиків до блоку керування	променева - 1 або 2 промені (датчики підключаються послідовно)
Ступінь захисту корпусу БПС згідно з ГОСТ 14254	IP 65
Рівень звукового тиску сигналізатора на відстані 1 м від сигналізатора	не менше 85 дБ
Середнє напрацювання на відмову сигналізатора Критерій відмови	не менше 35000 год. сигнал "ВІДМОВА"
Повний середній термін служби сигналізатора, щонайменше	12 років
Діапазон робочих температур	от -40 до +50 °С
Живлення: - Основне - Резервне	~220 В; ±220В; ±24В ±24В, ~220В, ±12В
Вихідні сигнали: - управління виконавчими пристроями – “сухий” контакт реле - струмовий вихід - цифровий вихід	2 А, 220; 0-5, або 4-20 мА RS 232 або RS 485

Продовження таблиці 5.12

Пороги увімкнення сигналізації - попереджувальна - аварійна - сигнал відсутності датчика, обрив кабелю	"ПОРІГ 1" "ПОРІГ 2" " ВІДМОВА "
Комутовані електричні ланцюги при напрузі до 250 В	до 5 А
Лінія зв'язку БПС-Ш	3-х-провідна, перешкодозахищена, до 1200 м
Час прогрівання сигналізатора, не більше	5 хв.
Габаритні розміри сигналізатора, мм: - БПС - датчик	284 x 232 x 143 100 x 115 x 110
Маса складових частин сигналізатора: - блок керування - датчик	1,4 кг 0,9 кг

5.1.4.4 Датчик концентрації окису вуглецю у повітрі у каналі контролю і управління концентрацією окису вуглецю в зоні агрегату конверсії

Вимоги робочого середовища вимірювання:

- температура до 40 °С;
- тиск 0...1,0 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

У каналі застосуємо стаціонарний газоаналізатор Дозор-С 1 - 5 каналів вимірювань з датчиком концентрації окису вуглецю.

5.1.4.5 Датчик концентрації водню повітрі у каналі контролю і управління концентрацією водню в зоні агрегату конверсії

Вимоги робочого середовища вимірювання:

- температура до 40 °С;
- тиск 0...1,0 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

У каналі застосуємо стаціонарний газоаналізатор Дозор-С 1 - 5 каналів вимірювань з датчиком концентрації водню.

5.2 Вибір регулюючих органів

5.2.1 Канал контролю і управління тиском природного газу на виході компресора природного газу

Вимоги робочого середовища регулювання:

- потужність двигуна привода компресора 0,75 кВт;
- температура до 40 °С;
- тиск 0...1,0 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

Для управління тиском природного газу на виході компресора будемо змінювати оберти двигуна привода компресора. Компресор приводиться в рух двигуном 4BP 71A2 потужністю 0,75 кВт. Даним вимогам відповідає перетворювач частоти Delta Electronics VFD007EL43A[26].

Зовнішній вигляд перетворювача частоти Delta Electronics VFD007EL43A наведений на рис. 5.15.



Рисунок 5.15 - Зовнішній вигляд перетворювача частоти Delta Electronics VFD007EL43A.

Технічні характеристики перетворювача частоти Delta Electronics VFD007EL43A наведені в табл. 5.13.

Таблиця 5.13 _ Технічні характеристики перетворювача частоти Delta Electronics VFD007EL43A

Номінальна потужність	750.0 (Вт)
Кількість фаз живлення	3
Номінальна вхідна напруга	380 В
Номінальна вихідна напруга	380~400 В
Номінальний струм	2.5 А
Струм протягом 1 хвилини	3.8 А
Здатність до перенавантаження	150%

Продовження таблиці 5.13

Гальмівний модуль	BUE40015
Максимальна вихідна частота	600 Гц
Mmax (1 min) %	150
Захист під короткого замкнення	Так
Захист від перегріву	Так
Захист від перенавантаження	Так
Панель програмування у комплекті з ПЧ	Незйомна
Розширена панель програмування	VFD-PU06
Кількість /тип аналогових входів	1/0-10V або 0(4)-20mA
Кількість аналогових виходів	1
Кількість дискретних входів	6
Кількість дискретних виходов	1
Вбудований потенціометр (або номінал опору	Є
Мінімальна робоча температура навколишнього середовища	-10.0 (град.)
Максимальна робоча температура навколишнього середовища	50.0 (град.)
Інші функції і особливості	Захист від заклинення електродвигуна, обмеження за струмом
Вбудований ПЛК	Немає
Протокол PROFIBUS DP	CME-PD01
Протокол LonWorks	CME-LW01
Протокол CANopen	CME-COP01
Протокол DeviceNet	CME-DN01
Інтерфейс RS-485/Modbus	Є
ЕМС фільтр	Є
Вбудований регулятор	ПІД
Лінійний закон управління U/f	Є
Квадратичний закон управління U/f ²	Є
Базова панель програмування	RC-01
Максимальна кількість фіксованих швидкостей	16
Скалярний режим керування	Є
Векторний режим керування без енкодера	Є

Особливості:

- Допускається щільне встановлення приладів за рахунок вискоефективного охолодження;

- Вбудований режим керування насосами з постійним тиском із зворотним зв'язком по датчику тиску 4-20мА.

- Компактна конструкція – монтаж на DIN-рейку
- Простота в обслуговуванні та введенні в експлуатацію
- ПІД-регулятор
- Вольт-частотне керування. Формування характеристики V / f за трьома точками
- Вбудований РЧ-фільтр класу В
- Вбудований RS-485 (MODBUS)
- Комунікаційні адаптери для мереж ProfiBus, DeviceNet, LonWork та CANopen
- Опціональний виносний пульт PU06 та програмне забезпечення VFD PC
- Можливість активації векторного режиму шляхом перешивки firmware
- Захисне покриття лаком друкованих плат

ПЧ дозволяє виконувати плавний пуск і плавну зупинку електродвигуна привода компресора, регулювання тиску на виході компресора за допомогою вбудованого ПІД-регулятора за сигналом датчика тиску 4...20мА.

5.2.2 Канал контролю і управління співвідношенням азотоводневої суміші і природного газу на вході вогневого підігрівача

Вимоги робочого середовища регулювання:

- температура до 100 °С;
- тиск 0...5,0 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

Застосуємо для регулювання природного газу на трубопроводі подачі на вхід вогневого підігрівача регулюючий клапан ARI-STEVI 440/441[27] з вибухозахищеним електроприводом ARI-PREMIO PLUS 2G[28]. Цей клапан застосовується для управління витратою або тиском потоків пари, масляного теплоносія, гарячої води, газів та інших рідких або газоподібних робочих середовищ. Клапан приводиться в дію лінійним електричним приводом із дискретним або безперервним регулюванням.

Серія регулюючих клапанів Ari-Stevi Smart виготовляється в діапазоні приєднувальних діаметрів DN 15 ... 500. До її складу входять регулюючі клапани Ari-Stevi 440 з сальниковим

ущільненням штока і Ari-Stevi 441 з сифонним ущільненням штока з нержавіючої сталі для роботи з небезпечними і токсичними середовищами.

Корпуси клапанів виготовляються з різних марок чавуну, вуглецевої та нержавіючої сталей. Різноманітне виконання затворів (параболічний, шліцевий, розвантажений по тиску, з додатковим м'яким ущільненням для збільшення класу герметичності клапана в закритому стані) дозволяє підібрати найбільш підходящу внутрішню конструкцію регулюючих клапанів під певне завдання, забезпечуючи високу точність регулювання технологічного процесу.

Регулюючі клапани Ari-Stevi 440/441 оснащуються електроприводами Ari-Premio/Ari-Premio-Plus 2G власної розробки компанії Ari-Armaturen. Приводи забезпечують високу продуктивність – зусилля, створюване приводами: 2,2кН, 5кН, 12кН, 15кН, 25кН та надійність - до 1200 циклів включення приводу на годину в режимі регулювання. Приводи оснащуються безщітковими електродвигунами постійного струму двигунами BLDC із захистом від перегріву, які значно знижують енергоспоживання приводу, забезпечують виключно плавний та тихий хід штока регулюючого клапана. Також застосовуються електричні приводи Ari-FR (з функцією безпеки зі зворотною пружиною, що закриває клапан у разі збою електроживлення приводу), а також промислові електроприводи AUMA (в основному для великих діаметрів клапанів). Всі приводи можуть комплектуватися додатковим набором опцій: кінцеві та проміжні контакти-вимикачі, потенціометри, аналогові датчики зворотного зв'язку, позиціонери.

Зовнішній вигляд регулюючого клапану Ari-Stevi 440/441, оснащеного електроприводом, наведений на рис. 5.16.



Рисунок 5.16 – Зовнішній вигляд регулюючого клапану Ari-Stevi 440/441, оснащеного електроприводом.

Технічні характеристики регулюючого клапану Ari-Stevi 440/441 наведені в табл. 5.14.

Таблиця 5.14_Технічні характеристики регулюючих клапанів Ari-Stevi 440/441

Модель клапану	Ari-Stevi 440	Ari-Stevi 441
Номінальні діаметри	DN 15...250	
Номінальний тиск, бар	PN 16, 25, 40	
Діапазон значень kvs	2,5...1000	
Ущільнення штока та робоча температура клапана	Шевронне кільце з PTFE: -10 ... +220 °C Сальник із PTFE: -10 ... +250 °C Кільце EPDM: -10...+150°C Чистий графіт: -60...450°C	Сильфонне: -60...450°C
Виконання затвора стандартне	DN 15 ... 150: параболічний затвор (ущільнення металу по металу) DN 200...250: шліцевий затвор (ущільнення метал по металу)	
Витратна характеристика	модифікована рівнопроцентна або лінійна (на вибір)	
Діапазон регулювання	50:1 для параболічного затвора 30: 1 для шліцевого затвору	
Модель клапану	Ari-Stevi 440	Ari-Stevi 441
Виконання затвору опціональне	DN 65...150: шліцевий затвор DN 15 ... 150: параболічний затвор з підвищеною герметичністю (клас IV-S1) DN 25 ... 150: параболічний затвор розвантажений за тиском DN 15 ... 150: параболічний затвор з м'яким ущільненням PTFE (Tmax = 200 °C)	
Клас герметичності	метал/метал: клас протікання затвора IV за DIN EN 60534-4 метал/PTFE: клас протікання затвора VI за DIN EN 60534-4	

Продовження таблиці 5.14

Модель клапану	Ari-Stevi 440	Ari-Stevi 441
Матеріали		
Корпус	арт. 12.440 / 12.441: чавун EN-JL1040 (PN16) арт. 22.440 / 22.441: чавун EN-JS1049 (PN16) арт. 23.440 / 23.441: чавун EN-JS1049 (PN25) арт. 34.440/34.441: сталь 1.0619+N (PN25) арт. 35.440/35.441: сталь 1.0619+N (PN40) арт. 54.440/54.441: н/ж сталь 1.4408 (PN25) арт. 55.440/55.441: н/ж сталь 1.4408 (PN40)	
Внутрішні елементи	різні марки н/ж сталей	

Для цих клапанів використовується електропривід ARI-PREMIO/ARI-PREMIO PLUS 2G.

Електричний привід Ari-Premio – це потужний, компактний лінійний електричний привід для трьохпозиційного (дискретного) керування регулюючим клапаном. Електричний привід Ari-Premio Plus 2G із вбудованим позиціонером для керування клапаном за допомогою аналогового сигналу від контролера (керуючий сигнал 0-10В або 0/4-20 мА).

Характеристики електроприводів ARI-PREMIO/ARI-PREMIO PLUS 2G:

- Клас захисту IP65.
- Захист двигуна від перегріву.
- Кінцеві вимикачі та вимикачі за зусиллям.
- Ручне аварійне керування.
- Кількість допустимих включень за годину: 1200.
- Трипозиційне керування (привід Ari-Premio) та аналогове 4..20 мА, 0...10 В (для Ari-Premio Plus 2G).
- Можливість зміни типу витратної характеристики (для Ari-Premio Plus) та швидкості переміщення штока.
- Вибухозахисне виконання.

Враховуючи, що вимоги робочого середовища регулювання аналогічні, застосуємо для регулювання азотоводневої суміші на трубопроводі подачі на вхід вогневого підігрівача такий самий регулюючий клапан з електроприводом ARI-STEVI 440/441 і вибухозахищений електропривід ARI-PREMIO PLUS 2G.

