

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерних наук

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

Дрозденко О.О.

«__» _____ 20.... р.

Кваліфікаційна робота магістра на тему:
«Оптимізація системи управління технологічним процесом
двоступеневої конверсії метану»

Керівник роботи:
(к.т.н., старший викладач)

Худолей Г.М.

Магістрант:
студент групи СУ.мдн-92ш

Небилиця В.С.

РЕФЕРАТ

Небилиця Віталій Сергійович. Оптимізація системи управління технологічним процесом двоступеневої конверсії метану. Магістерська робота. Сумський державний університет, Суми, 2020 р.

Магістерська робота містить 77 аркушів пояснювальної записки, з урахуванням 29 рисунків, 16 таблиць; конструкторську документацію, яка містить 2 креслення. Робота присвячена розробці і оптимізації системи управління технологічним процесом двоступеневої конверсії метану. Зроблений конструктивно-технологічний аналіз об'єкта управління, обрані канали управління, проведено вибір сучасних засобів автоматизації, розроблена математична модель об'єкта управління. Виконано моделювання в середовищі MathLab і отримана перехідна характеристика ОУ. В математичному пакеті MathCad проведений розрахунок регулятора для управління параметром температури трубчатому конверторі і обраний оптимальний закон управління з точки зору прямих показників якості управління і підібрані налаштування регулятора. Розроблена функціональна схема автоматизації, структурна схема автоматизованої системи управління технологічним процесом двоступеневої конверсії метану.

Ключові слова: система управління, автоматизація, оптимізація, засоби автоматизації, канал управління, параметри контролю і управління.

РЕФЕРАТ

Небылица Виталий Сергеевич. Оптимизация системы управления технологическим процессом двухступенчатой конверсии метана. Магистерская работа. Сумской государственный университет, Сумы, 2020 г.

Магистерская работа содержит 77 листов пояснительной записки, с учетом 29 рисунков, 17 таблиц; конструкторскую документацию, содержащую 2 чертежа. Работа посвящена разработке и оптимизации системы управления технологическим процессом двухступенчатой конверсии метана. Сделан конструктивно-технологический анализ объекта управления, выбраны каналы управления, проведен выбор современных средств автоматизации, разработана математическая модель объекта управления. Выполнено моделирование в среде MathLab и получена переходная характеристика ОУ. В математическом пакете MathCad произведен расчет регулятора для управления параметром температуры трубчатого конвертора и выбран оптимальный закон управления с точки зрения прямых показателей качества управления и подобранные настройки регулятора. Разработана функциональная схема автоматизации, структурная схема автоматизированной системы управления технологическим процессом двухступенчатой конверсии метана.

Ключевые слова: система управления, автоматизация, оптимизация, средства автоматизации, канал управления, параметры контроля и управления.

SUMMARY

Nebylytsa Vitaly Sergiyovich. Control system optimization of the technological process of production for two-stage methane conversion. Master's work. Sumy State University, Sumy, 2020.

The master's thesis contains 77 sheets of explanatory note, including 29 figures, 16 tables; design documentation, which contains 2 drawings. The work is devoted to the development and optimization of the control system of the technological process of two-stage methane conversion. The constructive-technological analysis of the control object is made, the control channels are chosen, the choice of modern means of automation is carried out, the mathematical model of the control object is developed. Simulations in the MathLab environment are performed and the transient characteristic of the OC is obtained. In the mathematical package MathCad, the controller is calculated to control the temperature parameter of the tubular converter and the optimal control law is selected in terms of direct control quality indicators and the controller settings are selected. The functional scheme of automation, the structural scheme of the automated control system of technological process of two-stage conversion of methane is developed.

ЗМІСТ

Список скорочень.....	3
Вступ.....	5
1 Конструктивно-технологічний аналіз об'єкта автоматизації	7
2 Дослідження матеріальних потоків у технологічному процесі, побудова схеми матеріально-інформаційних потоків	10
3 Вибір параметрів контролю, регулювання та сигналізації	12
4 Вибір каналів внесення регулюючих дій	16
5 Вибір засобів автоматизації	23
5.1 Вибір датчиків	23
5.2 Вибір регулюючих органів	46
5.3 вибір контролера	49
6 Розробка структурної схеми системи управління.....	56
7 Розрахункова частина	60
7.1 Ідентифікація об'єкта управління.....	60
7.2 Розрахунок і вибір параметрів регулятора	64
Висновок	73
Література	74

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.
- ДВК – довибухова 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 – термопара.

ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач.