5.2.3 Канал контролю і управління температурою реакційної суміші на виході вогневого підігрівача

Вимоги робочого середовища регулювання:

- температура до 100 °С;
- тиск 0...5,0 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

Враховуючи, що вимоги робочого середовища вимірювання аналогічні, для регулювання температури реакційної суміші на виході вогневого підігрівача застосуємо на трубопроводі подачі природного газу на вхід вогневого підігрівача такий самий регулюючий клапан з електроприводом ARI-STEVI 440/441 і вибухозахищений електропривід ARI-PREMIO PLUS 2G.

5.2.4 Канал контролю і управління співвідношенням очищеної реакційної суміші і водяної пари на вході конвекційної зони трубчатої печі

Вимоги робочого середовища регулювання:

- температура до 100 °С;
- тиск 0...5,0 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

Враховуючи, що вимоги робочого середовища регулювання аналогічні, для управління співвідношенням очищеної реакційної суміші і водяної пари на вході конвекційної зони трубчатої печі застосуємо на трубопроводі подачі очищеної реакційної суміші і на трубопроводі подачі водяної пари на вхід вогневого підігрівача такий самий регулюючий клапан з електроприводом ARI-STEVI 440/441 і вибухозахищений електропривід ARI-PREMIO PLUS 2G.

5.2.5 Канал контролю і управління температурою конвертованого газу на виході конвекційної зони трубчатої печі

Вимоги робочого середовища регулювання:

- температура до 100 °С;
- тиск 0...5,0 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

Враховуючи, що вимоги робочого середовища регулювання аналогічні, для управління температурою конвертованого газу на виході конвекційної зони трубчатої печі застосуємо на трубопроводі подачі природного газу до конвекційної зони трубчатої печі такий самий регулюючий клапан з електроприводом ARI-STEVI 440/441 і вибухозахищений електропривід ARI-PREMIO PLUS 2G.

5.2.6 Канал контролю і управління співвідношенням водяної пари і повітря на вході шахтного конвертора

Вимоги робочого середовища регулювання:

- температура до 100 °С;
- тиск 0...5,0 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-I і В-Ia.

Враховуючи, що вимоги робочого середовища регулювання аналогічні, для управління співвідношенням водяної пари і повітря на вході шахтного конвертора застосуємо на трубопроводі подачі водяної пари і на трубопроводі подачі повітря на вхід шахтного конвертора такий самий регулюючий клапан з електроприводом ARI-STEVI 440/441 і вибухозахищений електропривід ARI-PREMIO PLUS 2G.

5.2.7 Канал контролю і управління температурою паро-повітряної суміші на вході шахтного конвертора

Вимоги робочого середовища регулювання:

- температура до 500 °С;
- тиск 0...5,0 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-I і В-Ia.

Враховуючи, що вимоги робочого середовища регулювання аналогічні, для управління температурою паро-повітряної суміші на вході шахтного конвертора застосуємо на трубопроводі подачі паро-повітряної суміші на вхід шахтного конвертора такий самий регулюючий клапан з електроприводом ARI-STEVI 440/441 і вибухозахищений електропривід ARI-PREMIO PLUS 2G.

5.2.8 Канал контролю і управління температурою конвертованого газу на виході шахтного конвертора

Вимоги робочого середовища регулювання:

- температура до 550 °С;

- тиск 0...5,0 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-I і В-Ia.

Враховуючи, що вимоги робочого середовища регулювання аналогічні, для управління температурою конвертованого газу на виході шахтного конвертора застосуємо на трубопроводі конвертованого газу на виході шахтного конвертора такий самий регулюючий клапан з електроприводом ARI-STEVI 440/441 і вибухозахищений електропривід ARI-PREMIO PLUS 2G.

5.2.9 Канал контролю і управління температурою конвертованого газу на виході котла-утилізатора

Вимоги робочого середовища регулювання:

- температура до 235 °С;
- тиск 0...5,0 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-I і В-Ia.

Враховуючи, що вимоги робочого середовища регулювання аналогічні, для управління температурою конвертованого газу на виході котла-утилізатора застосуємо на трубопроводі подачі води на вхід котла-утилізатора такий самий регулюючий клапан з електроприводом ARI-STEVI 440/441 і вибухозахищений електропривід ARI-PREMIO PLUS 2G.

5.2.10 Канал контролю і управління температурою паро-газової суміші на виході котла-утилізатора

Вимоги робочого середовища регулювання:

- температура до 50 °С;
- тиск 0...5,0 МПа;
- навколишнє середовище категорії А, класів П-I і В-Ia.

Враховуючи, що вимоги робочого середовища регулювання аналогічні, для управління температурою паро-газової суміші на виході котла-утилізатора застосуємо на трубопроводі подачі води на вхід котла-утилізатора такий самий регулюючий клапан з електроприводом ARI-STEVI 440/441 і вибухозахищений електропривід ARI-PREMIO PLUS 2G.

5.2.11 Канал контролю і управління концентрацією метану у повітрі агрегату конверсії

Вимоги робочого середовища регулювання:

- потужність двигуна привода компресора 0,75 кВт;
- температура до 40 °С;
- тиск 0...1,0 МПа;

– навколишнє середовище категорії А, класів П-І і В-Іа.

Для управління концентрацією метану у повітрі агрегату конверсії будемо відключати двигун привода компресора і змінювати оберти привода двигуна витяжного вентилятора. Компресор приводиться в рух двигуном 4BP71A2 потужністю 0,75 кВт. Даним вимогам відповідає перетворювач частоти Delta Electronics VFD007EL43A[29].

Витяжний вентилятор ВОГ 5 1335/4-8 з двигуном привода АИМ80В2 2,2 кВт/3000 об/год. Даним вимогам відповідає перетворювач частоти Delta Electronics VFD022E43A.

Зовнішній вигляд перетворювача частоти Delta Electronics VFD022E43A наведений на рис. 5.17.



Рисунок 5.17 - Зовнішній вигляд перетворювача частоти Delta Electronics VFD022E43A.

Технічні характеристики перетворювача частоти Delta Electronics VFD022E43A наведені в табл.5.15.

Таблиця 5.15 _ Технічні характеристики перетворювача частоти Delta Electronics VFD022E43A

Потужність, кВт	Потужність, кВт: 2.2
Номінальний струм А	Номінальний струм А: 5.5
Напруга живлення, В	380-480
Фазність (кількість фаз)	3
Вихідна частота, Гц	0,1-600
Клас захисту	IP20
Перевантаження % протягом 1 хвилини	150
Час розгону, с	0,1-600

Продовження таблиці 5.15

Час гальмування, с	0,1-600
ЕМС фільтр	+
Гальмівний блок	-
Аналоговий вхід, кількість	3
Дискретний вхід, кількість	7
Аналоговий вихід, кількість	1
Дискретний вихід, кількість	транзисторний - 2
Релейний вихід, кількість	3
Інтерфейс RS485 (Modbus RTU)	+
Пусковий момент	150% на 3 Гц
Регулятор	ПД - регулювання
Управління з ВЧГ	Управління з ВЧГ: +
Векторне управління зі зворотним зв'язком	-
Безсенсорне векторне управління	+
Робоча температура, °С	-10.....+50
Температура зберігання, °С	-20.....+60
Габарити (ШхВхГ), мм	100x174x152
Вага, кг	1.9

ПЧ дозволяє виконувати плавний пуск і плавну зупинку електродвигуна привода витяжного вентилятора, регулювання його обертів і, відповідно, зменшення/збільшення обсягу і напору видуваного повітря за сигналом датчика концентрації 4...20мА.

Для відсікання подачі природного газу до агрегату двоступеневої конверсії застосуємо на вході компресора природного газу відсічний клапан з електроприводом ARI-STEVI 440/441 і вибухозахищений електропривід ARI-PREMIO PLUS 2G, як такий, що задовольняє вимогам. При наближенні концентрації метану до НКМП клапан припиняє подачу природного газу на вхід компресора природного газу і в інші апарати агрегату двоступеневої конверсії.

5.2.12 Канал контролю і управління концентрацією окису вуглецю у повітрі агрегату конверсії

Для управління концентрацією окису вуглецю у повітрі агрегату конверсії будемо відключати двигун привода компресора і змінювати оберти привода двигуна витяжного

вентилятора за допомогою перетворювача частоти аналогічно каналу управління концентрацією метану.

Для відсікання подачі природного газу до агрегату двоступеневої конверсії застосуємо на вході компресора природного газу відсічний клапан з електроприводом ARI-STEVI 440/441 і вибухозахищений електропривід ARI-PREMIO PLUS 2G, як такий, що задовольняє вимогам. При наближенні концентрації окису вуглецю до НКМПІ клапан припиняє подачу природного газу на вхід компресора природного газу і в інші апарати агрегату двоступеневої конверсії.

5.2.13 Канал контролю і управління концентрацією водню у повітрі агрегату конверсії

Для управління концентрацією водню у повітрі агрегату конверсії будемо відключати двигун привода компресора і змінювати оберти привода двигуна витяжного вентилятора за допомогою перетворювача частоти аналогічно каналу управління концентрацією метану.

Для відсікання подачі природного газу до агрегату двоступеневої конверсії застосуємо на вході компресора природного газу відсічний клапан з електроприводом ARI-STEVI 440/441 і вибухозахищений електропривід ARI-PREMIO PLUS 2G, як такий, що задовольняє вимогам. При наближенні концентрації водню до НКМПІ клапан припиняє подачу природного газу на вхід компресора природного газу і в інші апарати агрегату двоступеневої конверсії.

5.3 вибір контролера

Для вибору контролера проаналізуємо вхідні та вихідні сигнали контролера. Відповідно до обраних датчиків і типів каналів управління дані про вхідні сигнали наведені в табл. 5.16, дані про вихідні сигнали наведені в табл. 5.17.

Таблиця 5.16_ Вхідні сигнали контролера

Параметр	Об'єкт управління	Вхідний сигнал
Тиск природного газу	Компресор природного газу	0/4 ... 20 мА, 0 ... 10 В, 0 ... 5 В
Витрата азотоводневої суміші	Вхід вогневого підігрівача	4...20 мА HART 4...20 мА
Витрата природного газу	Вхід вогневого підігрівача	4...20 мА HART, 4...20 мА
Температура реакційної суміші	Вихід вогневого підігрівача	0...20 мА, 0...10 В
Витрата очищеної реакційної суміші	Вхід конвекційної зони трубчастої печі	4...20 мА, HART, Частотний (імпульсний)
Витрата пари	Вхід шахтного конвертора	4...20 мА, HART, Частотний (імпульсний)

Продовження таблиці 5.16

Температура парогазової суміші	Вхід конвекційної зони трубчатої печі	0...20 мА, 0...10 В
Температура конвертованого газу	Вихід конвекційної зони трубчатої печі	0...20 мА
Витрата пари	Вхід шахтного конвертора	4...20 мА, HART, Частотний (імпульсний)
Витрата повітря	Вхід шахтного конвертора	4...20 мА HART, 4...20 мА
Температура паро-повітряної суміші	Вхід шахтного конвертора	4÷20 мА
Температура конвертованого газу	Вихід шахтного конвертора	4÷20 мА
Температура конвертованого газу	Вихід котла-утилізатора 14	4÷20 мА
Температура газової суміші	Вихід конвертора СО першого ступеню	4÷20 мА
Температура парогазової суміші	Вихід котла-утилізатора 16	4÷20 мА
Тиск пари	Вихід котла-утилізатора 16	4-20 мА, 0-10 В
Вміст сірководню в очищеній реакційній суміші	Вихід адсорбера 4	4...20 мА, 0...10 В
Тиск конвертованого газу	Вихід теплообмінника 18	0.5, 1.5, 4..20 мА
Вміст метану у парогазовій суміші на виході трубчатого конвертора	Вихід каталізаторних труб трубчатого конвертора 12	4...20 мА, 0...10 В
Тиск парогазової суміші	Вхід каталізаторних труб трубчатого конвертора 12	4...20 мА, 0...10 В
Тиск пари	Вихід котла-утилізатора 14	4...20 мА, 0...10 В
Концентрація метану у повітрі	Агрегат конверсії	2 А, 220; 0-5, або 4-20 мА RS 232 або RS 485
Концентрація окису вуглецю у повітрі	Агрегат конверсії	2 А, 220; 0-5, або 4-20 мА RS 232 або RS 485
Концентрація водню у повітрі	Агрегат конверсії	2 А, 220; 0-5, або 4-20 мА RS 232 або RS 485

Таблиця 5.17_ Вихідні сигнали контролера

Параметр	Об'єкт управління	Вихідний сигнал
Оберти двигуна привода	Компресор природного газу	4..20 мА, 0...10 В
Витрата азотоводневої суміші	Вхід вогневого підігрівача	4..20 мА, 0...10 В
Витрата природного газу	Вхід вогневого підігрівача	4..20 мА, 0...10 В
Витрата природного газу	Вихід вогневого підігрівача	4..20 мА, 0...10 В

Продовження таблиці 5.17

Витрата очищеної реакційної суміші	Вхід конвекційної зони трубчатої печі	4..20 mA, 0...10 V
Витрата водяної пари	Вхід конвекційної зони трубчатої печі	4..20 mA, 0...10 V
Витрата природного газу	Вихід конвекційної зони трубчатої печі	4..20 mA, 0...10 V
Витрата водяної пари	Вхід шахтного конвертора	4..20 mA, 0...10 V
Витрата повітря	Вхід шахтного конвертора	4..20 mA, 0...10 V
Витрата паро-повітряної суміші	Вхід шахтного конвертора	4..20 mA, 0...10 V
Витрата конвертованого газу	Вихід шахтного конвертора	4..20 mA, 0...10 V
Витрата води	Вихід котла-утилізатора 14	4..20 mA, 0...10 V
Витрата води	Вихід котла-утилізатора 16	4...20 mA
Витрата природного газу	Агрегат конверсії	4..20 mA, 0...10 V
Оберти привода витяжного вентилятора	Агрегат конверсії	4...20 mA
Сигналізація «Тиск природного газу»	Компресор природного газу	Лог. 1
Сигналізація «Температура реакційної суміші»	Вихід вогневого підігрівача	Лог. 1
Сигналізація «Температура парогазової суміші»	Вхід конвекційної зони трубчатої печі	Лог. 1
Сигналізація «Температура паро-повітряної суміші»	Вхід шахтного конвертора	Лог. 1
Сигналізація «Температура газової суміші»	Вихід конвертора CO першого ступеню	Лог. 1
Сигналізація «Тиск водяної пари»	Вихід котла-утилізатора 16	Лог. 1
Сигналізація «Вміст сірководню»	Вихід адсорбера 4	Лог. 1
Сигналізація «Тиск конвертованого газу»	Вихід теплообмінника 18	Лог. 1
Сигналізація «Вміст метану»	Вихід трубчатого конвертора	Лог. 1
Сигналізація «Тиск парогазової суміші»	Вхід каталізаторних труб трубчатого конвертора 12	Лог. 1
Сигналізація «Концентрація метану»	Агрегат конверсії	Лог. 1

Продовження таблиці 5.17

Сигналізація «Концентрація окису вуглецю»	Агрегат конверсії	Лог. 1
Сигналізація «Концентрація метану»	Агрегат конверсії	Лог. 1
Сигналізація звукова концентрації газів	Сирена сигналізації	Лог. 1

На підставі даних таблиць 5.16 і 5.17 можна скласти вимоги до портів контролера і вибрати його на функціональному рівні. Вимоги по вхідних і вихідних сигналів наведені в таблиці 5.18.

Таблиця 5.18 - вимоги до контролера

Сигнали	Кількість сигналів
Аналогові вхідні	24
Дискретні вхідні	-
Аналогові вихідні	15
Дискретні вихідні	14

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.

Програмований логічний мікропроцесорний контролер МК-52 [31] - компактний малоканалний багатфункціональний високопродуктивний мікропроцесорний контролер для автоматичного регулювання та логічного управління технологічними процесами.

Функціональні можливості:

- Контролер МК-52 - це проектно-компонований виріб, який дозволяє користувачеві вибрати потрібний комплект модулів та блоків згідно з кількістю та видом вхідних і вихідних сигналів

- Вбудовані засоби самодіагностики: сигналізація та ідентифікація несправностей, про вихід сигналів за допустимі межі, про збої в ОЗП, порушення обміну через мережу тощо.

- У контролерах МК-52 є розвинена система міжконтролерного обміну, за допомогою якої контролери можуть об'єднуватися в локальну або розподілену мережу управління. У мережі контролери можуть обмінюватися інформацією як з комп'ютером, так і між собою. Ця функція забезпечує можливість організації розподіленої обробки даних, а також збільшення кількості

каналів введення-виведення. З використанням функції межконтроллерного обміну значно знижується інформаційне навантаження на мережу.

- Програмування контролера виконується за допомогою клавішів передньої панелі або за інтерфейсом за допомогою спеціального програмного забезпечення – візуального редактора FBD-програм АЛЬФА. Як мову програмування в системі реалізована мова функціональних блокових діаграм Function Block Diagram (FBD), що надає користувачеві механізм об'єктного візуального програмування. Система програмування реалізована відповідно до вимог стандарту Міжнародної електротехнічної комісії (МЕК) ІЕС 1131-3.

Редактор FBD-програм АЛЬФА має вбудований налагоджувач програм, систему логічного контролю за станом програми, можливості документування програм, друку, представлення програми у вигляді таблиці та ін.

Математична обробка інформації

Контролер МК-52 містить бібліотеку функціональних блоків, достатню для того, щоб вирішувати порівняно складні завдання автоматичного регулювання та логіко-програмного управління.

Бібліотека функціональних блоків умовно поділена на розділи:

- Функціональні блоки введення-виведення: інтерфейсне введення-виведення, аналогове введення-виведення, дискретне введення-виведення, імпульсне введення-виведення

- Математичні функціональні блоки: множення, підсумовування з масштабуванням, ділення, корінь квадратний, абсолютне значення, інтегрування, диференціювання із затримкою

- Логічні функціональні блоки: Логічне І, багатовходове І, Логічне АБО, багатовходове АБО, що виключає АБО, мажоруювання, тригер, регістр, виділення фронту

- Функціональні блоки управління програмою: мінімум, максимум, ковзне середнє, затримка, екстремум, обмеження, обмеження швидкості, перемикач за номером, компаратор, таймер, лічильник, мультівібратор, одновібратор, імпульсатор

- Функціональні блоки управління технологічним процесом: фільтр, масштабування, шматково-лінійна функція, уставка аналогова, уставка часу, програмний задатчик, таймер сигналізатор реального часу, лінійна зміна параметра, регулятор аналоговий, регулятор каскадний, регулятор імпульсний, панель користувача

-Функціональні блоки дельта-регуляторів: регулятори аналогові та імпульсні з розширеними функціями, дельта-регулятор.

Зовнішній вигляд мікропроцесорного контролера МК-52 наведений на рис. 5.18.



Рисунок 5.18 - Зовнішній вигляд мікропроцесорного контролера МІК-52.

Підключення сигналів до МІК здійснюється за допомогою роз'ємів-клем із пружинними з'єднаннями, які встановлюються на задній стінці приладу.

Основні характерні переваги монтажу обладнання з використанням роз'єм-клем:

1. Монтаж проводиться провідниками: одножильними, багатожильними, тонкодротяними з кінцевою втулкою або зі штифтовим наконечником. Перетин провідників, що підключаються 0,08 – 2,5 мм².

2. Після монтажу є можливість оперативного демонтажу обладнання без відключення провідників – необхідно лише вимкнути роз'єми. Аналогічно можна відключити будь-яку групу сигналів, підключену до одного роз'єму.

3. Якість з'єднання – вібростійка, забезпечується пружинним з'єднувачем. Не потребує періодичного обслуговування та не залежить від ретельності роботи монтажного та обслуговуючого персоналу.

Технічні характеристики мікропроцесорного контролера МІК-52 наведені в табл. 5.19.

Таблиця 5.19 _ Технічні характеристики мікропроцесорного контролера МІК-52

Технічна характеристика	Значення
Аналогові вхідні сигнали	
Кількість аналогових входів	8
Типи вхідних аналогових сигналів	
- уніфіковані	0-5мА (R _{вх} =400 Ом), 0(4)-20 мА (R _{вх} =100 Ом), 0-10В (R _{вх} >25кОм)
Період вимірювання, не більше	0,1 сек
Гальванічна ізоляція	групова, входи гальванічно ізольовані з інших входів та інших ланцюгів

Продовження таблиці 5.19

Основна наведена похибка перетворення	$\pm 0,2\%$
Аналогові вихідні сигнали	
Кількість аналогових виходів	До 4
Тип вихідного аналогового сигналу	0-5 мА ($R_H \leq 2 \text{кОм}$), 0(4)-20 мА ($R_H \leq 500 \text{ Ом}$), 0-10В ($R_H \geq 2 \text{кОм}$)
Основна наведена похибка формування вихідного сигналу	
- АО1	$\pm 0,2\%$
- АО2	$\pm 0,4\%$
Цифрова індикація	
Точність індикації	$\pm 0,01\%$
Кількість розрядів цифрового індикатора	4
Висота цифр світлодіодних індикаторів	10 мм
Дискретні вхідні сигнали	
Кількість дискретних входів	До 35
Сигнал логічного "0" – стан ВІДКЛЮЧЕНО	0-7В
Сигнал логічного "1" – стан УВІМКНЕНО	19-32В
Вхідний струм (споживання на вході)	$\leq 10 \text{ мА}$
Гальванічна розв'язка дискретних входів	групова розв'язка
Кількість дискретних входів	До 35
Дискретні вихідні сигнали	
Кількість дискретних виходів	До 37
Типи виходів:	
- транзистор ОК	до 40В, 100мА
- механічне реле (переключається контакт)	до 220В, 8А
- твердотільне реле	до 60В, 1.0ААС/АDС
Гальванічна розв'язка дискретних виходів	Групова
Послідовний інтерфейс RS-485	
Тип каналу	Асинхронний напівдуплексний (прийом та передача йдуть по одній парі дротів з поділом за часом)
Кількість приймачів	32 приймача на одному сегменті

Продовження таблиці 5.19

Максимальна довжина лінії у межах одного сегмента мережі	1200 метрів
Кількість активних передавачів	1 (лише один активний передавач)
Максимальна кількість вузлів у мережі	250 з урахуванням магістральних підсилювачів
Вид кабелю	кручена пара, екранована кручена пара
Гальванічна розв'язка	інтерфейс гальванічно ізольований від інших входів-виходів та решти ланцюгів (напруга гальванічної розв'язки не менше 500 В)
Протокол зв'язку	Modbus режим RTU (Remote Terminal Unit)
Електричні дані	
Напруга живлення:	
• змінного струму	~220 (+22 –33)В, (50 ± 1) Гц
• постійного струму	24 В
Потужність від мережі змінного струму, не більше:	до 13 ВА
Струм споживання живлення 24В, не більше:	не более 350 мА
Корпус. Умови експлуатації	
Тип корпусу	Корпус для утопленого щитового монтажу, IP30
Розміри фронтальної рамки)	96 x 96 мм
Монтажна глибина	189 мм тах
Виріз на панелі	(92 [^] +0,8) x (92 [^] +0,8) мм
Маса блоку, не більше	до 1,0 кг
Температура навколишнього середовища	от -40°C до +70°C
Атмосферний тиск	от 85 до 106,7 кПа
Вібрація з частотою/амплітудою	до 60Гц / до 0,1мм

Проаналізувавши технічні характеристики мікропроцесорного контролера МК-52, констатуємо, що основному комплекті недостатня кількість аналогових входів (є 8, потрібно 24) і аналогових виходів (є 4, потрібно 15). Тому необхідно додатково застосувати для введення і виведення модулі введення/виведення.

8-ми каналний модуль аналогового введення RIO-5N-AI8[32].

Модуль аналогового введення RIO-5N-AI8 призначений для прийому та перетворення на цифрову форму сигналів аналогових датчиків.

Модуль виконаний як самостійний виріб, інформаційний обмін з яким здійснюється за інтерфейсом RS-485 протокол MODBUS RTU.

Модуль RIO-5N-AI8 призначений для побудови розподілених систем контролю та управління технологічними об'єктами.

У модулях RIO-5N-AI8 використовується інтелектуальна система введення, де кожен модуль має вбудований мікропроцесор, який виконує свої завдання та функції з обробки сигналів незалежно від блоку центрального процесора контролера або комп'ютера.

Зовнішній вигляд 8-ми каналного модуля аналогового введення RIO-5N-AI8 наведений на рис. 5.19.



Рисунок 5.19 - Зовнішній вигляд 8-ми каналного модуля аналогового введення.

Виконувані функції:

- прийом та перетворення в цифрову форму сигналів аналогових датчиків;
- обробка сигналів (фільтрація, нормування, масштабування);
- контроль достовірності даних;
- видача за запитом верхнього рівня результатів обробки та діагностичної інформації про стан модуля, стан вхідних сигналів;
- можливість заміни модуля без порушення цілісності системи живлення та інтерфейсної мережі;
- можливість використання модуля як віддалений пристрій аналогового введення під час роботи в сучасних мережах управління та збору інформації.