ЧЕ – чутливий елемент.

ppm – (англ. parts per million, читається «пі-пі-ем», «частин на мільйон») або млн^{-1}

ВСТУП

У хімічній промисловості автоматизації приділяється велика увага. Збільшення завантаження апаратів, підвищення тиску і температур при проведенні технологічних процесів ручна праця навіть в механізованому виробництві, часом, просто немислима. Інтенсифікація протікання технологічних процесів і, як наслідок, їх чутливість до порушень регламентних норм вимагають більш ретельного і своєчасного контролю за протіканням процесів, що, як правило, визначають якість кінцевого продукту. В той же час людина в силу фізіологічних обмежених можливостей людського організму за часом реакції і прийняття рішень, за одночасністю аналізу великою кількістю інформації про зміну значень параметрів і режимів протікання технологічних процесів, не може в повній мірі контролювати і управляти цими процесами. Якщо враховувати, що у процесах хімічної технології існують шкідливі для людини умови праці (отруйні і небезпечні речовини, екстремальні температури), використовуються пожежо- і вибухонебезпечні речовини, то однозначно можна зазначити, що автоматизація технологічних процесів у хімічній галузі – це нагальна вимога сучасності.

Двоступенева конверсія метану є прогресивною технологією отримання сировини для виробництва мінеральних добрив і синтетичних матеріалів з природного газу. Наразі актуальність роботи тим більш зростає, оскільки в світі збільшуються заходи з декарбонізації в енергетиці, транспорті і побуті з метою зменшення викидів парникових газів.

У магістерській роботі виконано роботу по розробці автоматизації технологічного процесу двоступеневої конверсії метану, обрані засоби автоматизації, сучасні керуючі пристрої, що забезпечують нормальний хід цього процесу з використанням різних автоматичних пристроїв контролю, регулювання, сигналізації та ін., а також автоматичне керування пуском і зупинкою обладнання для проведення ремонтних робіт і у критичних ситуаціях.

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

- скасування участі людини при вимірюванні параметрів процесу, зменшення впливу людини на функції управління технологічними параметрами;
- ведення технологічного процесу на основі автоматичного контролю технологічних параметрів;
- автоматичне керування виконавчими механізмами;
- запобігання виникненню аварійних ситуацій і забезпечення безпечного завершення процесу за заданим алгоритмом;
- безаварійний пуск/зупинку і перемикання технологічного обладнання;
- візуалізація параметрів технологічного процесу в номінальних і аварійних ситуаціях;

- можливість інтегрування нижніх і верхніх рівнів системи з отриманням інформації з верхнього рівня системи управління з метою формування керуючих впливів на виконавчі механізми передачею, відповідно, інформації з нижніх рівнів системи управління з метою аналізу роботи виробництва.

1 КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

Конверсія метану - взаємодія метану з водяною парою, двоокисом вуглецю і киснем для отримання синтез-газу (CO і H₂). Взаємодія описується наступними реакціями [1]:



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



Сумарно процес конверсії CH₄ з водяною парою протікає з затратою тепла



Технологічна схема двоступеневої конверсії метану представлена на рис. 1. Природний газ, що містить метан, з тиском, близьким до атмосферного, надходить в теплообмінник 1, де підігрівається гарячим конвертованим газом, що відходить з конвертора окису вуглецю 9, до температури 380 °С. Потім він направляється для очищення від сірчистих сполук в апарат 2, заповнений поглиначем на основі окису цинку. При температурі 380 °С досягається досить повне очищення газу від сірчистих сполук (залишається сірки не більше 2 – 3 мг/м³ газу). Очищений газ змішується у парогазозмішувачі 3 з водяною парою, нагрітою до 380 °С в пароперегрівачі 10. Отримана парогазова суміш з об'ємним відношенням пара : газ = 2,5 : 1 направляється в трубчастий контактний апарат 4 на першу ступінь конверсії метану. Нікелевий каталізатор розташований в вертикально підвішених трубах з хромонікелевої жаротривкої сталі, що обігріваються з зовнішньої сторони топковим газом. Парогазова суміш проходить по трубах зверху вниз, при цьому температура її підвищується з 380 °С на вході до 700 °С на виході з труб. У трубчастій печі метан конвертується приблизно на 70%. Подальша конверсія метану проводиться в конверторі другої ступені 5, заповненій нікелевим каталізатором. В цей конвертор подається повітря і за рахунок спалювання частини газу температура в конверторі може досягати 1000 °С. Кількість повітря, що подається в конвертор другої ступені підтримується на такому рівні, щоб в кінцевому конвертованому газі забезпечувалося об'ємне відношення азот : водень = 1 : 3.

В конверторі 5 залишковий метан практично повністю взаємодіє з водяною парою і конвертований газ з температурою близько 850 °С поступає в котел-утилізатор 7, де температура його знижується до 400 °С. Далі газ надходить на конверсію CO. З метою регулювання температури газу перед конвертором CO встановлюється зволожувач 6, через який, в разі

потреби, пропускається частина газу з конвертора другої ступені, минаючи котел-утилізатор. В зволожувачі розбризкується водяний конденсат і за рахунок його випаровування відбувається додаткове насичення газу паром, а температура газу при цьому знижується.