Режими модуля у мережі

Модуль RIO-5N-AI8 може функціонувати в режимі:

- роботи з налаштуваннями користувача (мережева адреса, швидкість обміну і тайм-аут задається користувачем);
- конфігурації мережевих параметрів (мережева адреса приладу - 1, швидкість обміну - 115200 біт/с).

Режими роботи модуля

Модуль RIO-5N-AI8 може працювати у двох режимах роботи:

- робочому (модуль працює згідно з вказаними при конфігуруванні налаштуваннями, а після закінчення таймауту запиту на передній панелі починає блимати світлодіод ERR);

- безпечному. У цьому режимі модуль працює спільно з командою стеження за мережею, яка після закінчення таймауту запиту переводить аналогові виходи в стан, указаний у параметрі "Безпечне положення аналогового виходу у разі обриву зв'язку", а на передній панелі світиться світлодіод ERR.

Залежно від обраної команди стеження за мережею можливі два варіанти виходу із безпечного стану:

- з автоматичним поверненням із безпечного стану - модуль автоматично повертатиметься в нормальний режим роботи після звернення до будь-якого регістру з верхнього рівня.

- з поверненням з безпечного положення по мережній команді - модуль повертатиметься в нормальний режим роботи тільки після запису з верхнього рівня значення "1" до регістру 3 "Режим роботи модуля", а аналогові виходи зберігатимуть свій стан до того моменту, поки модуль не буде переведено назад у нормальний режим роботи.

За тайм-аут відсутності обміну мережею інтерфейсного зв'язку відповідає системний сторожовий таймер, який дозволяє виключити аварійні ситуації у разі, коли несправність виникає у керуючого комп'ютера.

Реалізація системного сторожового таймера має такий вигляд. Керуючий комп'ютер періодично обмінюється інформацією з модулем. Якщо черговий обмін не відбувається у певний період часу, модуль вважає, що комп'ютер відсутній і переводить усі свої виходи у безпечні стани. Це захищає кероване обладнання в аварійних ситуаціях та робить всю систему більш надійною та стабільною.

Технічні характеристики 8-ми канального модуля аналогового введення наведені в табл. 5.20.

Таблиця 5.20_ Технічні характеристики 8-ми канального модуля аналогового введення RIO-5N-AI8

Технічна характеристика	Значення
Аналогові входи	
Кількість входів	8
Тип вхідного аналогового сигналу	Уніфіковані: от 0 мА до 20 мА, R _{вх} =49.9 Ом от 4 мА до 20 мА, R _{вх} =49.9 Ом от 0 В до 10 В, R _{вх} =25 кОм

Продовження таблиці 5.20

Межа основної наведеної похибки вимірювання вхідних параметрів	$\leq 0.2\%$
Межа допустимої додаткової похибки, спричиненої зміною температури навколишнього середовища	$< 0.2\% / 10\text{ }^{\circ}\text{C}$
Період виміру	Не більше 0.1 с
Гальванічна розв'язка аналогових входів	Входи гальванічно ізолювані між собою, від живлення та інтерфейсу, напруга гальванічної розв'язки не менше 500 В
Послідовний інтерфейс RS-485	
Кількість приладів на одному сегменті	до 32
Максимальна довжина лінії у межах одного сегмента мережі	до 1200 метрів
Діапазон мережевих адрес	до 255
Вид кабелю	Кручена пара, екранована кручена пара
Протокол зв'язку	Modbus режим RTU (Remote Terminal Unit)
Гальванічна розв'язка	Інтерфейс гальванічно ізолюваний з інших ланцюгів. Напруга гальванічної розв'язки не менше 500 В
Електричні дані	
Напруга живлення:	
• змінного струму	$\sim 220 (+22 -33)\text{В}, (50 \pm 1)\text{ Гц}$
• постійного струму	24 В
Споживання:	
- від мережі постійного струму	Не більше 160 мА
- від мережі змінного струму	Не більше 3.9 Вт
Корпус	
Розмір корпусу (ВхШхГ)	132x128x57 мм
Монтажна глибина	63 мм max
Кріплення модуля	Рейка DIN35x7,5 EN50022 або кріплення на стінку за допомогою шурупів DIN 7504P 3x25 використовуючи отвори в корпусі
Положення під час монтажу	будь-яке

Продовження таблиці 5.20

Умови експлуатації	
Температура навколишнього середовища	від -40 °С до +70 °С
Атмосферний тиск	від 84 до 106,7 кПа
Вібрація	із частотою до 60 Гц із амплітудою до 0,1 мм
Приміщення	закрите вибухо-, пожегобезпечне

Таких модулів потрібно 2.

6-ти канальний модуль аналогового виведення RIO-AO6[33].

Модуль аналогового виведення RIO-AO6 призначений для формування аналогових керуючих сигналів за командами керуючого комп'ютера (контролера).

Модуль виконаний як самостійний виріб, інформаційний обмін з яким здійснюється за інтерфейсом RS-485 протокол MODBUS RTU;

Модуль RIO-AO6 призначений для побудови розподілених систем керування технологічними об'єктами;

У модулях RIO-AO6 використовується інтелектуальна система виведення, де кожен модуль має вбудований мікропроцесор, який виконує свої завдання та функції з обробки сигналів незалежно від блоку центрального процесора контролера або комп'ютера.

Зовнішній вигляд 6-ти канального модуля аналогового виведення RIO-AO6 наведений на рис. 5.20.



Рисунок 5.20 - Зовнішній вигляд 6-ти канального модуля аналогового виведення RIO-AO6.

Виконувані функції:

- формування вихідних аналогових сигналів;
- тип вихідних аналогових сигналів: уніфікований сигнал 4-20мА;

- обробка сигналів: нормування, вибір напрямку зміни сигналу, швидкість зміни, сигналізація виходу сигналу за межі уставок сигналізації з можливістю обмеження;

- видача на запит значень вихідних сигналів;

- встановлення виходів у заданий стан безпеки при включенні живлення. Стан вихідних пристроїв після увімкнення живлення конфігурується користувачем;

- встановлення виходів у безпечний стан в аварійних ситуаціях. Управління вихідними пристроями у разі відмови інтерфейсного каналу зв'язку конфігурується користувачем;

- можливість заміни модуля без порушення цілісності системи живлення та інтерфейсної мережі.

- можливість використання модуля як віддаленої пристрій аналогового виведення при роботі в сучасних мережах управління та збору інформації.

Режими роботи модуля

Модуль RIO-АОБ може працювати у двох режимах роботи:

- робочому (модуль працює згідно з вказаними при конфігуруванні налаштуваннями, а після закінчення таймауту запиту на передній панелі починає блимати світлодіод ERR);

- безпечному. У цьому режимі модуль працює спільно з командою стеження за мережею, яка після закінчення таймауту запиту переводить аналогові виходи в стан, вказаний у параметрі "Безпечне положення аналогового виходу у разі обриву зв'язку", а на передній панелі світиться світлодіод ERR.

Залежно від обраної команди стеження за мережею можливі два варіанти виходу із безпечного стану:

" з автоматичним поверненням із безпечного стану - модуль автоматично повертатиметься в нормальний режим роботи після звернення до будь-якого регістру з верхнього рівня;

з поверненням з безпечного положення по мережній команді - модуль повертатиметься в нормальний режим роботи тільки після запису з верхнього рівня значення "1" в регістр 3 "Режим роботи модуля", а аналогові виходи зберігатимуть свій стан до того моменту, поки модуль не буде переведено назад у нормальний режим роботи.

За тайм-аут відсутності обміну мережею інтерфейсного зв'язку відповідає системний сторожовий таймер, який дозволяє виключити аварійні ситуації у разі, коли несправність виникає у керуючого комп'ютера.

Реалізація системного сторожового таймера має такий вигляд. Керуючий комп'ютер періодично обмінюється інформацією з модулем. Якщо черговий обмін не відбувається у певний період часу, модуль вважає, що комп'ютер відсутній і переводить усі свої виходи у безпечні стани. Це захищає кероване обладнання в аварійних ситуаціях та робить всю систему більш надійною та стабільною.

Технічні характеристики 6-ти каналного модуля аналогового виведення RIO-AO6 наведені в табл. 5.21.

Таблиця 5.21 _ Технічні характеристики 6-ти каналного модуля аналогового виведення RIO-AO6

Технічна характеристика	Значення
Аналогові виходи	
Кількість виходів	6
Тип вихідного аналогового сигналу	4-20 мА (R _n ≤ 500 Ом)
Роздільна здатність ЦАП	≤ 0,0015 % (16 розрядів)
Межа основної наведеної похибки, що допускається	≤ 0,2%
Межа допустимої додаткової похибки, спричиненої зміною температури навколишнього середовища	< 0,2 % / 10 °С
Гальванічна розв'язка	аналогові виходи гальванічно ізольовані між собою та від інших ланцюгів
Послідовний інтерфейс RS-485	
Кількість приладів на одному сегменті	до 32
Максимальна довжина лінії у межах одного сегмента мережі	до 1200 метрів
Діапазон мережевих адрес	до 255
Вид кабелю	кручена пара, екранована кручена пара
Протокол зв'язку	Modbus режим RTU (Remote Terminal Unit)
Гальванічна розв'язка	інтерфейс гальванічно ізольований від входів та інших ланцюгів
Електричні дані	
Напруга живлення:	
Постійного струму	від 12 до 36 В
Струм споживання по живленню 24 В, не більше	260 мА
Споживання:	
- від мережі постійного струму	Не більше 160 мА
- від мережі змінного струму	Не більше 3.9 Вт
Корпус	
Розмір корпусу (ВхШхГ)	117x23x129 мм

Продовження таблиці 5.21

Монтажна глибина	130 мм max
Кріплення модуля	рейка DIN36x7,5 EN50022
Положення під час монтажу	будь-яке
Ступінь захисту	IP20
Маса, не більше	0,18 кг
Умови експлуатації	
Температура навколишнього середовища	від -40 °С до +70 °С
Атмосферний тиск	від 84 до 106,7 кПа
Вібрація	із частотою до 60 Гц із амплітудою до 0,1 мм
Приміщення	закрите вибухо-, пожегобезпечне

Таких модулів потрібно 2.

5.4 Вибір панелі оператора

Спеціально розроблені серії сенсорних панелей оператора з функціями ПЛК головним чином призначені для відображення та внесення змін до контрольованих процесів автоматизованого керування системами. Такі пристрої здатні у кілька разів підвищити ефективність за рахунок спрощення програмування. Користувач виконує самостійне налаштування в єдиному середовищі, яке забезпечує при цьому візуалізацію та контроль за роботою систем, що обслуговуються. Поєднання функцій ПЛК у сенсорній панелі оператора дозволяє не лише скоротити кількість електромонтажної арматури, але й суттєво розширити функціональність обладнання. Пропоновані пристрої побудовані з урахуванням високопродуктивних процесорів нового покоління.

Для наглядного відображення значень параметрів та оперативного управління, а також ведення архіву подій або значень застосуємо сенсорну графічну панель оператора Weintek ХЕ[34].

Панелі оператора (НМІ) є пристроями взаємодії між людиною (оператором) та автоматизованою системою управління технологічним процесом. Їх використання забезпечує неперервний моніторинг та ефективний контроль за об'єктом управління.

В операторських панелях Weintek для реалізації функцій керування замість блоків кнопочного типу використовується сенсорний екран (touch screen).

Зовнішній вигляд сенсорних панелей Weintek ХЕ наведений на рис. 5.21.



Рисунок 5.21 - Зовнішній вигляд сенсорних панелей Weintek XE series.

Особливості сенсорних панелей Weintek XE series:

Ультра-тонкі форми та різні розміри дисплея (від 9,7" до 15") дозволяють використовувати сенсорні панелі в будь-якому середовищі промислових програм.

Абсолютно новий вигляд і колірний дизайн, виконаний із чудовим естетичним смаком.

Спеціальне покриття для використання у жорстких атмосферних умовах.

Потужний процесор: Cortex A8 1ГГц.

Вбудований ізолюваний RS-485-інтерфейс забезпечує надійність під час роботи зі складним обладнанням.

Понад 250 драйверів для комунікації з різними типами контролерів.

Відповідність стандартам CE, ступінь захисту IP65.

Технічні характеристики сенсорних панелей Weintek XE series наведені в табл. 5.22.

Таблиця 5.22 _ Технічні характеристики сенсорних панелей Weintek XE series

	Характеристика	Значення			
Пристрій		MT8090XE	MT8091XE	MT8121XE	MT8150XE
Дисплей	Розмір та тип	9,7" TFT	9,7" TFT	12.1" TFT	15" TFT
	Роздільна здатність	1024x768	1024x768	1024x768	1024x768
	Яскравість, кд/м ²	350	350	500	400
	Контрастність	500:1		700:1	
	Тип підсвічування	LED			
	Термін роботи підсвічування	більше 30 тис. годин		більше 50 тис. годин	
	Кількість кольорів	262 тис.		16,2 млн.	

Продовження таблиці 5.22

Сенсор	Тип	4-провідний резистивний			
	Точність	±2%			
Пам'ять	Вбудована, Мб	512			
	Оперативна, Мб	256			
Процесор		32-розрядний RISC Cortex-A8 1 ГГц			
Порти введення- виведення	Слот для карток SD/SDHC	Ні		Так	
	USB Host	USB 2.0 x 1			
	USB Client	-		USB 2.0 x 1	
	Ethernet	10/100 Base-T			
	COM-порти	COM1: RS-232/RS-485 2W/4W, COM3: RS-485 2W		COM1: RS-232, COM2: RS-485 2W/4W, COM3: RS-485 2W	
	Can Bus	Ні	Так	Ні	
RTC		Вбудовано			
Потужність	живлення	24±20% VDC			
	споживана	500mA при 24VDC	500mA при 24VDC	800mA при 24VDC	1000mA при 24VDC
Специфікація	Опір напруги	500VAC 1 хв			
	Опір напруги	500VAC 1 хв			
	Опір ізоляції	Перевищує 50MΩ за 500VDC			
	Стійкість до вібрацій	10...25 Гц (X, Y, Z напрямок, 2G, 30 хв.)			
	Корпус	Пластик		Алюміній	
	Габаритні розміри, мм	260,6x203,1x36,5	260,6x203,1x36,5	317x244x46	366x293x57
	Отвір під монтаж, мм	248,5x191	248,5x191	305x231	352x279
	маса, кг	0,85	0,85	2,1	2,75
Робоче середовище	Температура зберігання	-20...60°C			
	Робоча температура	0...50°C			

5.5 Вибір засобів сигналізації

Для організації технологічної сигналізації застосуємо блок технологічної сигналізації ПТС-164[].

Блок технологічної сигналізації застосовується для узагальненої та поканальної сигналізації параметрів технологічних процесів, значення яких в процесі роботи перевищують ті або інші технологічні уставки. Використовується в локальних та комплексних системах промислової автоматизації виробничих процесів в схемах технологічної та аварійної сигналізації.

Прилад технологічної сигналізації ПТС-164 складається з одного блоку ПТС-25 (ведучий пристрій або прилад узагальненої сигналізації) та одного або кількох блоків ПТС-85 (ведене пристрій або прилад поканальної сигналізації).

Функціональні можливості.

Виконувані функції:

- Світлодіодна індикація спрацьовування поканальної (ПТС-85) та узагальненої сигналізації (ПТС-25);
- Підключення зовнішніх світлодіодних індикаторів (через клемний з'єднувач або роз'єм ГТС-Б);
- Вибір типу сигналу сигналізації - статичний сигнал (постійне свічення) або динамічний з частотою F1 або F2. Використання F1 та F2 направлено на два різноманітних (за тоном, силою звучання) звукових пристроїв;
- Квитування (зняття) сигналізації виконується за допомогою кнопки, що під'єднується до клем ПТС-25;
- Перевірка (тестування) сигналізації виконується за допомогою кнопки, що під'єднується до клем ПТС-25.

Пристрій ПТС-25 (ведучий) містить:

- Два незалежних канали сигналізації, що перемикаються контактами частоти F1 та F2;
- Задатчик частоти сигналів сигналізації F1 та F2;
- Вузол квитування (зняття) сигналізації;
- Вузол перевірки сигналізації;
- Пристрій ПТС-85 (ведений) містить:
 - Вісім незалежних каналів сигналізації з можливістю поканального вибору сигналу сигналізації та номеру каналу спрацьовування сигналізації ПТС-25.

Зовнішній вигляд приладу технологічної сигналізації ПТС-64 представлений на рис. 5.22.



Рисунок 5.22 - Зовнішній вид приладу технологічної сигналізації ПТС-164

Підключення приладу технологічної сигналізації ПТС-164 здійснюється наступним чином. До ведучого пристрою ПТС-25 приєднуються від одного до восьми ведених пристроїв ПТС-85. Схема підключення приладу представлена на рис. 5.23.

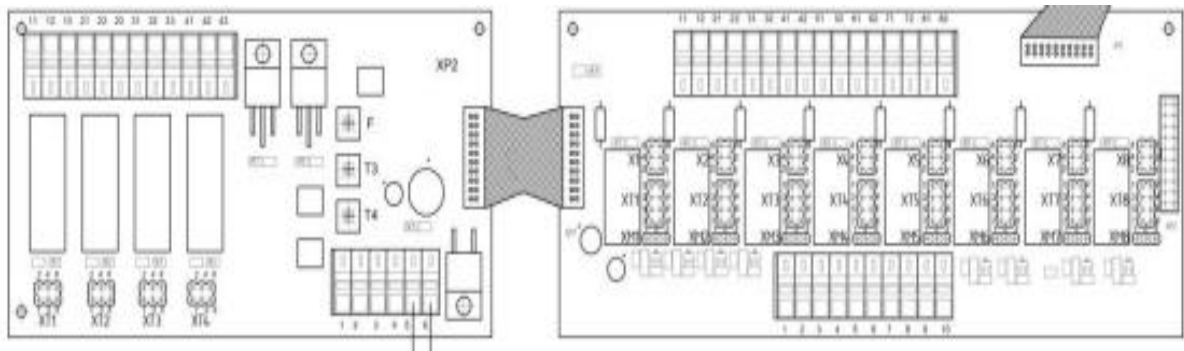


Рисунок 5.23 – Схема підключення приладу ПТС 164

5.6 Вибір блока живлення

Для живлення технічних засобів системи управління застосуємо блок живлення МІКРОЛ БП-200-24[36]. Він призначений для живлення стабілізованою напругою постійного струму комплексів вимірювальних перетворювачів теплоенергетичних параметрів, а також різних приладів та промислового обладнання.

Зовнішній вигляд блоку живлення МІКРОЛ БП-200-24 представлений на рис. 5.24.



Рисунок 5.24 - Зовнішній вид блоку живлення МІКРОЛ БП-200-24

Технічні характеристики блоку живлення МІКРОЛ БП-200-24 наведені в табл. 5.23.

Таблиця 5.23 _ Технічні характеристики блоку живлення МІКРОЛ БП-200-24

Технічна характеристика	Значення
Кількість незалежних джерел	1
Номінальна вихідна напруга	24 В
Номінальне значення струму навантаження	5 А
Клас стабілізації вихідної напруги	1.0
Максимальне значення струму навантаження (коротко рядкове до 10-20 хв)	7.5 А
Пульсація вихідної напруги	0.25 мВ
Струм спрацьовування захисту в навантаженні, не більше	10 А
Температурна нестабільність вихідної напруги у робочому діапазоні температур (від мінус 40 °С до 70 °С)	0.5 В
Напруги живлення змінного струму	Від 110 до 242 В
Потужність: номінальне значення	152 Вт
максимальне значення (при номінальному струмі споживання та напрузі живлення 110 В)	160 Вт
Розмір корпусу (ВхШхГ)	90 мм x 145 мм x 131 мм
Маса перетворювача, не більше	1 кг
Температура навколишнього середовища	від -40 °С до +70 °С

Для живлення ПЛК, модуля вводу, панелі оператора, ПТС-164, електроприводу виконавчого механізму а також датчиків оберемо блок живлення. Застосуємо 10 4-канальних блоків живлення ОВЕН БП14Б-Д4 .

6 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

Структура автоматизованої системи управління визначається її задачами в сфері діяльності підприємства, зв'язків структурних підрозділів, задіяних в управлінні, напрямками і формами передачі інформації.

На рис. 6.1 представлена модель[8] тривірневої структурної схеми автоматизованої системи сучасного виробництва, як однієї з найпоширеніших.

Нижній рівень цієї схеми становлять вимірювальні прилади і виконавчі механізми. Наразі вони можуть бути аналоговими або цифровими (інтелектуальними). Аналогові представляють вимірювану величину у вигляді рівня напруги або струму. Цифрові ж мають вбудовані пристрої перетворення і представляють вимірювану величину у вигляді цифрового сигналу, що відповідає специфікації протоколу передачі даних, визначеного для цих пристроїв. Як правило, для кожного типу існують свої протоколи і формати обміну інформацією. Для обміну інформацією з приладами першого типу, необхідно використовувати АЦП / ЦАП (Аналого-цифрові/Цифро-аналогові перетворювачі).

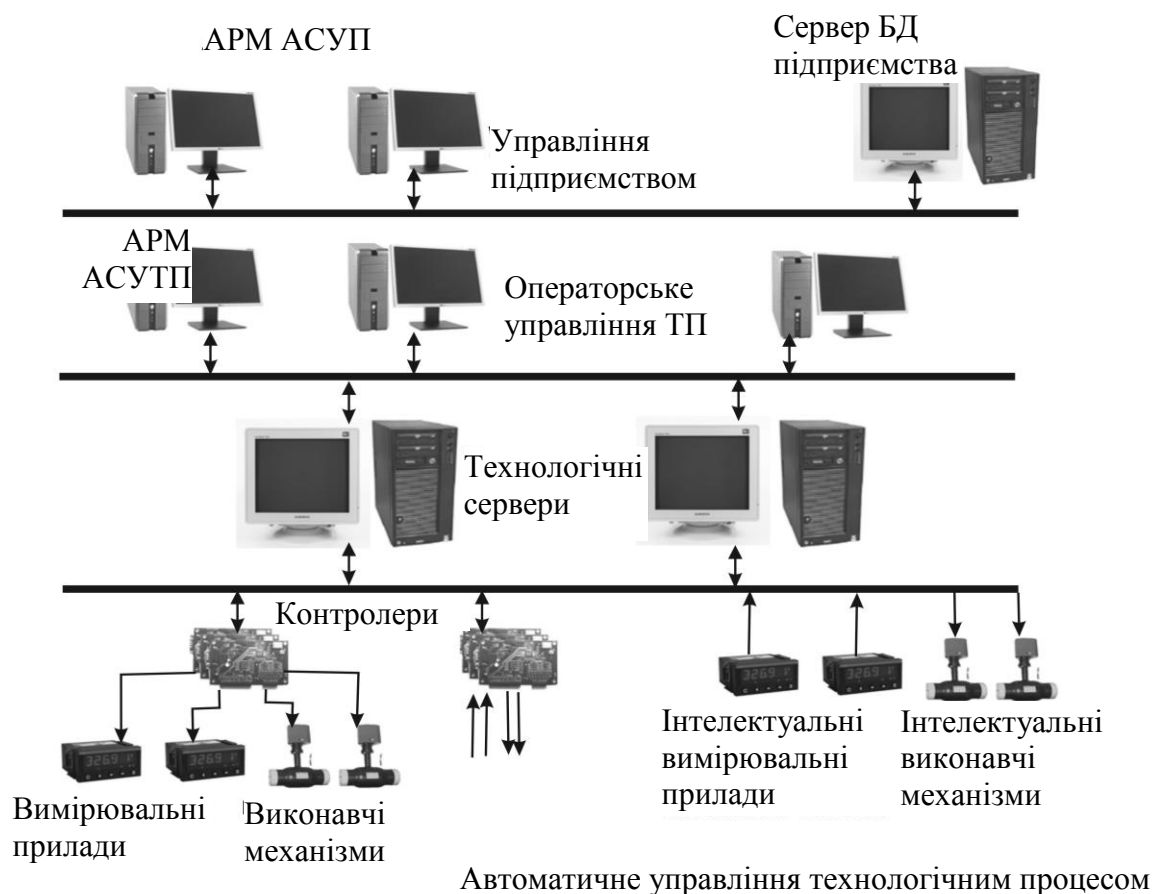


Рисунок 6.1 - Узагальнена структурна схема тривірневої автоматизованої системи управління сучасного виробництва

Із приладами другого типу можна обмінюватися інформацією безпосередньо мережею передачі даних.

Наступний рівень схеми - контролери. Вони виконують функцію автоматичного керування технологічним процесом. Метою управління є видача сигналів на виконавчі механізми в результаті обробки даних про стан технологічних параметрів, отриманих за допомогою вимірювальних приладів, за певними алгоритмами.