З котла-утилізатора і зволожувача парогазова суміш направляється в парогазозмішувач 8, куди в разі необхідності подається водяна пара для отримання в суміші необхідного відношення пара : газ.

З температурою близько 400 °С парогазова суміш надходить в двоступеневий конвертор окису вуглецю 9, заповнений залізо-хромовим каталізатором. На виході з конвертора 9 підтримується постійна температура близько 410 °С, причому, регулювання температури здійснюється подачею конденсату між двома ступенями конверсії. Конвертований газ з конвертора 9 двома паралельними потоками направляється через теплообмінник 1 і пароперегрівач 10 і після остаточного охолодження надходить на очистку від CO₂ і CO.

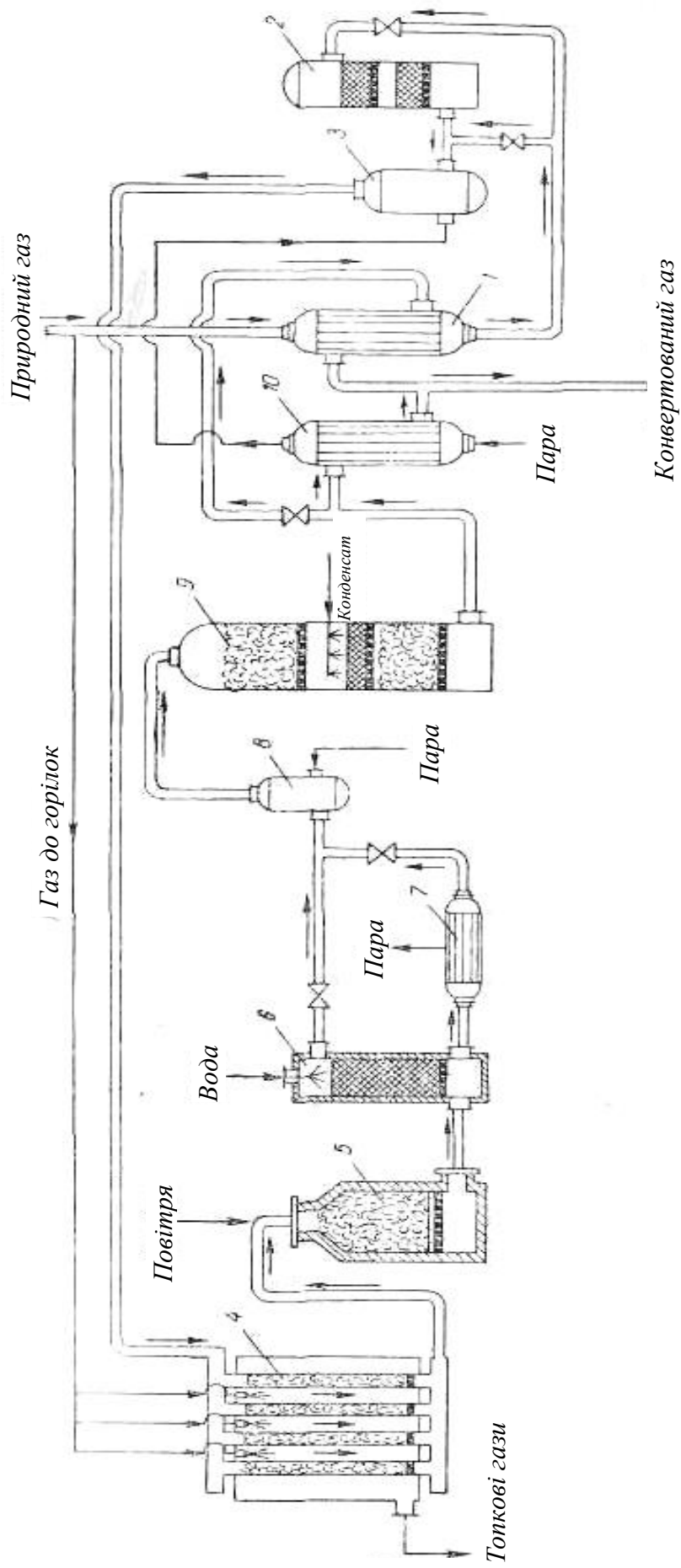


Рисунок 1.1 – Схема двоступеневої конверсії метану:

- 1 – теплообмінник; 2 – апарат для очищення від сірчистих сполук; 3 – парогазозмішувач; 4 – трубчастий конвертор метану;
- 5 – шахтний конвертор метану; 6 – зволожувач; 7 – котел-утилізатор; 8 – парогазозмішувач; 9 – конвертор окису вуглецю;
- 10 - пароперегрівач.