Сервери технологічних даних забезпечують обмін інформацією між технологічними пристроями і мережею персональних комп'ютерів. Вони підтримують протокол роботи з технологічними пристроями і протокол роботи з мережею персональних комп'ютерів. Дані про поточні параметри технологічного процесу можуть бути використані для контролю стану технологічного процесу і управління ним з автоматизованих робочих місць операторів; для архівування історії зміни технологічних параметрів; для формування сумарних звітних форм з метою надання інформації керівному персоналу. У цій схемі, SCADA-система (аббревіатура за іноземною класифікацією) представлена серверами технологічних даних та автоматизованими робочими місцями операторів.

Сучасна SCADA система - це набір інструментальних засобів і виконавчих модулів, призначених для створення автоматизованих робочих місць операторів зі спостереження за станом технологічного процесу і керування ним.

Відзначимо функції SCADA-систем:

- 1) збір, первинну обробку та накопичення інформації про параметри технологічного процесу і стан обладнання від промислових контролерів і інших цифрових пристроїв, безпосередньо пов'язаних з технологічною апаратурою;
- 2) відображення інформації про поточні параметри технологічного процесу на екрані монітора у вигляді графічних мнемосхем;
- 3) відображення графіків поточних значень технологічних параметрів в реальному часі за заданий інтервал;
- 4) виявлення критичних (аварійних) ситуацій;
- 5) виведення на екран монітора технологічних та аварійних повідомлень;
- 6) архівування історії зміни параметрів технологічного процесу;
- 7) операторське управління технологічним процесом;
- 8) надання даних про параметри технологічного процесу для їх використання в системах управління підприємством.

На третьому рівні сервери баз даних підприємства формують зведені плани роботи за всією номенклатурою продукції, отримують дані з рівня оперативного управління і створюють звіти про випуск продукції і формування виробничих і фінансових показників.

Така структура за принципом відкритих систем може бути розширена в певному напрямку і також – обмежена.

7 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

7.1 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 якості ТОУ оберемо трубчасту піч (конвертор метану першого ступеня), як такий, що має одне з вирішальних значень в агрегаті конверсії природного газу. Розрахуємо регулятор по каналу управління^ залежність температури парогазової суміші на каталізаторах від витрати горючого газу на її підігрівання $T(t) = f(Q)$.

В результаті експериментальних досліджень об'єкта управління був отриманий вид перехідної характеристики. Після чого був нормований. Перехідна характеристика зображена на рис. 7.1.

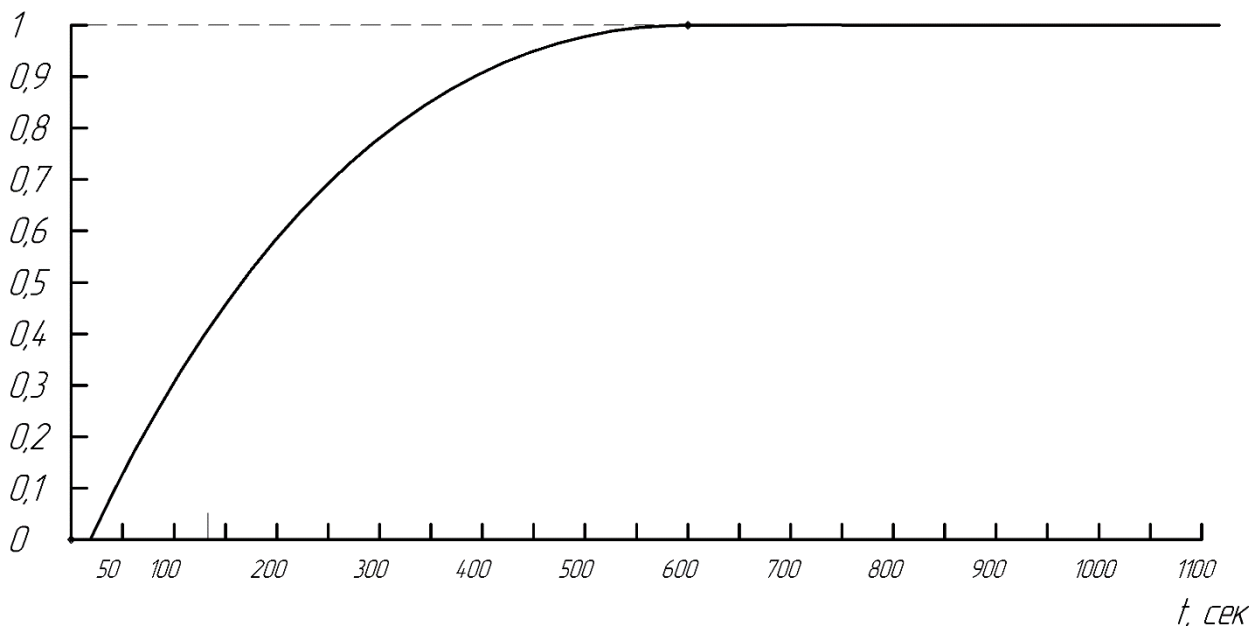


Рисунок 7.1 – Експериментально отримана перехідна характеристика.

Нормованим параметром від 0 до 1 на шкалі Y є зміна температури відповідно від 0 до 850 °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:

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

7.2 Визначення параметрів передавальної функції ТОУ.

Активні методи визначення динамічних характеристик об'єктів припускають подачу на вхід об'єкту пробних тестових 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[37].

Визначимо постійні часу об'єкта управління з експериментальної перехідної характеристики. Дані для розрахунку параметрів розглянемо на рис. 7.2.

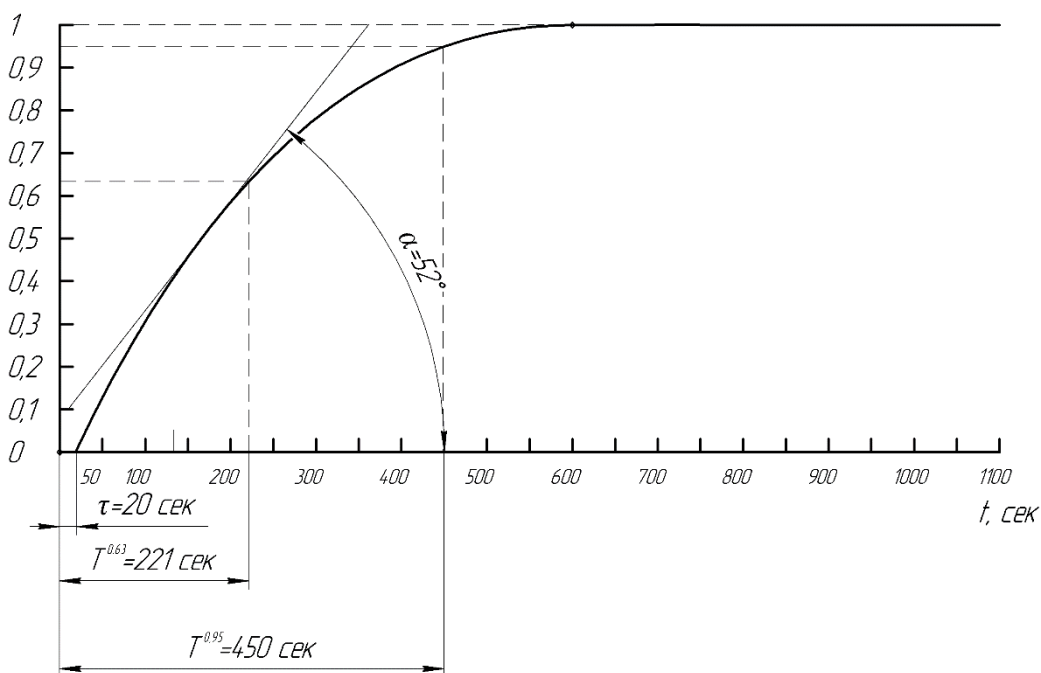


Рисунок 7.2 – Отримання даних для визначення параметрів передавальної функції.

$$T_{0.63}=221; T_{ob}=3 \times T_{0.63}$$

$$T_{0.95}=450; \quad T_{0.95} \leq T_{ob}$$

$$T_{ob} = \frac{3 \times T_{0.63} + T_{0.95}}{2} = 556.5 \quad ; - \text{ постійна часу об'єкта.}$$

Проведемо дотичну для розрахунку коефіцієнта посилення.

К дорівнює тангенсу кута нахилу дотичної

$$K = \text{Tan}(\alpha) = 1.28.$$

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

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

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

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

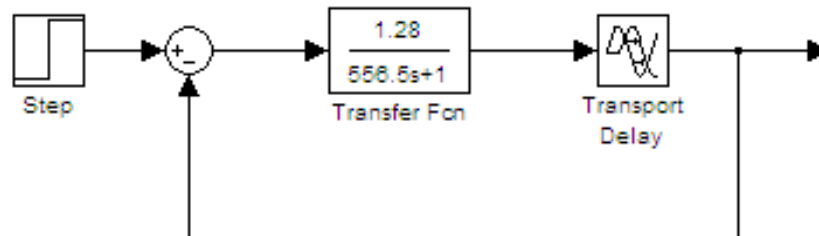


Рисунок 7.3 – Модель ОУ в пакеті Matlab.

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

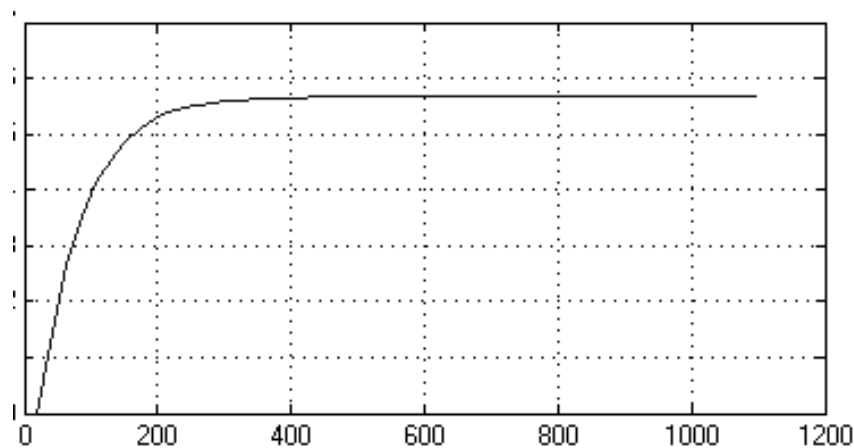


Рисунок 7.4 –Графік перехідного процесу при подачі ступінчатого сигналу

7.3 Перевірка адекватності моделі

Зробимо перевірку адекватності моделі отриманої шляхом розрахунку і моделі отриманої шляхом реального експерименту.

Перевірити адекватність моделі – значить встановити, наскільки добре модель описує реальні процеси, що відбуваються в системі, наскільки якісно властивості моделі (функції, параметри, характеристики) відповідають властивостям модельованого об'єкта.

Найбільш поширеним способом перевірки моделей на адекватність є використання методів математичної статистики.

Використовуємо метод перевірки адекватності за критерієм Фішера[38].

1) Розділимо графік перехідної характеристики, отриманий експериментальним способом (рис. 6.1) і перехідну характеристику, отриману в результаті моделювання (рис. 7.4) по осі X на 14 рівних інтервалів.

2) Запишемо значення точок перетину прямих на функції для кожної ділянки. І занесемо їх в таблицю 7.1.

Таблиця 7.1 – Значення за отриманими точками

ti	75	150	225	300	375	450	525	600	675	750	825	900	975	1050
Yi1	0.27	0.48	0.65	0.78	0.88	0.95	0.98	1	1	1	1	1	1	1
Yi2	0.61	0.85	0.94	0.97	0.98	0.991	0.996	0.998	1	1	1	1	1	1

де ti – значення точок по осі X; Yi1 – значення точок по осі Y на експериментальній кривій; Yi2 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.

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

$$S1 = 0.054$$

$$S1 = 0.011$$

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

де:

S1 – оцінка дисперсії експериментальної кривої;

S2 - оцінка дисперсії змодельованої кривої;

n – кількість точок;

N – діапазон точок масиву 0-13;

Y1sred – середнє значення точок експериментальної кривої;

Y2sred - середнє значення точок змодельованої кривої;

Fras – розрахункове значення критерію Фішера.

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

Таблиця 7.2-значення критерію Фішера (F-критерію) для рівня f_1 - число ступенів свободи більшої дисперсії, f_2 - число ступенів свободи меншої дисперсії

f_2	f_1							
	3	4	5	6	7	8	12	15
1	215,71	224,58	230,16	233,99	236,76	238,88	243,90	245,95
2	19,16	19,25	19,30	19,33	19,35	19,37	19,41	19,43
3	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85	8,74	8,70
4	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	5,91	5,86
5	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,68	4,62
6	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,00	3,94
7	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,57	3,51
8	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,28	3,22
9	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,24	3,07	3,01
10	3,71	4,48	3,33	3,22	3,14	3,07	2,91	2,85
11	3,59	3,36	3,20	3,10	3,01	2,95	2,79	2,72
12	3,49	3,25	3,11	3,00	2,91	2,85	2,69	2,62
13	3,41	3,18	3,03	2,92	2,83	2,77	2,60	2,53
14	3,34	3,11	2,96	2,85	2,76	2,70	2,53	2,46
15	3,29	3,06	2,90	2,79	2,71	2,64	2,48	2,40

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

7.4 Розрахунок параметрів регулятора

Розрахунок налаштувань регулятора будемо проводити методом Ротача[39]. (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.

7.4.1 Побудуємо АФХ розімкнутої системи.

7.4.2 Проводимо промінь ON під кутом $\alpha = \arcsin \frac{1}{M}$.

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

7.4.3. 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 напіввісі).

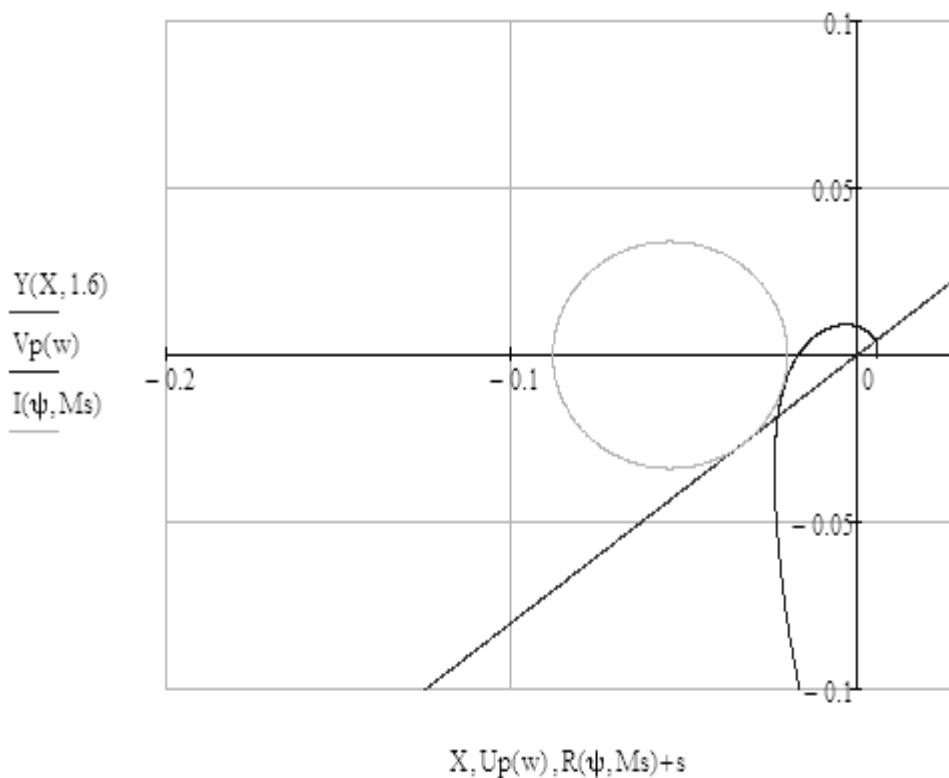


Рисунок 7.5 – АФХ системи з виконаними побудовами

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

$$Mz = 1.6 \quad T = 556.5$$

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

$W(w) = \frac{1.28^{-\tau \cdot (j \cdot w)}}{556.5 \cdot (j \cdot w) + 1}$ - 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 .

$w = 0.010, 0.011..1$ - 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).

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

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

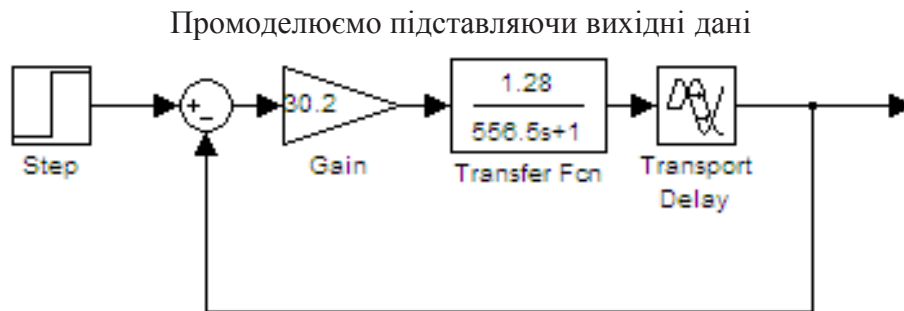


Рисунок 7.6 - Модель об'єкта з П-регулятором в середовищі Simulink.

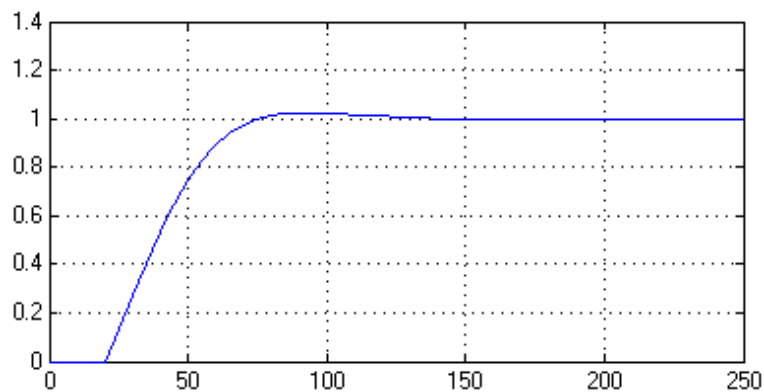


Рисунок 7.7 – Перехідна характеристика об'єкта управління з П-регулятором.

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

7.4.5 Розрахуємо настройки П-регулятора за допомогою математичного пакету MathCad:

Особливість розрахунку для ПІ - регулятора полягає в необхідності виконання обчислень, аналогічних зазначеним для П-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. 7.3.

Таблиця 7.3 - 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.

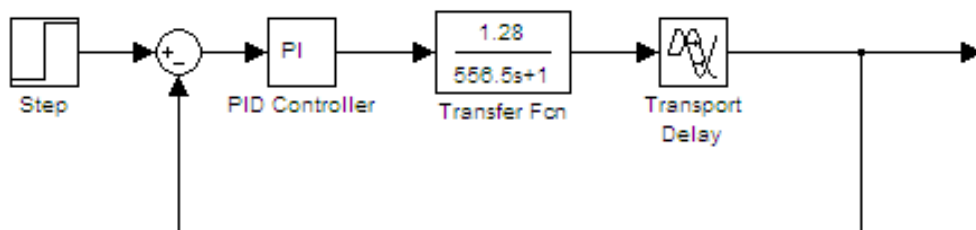


Рисунок 7.8 - Модель об'єкта з ПІ-регулятором в середовищі Simulink.

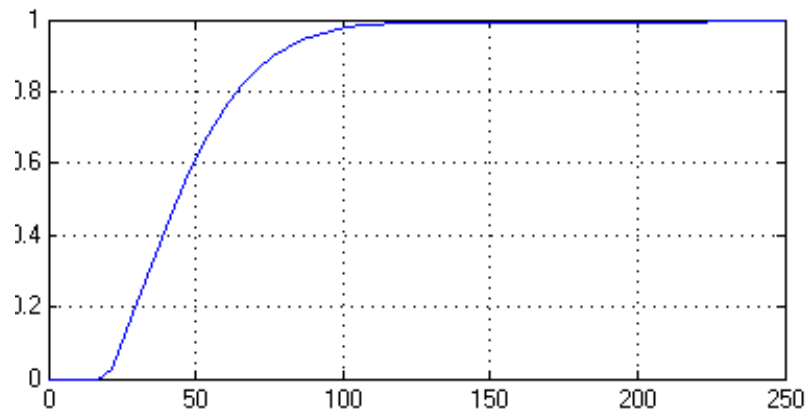


Рисунок 7.9 – Перехідна характеристика об’єкта управління з ПІ-регулятором.
Бачимо, що час перехідного процесу зменшився, вдалося позбутися від перерегулювання.

Процес є стійким.

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

ВИСНОВОК

В роботі виконане проектування системи управління агрегатом двоступеневої конверсії природного газу. Зроблений аналіз технологічного процесу, обрані канали управління, зроблено вибір засобів автоматизації, а саме, датчиків, виконавчих механізмів і контролера. Також були розроблені структурна схема автоматизації, функціональна схема автоматизації, схема з'єднань і електрична схема.

Проведені розрахунки контуру управління температурою в трубчатому конверторі. Обраний закон регулювання та визначені параметри регулятора.

ЛІТЕРАТУРА

1. Общая химическая технология. Под редакцией доктора технических наук профессора И.П.Мухленова. Издательство «Высшая школа». Москва 1964.
2. Національний стандарт України. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою ДСТУ Б В.1.1-36:2016 [Електронний документ]. Систем. вимоги: Adobe Acrobat Reader. / – Режим доступу:
<http://ngpu.org.ua/sites/default/files/%20%D0%B2%D0%B8%D0%B7%D0%BD%D0%B0%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F%20%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%B3%D0%BE%D1%80%D1%96%D0%B9%20%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%BC%D1%96%D1%89%D0%B5%D0%BD%D1%8C.pdf> (дата звертання 10. 01.2022)
3. Категорії виробництв з точки зору пожежовибухонебезпеки [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
https://pidru4niki.com/15931106/bzhd/kategoriyi_virobnitstv_tochki_zoru_pozhezhovibuhonebezpeki (дата звертання 10.01.2022)
4. Process Control of Technological Processes [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
https://www.ispatguru.com/process-control-of-technological-processes/?utm_source=rss&utm_medium=rss&utm_campaign=process-control-of-technological-processes (дата звертання 12. 01.2022)
5. Deciding Upon Control-System Technology [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<http://www.ethanolproducer.com/articles/1456/deciding-upon-control-system-technology> (дата звертання 12. 01.2022)
6. В.А. Голубятников, В.В. Шувалов Автоматизация производственных процессов в химической промышленности, – М.: Химия, 1972. – 248с.
7. Проектування систем автоматизації: Навч пос. / М.С. Пушкар, С.М. Проценко, 2013.- 268 с.
8. 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.
9. A Guide to the Automation Body of Knowledge (2nd Edition) Trevathan, Vernon L. (2006) [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
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](#) (дата звертання 15. 01.2022)

10. Автоматизація виробничих процесів: Підручник. / І.В. Ельперін, О.М. Пупена, В.М. Сідлецький, С.М. Швед. — К.: Видавництво Ліра-К, 2015— 340 с.
11. Датчик тиску BD Sensors DMP 331 [Електронний документ]. Систем. вимоги: Adobe Acrobat Reader. / – Режим доступу: <https://www.bdsensors.ru/pdf/doc/dmp331.pdf> (дата звертання 16. 01.2022)
12. Перетворювач тиску для високотемпературних середовищ: до +300 °С - 35Х НТС [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://izmerkoni.ru/catalog/davlenie/preobrazovateli-davleniya/35x-htc.html> (дата звертання 16. 01.2022)
13. . Високотемпературний датчик тиску ТД-10/130 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://datchiki.com/product/td-10130-datchik-davleniya-dlja-vysokih-temperatur/> (дата звертання 16. 01.2022)
14. Витратомір вихровий Prowirl F 200 [Електронний документ]. Систем. вимоги: Adobe Acrobat Reader. / – Режим доступу: https://avinsystems.ru/wp-content/uploads/2019/10/tehnicheskoe-opisanie-proline-prowirl-f-200-7f2c-ti01333dru_0218.pdf. (дата звертання 17. 01.2022)
15. Витратомір для середовища високотемпературних газів та перегрітої пари OPTISONIC 8300 [Електронний документ]. Систем. вимоги: Adobe Acrobat Reader. / – Режим доступу: http://www.krohne-tg.by/pdfs/rashod/ultra/TD_OPTISONIC8300_ru_151023_4004740801_R02.pdf (дата звертання 17. 01.2022)
16. Термоперетворювач з голівкою, зі змінним чутливим елементом TOPGN-1..EXI, TTKGN-1..EXI, TTJGN-1..EXI 130 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.interautomatika.eu/rus/temperature/datchiki-temperature/topgn-1-exi-ttkgn-1-exi-ttjgn-1-exi-datchiki-temperature.html> (дата звертання 20. 01.2022)
17. Іскробезпечний термоперетворювач з сенсорним елементом -40 ÷ 700 °С (J) без зовнішньої оболонки Exi: ТОPI-...EXI, ТТКІ-...EXI І ТТJІ-...EXI [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.interautomatika.eu/rus/temperature/datchiki-temperature/topi-exi-ttki-exi-ttji-exi-datchiki-temperature.html> (дата звертання 20. 01.2022)
18. Кабельний датчик температури ТОРЕ-361EXI, ТТJЕ-361EXI, ТТКЕ-361EXI з сенсором -40 ÷ 1000°С (К) [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

<https://www.interautomatika.eu/rus/temperature/datchiki-temperature/tope-361exi-ttje-361exi-ttke-361exi-kabelnyje-datchiki-temperaturey.html> (дата звертання 20. 01.2022)

19. Іскробезпечний термоперетворювач з чутливим елементом $-200 \div 600^{\circ}\text{C}$ (RTD) без зовнішньої оболонки Ехі: ТОПІ-...ЕХІ, ТТКІ-...ЕХІ і ТТЖІ-...ЕХІ [Електронний документ]. Систем. вимоги: Adobe Acrobat Reader. / – Режим доступу: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.interautomatika.eu/rus/temperature/datchiki-temperature/topi-exi-ttki-exi-ttji-exi-datchiki-temperaturey.html> (дата звертання 20. 01.2022)
20. Іскробезпечний термоперетворювач з чутливим елементом $-40 \div 1200^{\circ}\text{C}$ (К) без зовнішньої оболонки Ехі: ТОПІ-...ЕХІ, ТТКІ-...ЕХІ і ТТЖІ-...ЕХІ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.interautomatika.eu/rus/temperature/datchiki-temperature/topi-exi-ttki-exi-ttji-exi-datchiki-temperaturey.html> (дата звертання 20. 01.2022)
21. Термоперетворювачі з голівкою, зі змінним чутливим елементом $-200 \div 550^{\circ}\text{C}$ (RTD) у виконанні Ехі: ТОПГН-1..ЕХІ, ТТКГН-1..ЕХІ, ТТЖГН-1..ЕХІ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.interautomatika.eu/rus/temperature/datchiki-temperature/topgn-1-exi-ttkgn-1-exi-ttjgn-1-exi-datchiki-temperaturey.html> (дата звертання 21.01.2022)
22. Кабельний датчик температури з чутливим елементом $-40 \div 400^{\circ}\text{C}$ (К) ТОРЕ-365ЕХІ, ТТКЕ-365ЕХІ, ТТЖЕ-365ЕХІ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.interautomatika.eu/rus/temperature/datchiki-temperature/tope-365exi-ttke-365exi-ttje-365exi-datchiki-temperaturey.html> (дата звертання 21.01.2022)
23. Газоаналізатор сірководню GPro 500 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.mt.com/int/ru/home/products/Process-Analytics/gas-analyzer/Tunable-Diode-Laser-TDL/hydrogen-sulfide-GPro-500.html?cmp=sea_16011923&SE=GOOGLE&Campaign=MT_PRO_RU_ROW_Ingold&Adgroup=Gas+analyzers+--+TDL+-+H2S&bookedkeyword=%D0%B4%D0%B0%D1%82%D1%87%D0%B8%D0%BA%20%D1%81%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B0&matchtype=p&adtext=383718509647&placement=&network=g&kclid=_k_Cj0KCQiAmeKQBhDvARIsAHJ7mF4wtptIRNcQqm4CvepGmoDY7xqgzJG8hWQ1leMOfXa27BbT9QhrPSMaAgwYEALw_wcB_k_&cq_src=google_ads&cq_cmp=6521976950&cq_con=78323832437&cq_term=%D0%B4%D0%B0%D1%82%D1%87%D0%B8%D0%BA%20%D1%81%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B0&cq_med=&cq_place=&cq_net=g&cq_pos=&cq_plt=gp&gclid=Cj0KCQiAmeKQBhDvARIsAHJ7mF4wtptI

- [RNcQqm4CверGmoDY7xqgzJG8hWQ1leMOfXa27BbT9QhrPSMaAgwYEALw_wcB](https://www.google.com/search?q=%D0%93%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%96%D0%B7%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80+%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%B0%D0%BD%D1%83+(%D0%A1H4)+%D1%81%D0%B5%D1%80%D1%96%D1%97+GPro+500&tbm=isch&source=iu&ictx=1&vet=1&fir=VAG0g9GKdpE-mM%252CuHHnyNR6ZBnu2M%252C_%253Be6WmwknLuWQsyM%252CSVe317bMjh3HEM%252C_%253BvB_uDzem_8ibfM%252CJYpuepu07mo_LM%252C_%253B3vRzLsYGagkA1M%252CSVe317bMjh3HEM%252C_%253BXqyqzRuLn3FxmM%252CSVe317bMjh3HEM%252C_%253BR9C4mukmOeIujM%252CkIbek-xCWQX6UM%252C_%253BzPrcy97rPBrzwM%252C5VbjJH29pIveRM%252C_%253BP8vRICpE2gcfHM%252CnRfaiWDgN-gRIM%252C_%253B-IUJkKrUi2JRpM%252CSVe317bMjh3HEM%252C_%253BO-9rxY-9psR4UM%252Cp0ABAi-REj-a7M%252C_&usg=AI4_-kSfC9ds51Lcg-JLSvckozvJp1UjJQ&sa=X&ved=2ahUKEwiZ6e-lqbj2AhVr-ioKHdygDigQ9QF6BAgnEAE)
(дата звертання 22.01.2022)
24. Газоаналізатор метану GPro 500 [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
[https://www.google.com/search?q=%D0%93%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%96%D0%B7%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80+%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%B0%D0%BD%D1%83+\(%D0%A1H4\)+%D1%81%D0%B5%D1%80%D1%96%D1%97+GPro+500&tbm=isch&source=iu&ictx=1&vet=1&fir=VAG0g9GKdpE-mM%252CuHHnyNR6ZBnu2M%252C_%253Be6WmwknLuWQsyM%252CSVe317bMjh3HEM%252C_%253BvB_uDzem_8ibfM%252CJYpuepu07mo_LM%252C_%253B3vRzLsYGagkA1M%252CSVe317bMjh3HEM%252C_%253BXqyqzRuLn3FxmM%252CSVe317bMjh3HEM%252C_%253BR9C4mukmOeIujM%252CkIbek-xCWQX6UM%252C_%253BzPrcy97rPBrzwM%252C5VbjJH29pIveRM%252C_%253BP8vRICpE2gcfHM%252CnRfaiWDgN-gRIM%252C_%253B-IUJkKrUi2JRpM%252CSVe317bMjh3HEM%252C_%253BO-9rxY-9psR4UM%252Cp0ABAi-REj-a7M%252C_&usg=AI4_-kSfC9ds51Lcg-JLSvckozvJp1UjJQ&sa=X&ved=2ahUKEwiZ6e-lqbj2AhVr-ioKHdygDigQ9QF6BAgnEAE](https://www.google.com/search?q=%D0%93%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%96%D0%B7%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80+%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%B0%D0%BD%D1%83+(%D0%A1H4)+%D1%81%D0%B5%D1%80%D1%96%D1%97+GPro+500&tbm=isch&source=iu&ictx=1&vet=1&fir=VAG0g9GKdpE-mM%252CuHHnyNR6ZBnu2M%252C_%253Be6WmwknLuWQsyM%252CSVe317bMjh3HEM%252C_%253BvB_uDzem_8ibfM%252CJYpuepu07mo_LM%252C_%253B3vRzLsYGagkA1M%252CSVe317bMjh3HEM%252C_%253BXqyqzRuLn3FxmM%252CSVe317bMjh3HEM%252C_%253BR9C4mukmOeIujM%252CkIbek-xCWQX6UM%252C_%253BzPrcy97rPBrzwM%252C5VbjJH29pIveRM%252C_%253BP8vRICpE2gcfHM%252CnRfaiWDgN-gRIM%252C_%253B-IUJkKrUi2JRpM%252CSVe317bMjh3HEM%252C_%253BO-9rxY-9psR4UM%252Cp0ABAi-REj-a7M%252C_&usg=AI4_-kSfC9ds51Lcg-JLSvckozvJp1UjJQ&sa=X&ved=2ahUKEwiZ6e-lqbj2AhVr-ioKHdygDigQ9QF6BAgnEAE) (дата звертання 22.01.2022)
25. Стационарний газоаналізатор Дозор-С [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://optima-shop.com.ua/gazoanalizatory/stacionarnie-gazoanalizatory/signalizator-analizator-gazov-dozor-s#karakteristiki> (дата звертання 22.01.2022)
26. перетворювач частоти Delta Electronics VFD007EL43A [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ewi-engineering.com.ua/delta-vfd007el43a-075-kvt-400-v.html> (дата звертання 24.01.2022)
27. Регулюючий клапан ARI-STEVI 440/441 [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
https://energopribor.zp.ua/ari_stevi_reg.html/ (дата звертання 24.01.2022)
28. Вибухозахищений електропривід Ari-Premio/Ari-Premio-Plus 2G [Електронний документ]. Систем. вимоги: Adobe Acrobat Reader. / – Режим доступу:
https://www.ari-armaturen.com/_appl/files_tb/files/440001-2.pdf (дата звертання 24.01.2022)
29. Перетворювач частоти Delta Electronics VFD007EL43A. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://chastotnik.com.ua/Delta+Electronics-r-VFD007E21T> (дата звертання 25.01.2022)

30. Перетворювач частоти Delta Electronics VFD022E43A. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ewi-engineering.com.ua/delta-vfd022e43a-22-kvt-400-v.html> (дата звертання 25.01.2022)
31. Контролер мікропроцесорний МІК-52 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.microl.ua/index.php?page=shop.product_details&flypage=garden_flypage.tpl&product_id=111&category_id=24&option=com_virtuemart&Itemid=71 (дата звертання 02.02.2022)
32. 8-ми канальний модуль аналогового введення RIO-5N-AI8 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.microl.ua/index.php?page=shop.product_details&flypage=garden_flypage.tpl&product_id=331&category_id=65&option=com_virtuemart&Itemid=71 (дата звертання 02.02.2022)
33. 6-ти канальний модуль аналогового виведення RIO-AO6 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.microl.ua/index.php?page=shop.product_details&flypage=garden_flypage.tpl&product_id=214&category_id=66&option=com_virtuemart&Itemid=71&lang=ru
34. Сенсорна графічна панель оператора Weintek XE [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.microl.ua/index.php?page=shop.product_details&flypage=garden_flypage.tpl&product_id=285&category_id=118&option=com_virtuemart&Itemid=71&lang=ru (дата звертання 03.02.2022)
35. блок технологічної сигналізації ПТС-164 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://microl.ua/index.php?page=shop.product_details&flypage=garden_flypage.tpl&product_id=56&category_id=100&option=com_virtuemart&Itemid=71 (дата звертання 04.02.2022)
36. Блок живлення МІКРОЛІ БП-200-24 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://microl.ua/index.php?page=shop.product_details&flypage=garden_flypage.tpl&product_id=327&category_id=53&option=com_virtuemart&Itemid=71 (дата звертання 04.02.2022)
37. А.И. Бояринов, В.В. Кафаров Методы оптимизации в химической технологии, – М.: Химия, 1969. – 564с.
38. Методичні вказівки до виконання контрольної роботи «Математична обробка експериментальних даних з використанням комп'ютерних технологій» [Електронний документ]. Систем. вимоги: Adobe Acrobat Reader. / – Режим доступу: <http://ep3.nuwm.edu.ua/664/1/055-171.pdf> (дата звертання 11.02.2022)

39. Худолей Г.М. Конспект лекцій і практик з ТАУ, 2015.
40. Advanced PID Control Åström, Karl J.; Hägglund, Tore (2006) [Електронний ресурс].
– Режим доступу:
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 (дата звертання 15.02.2022)
41. 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.
42. 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.
43. ДСТУ Б А.2.4-3:2009 Національний стандарт України. Правила виконання робочої документації автоматизації технологічних процесів.
44. Усатенко С.Т., Каченюк Т.К., Терехова М.В. Выполнение электрических схем по ЕСКД: Справочник. -М.: Изд-во стандартов, 1989. - 325 с.