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

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

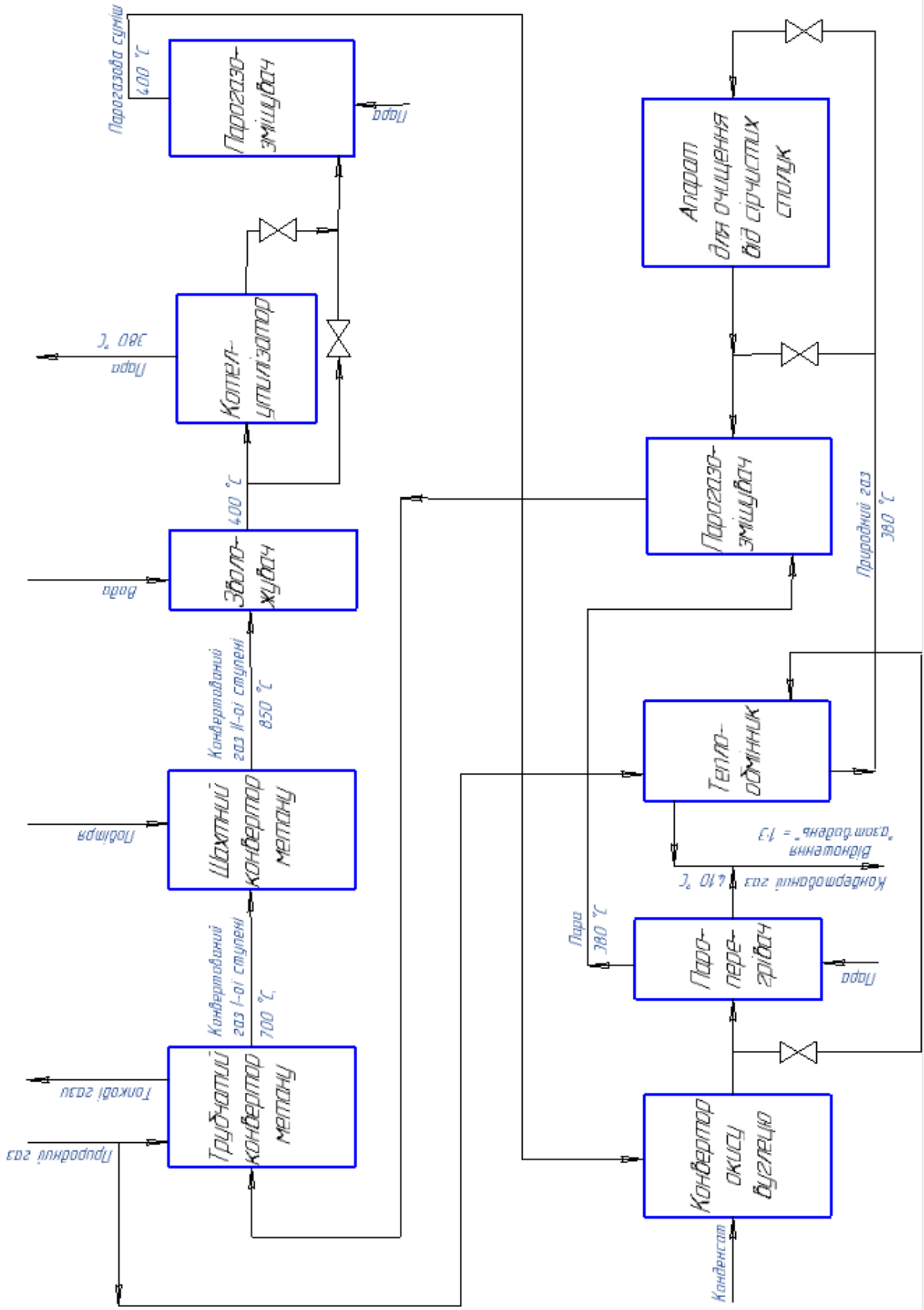


Рисунок 2.1- Схема матеріально-інформаційних потоків технологічного процесу двоступеневої конверсії метану.

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 збурюючих впливів в об'єкт управління. Визначаються шляхи усунення збурень або їх стабілізації.

Як об'єкт управління розглядається технологічний процес конверсії метану.

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 температуру 380 °С природного газу на виході теплообмінника 9, температуру 380 °С водяної пари в пароперегрівачі 3, температуру 380 °С на вході і 700 °С на виході трубчастого конвертора метану 4, температуру 850 °С конвертованого газу на виході шахтного конвертора другої ступені 5, температуру близько 400 °С парогазової суміші на вході і близько 410 °С на виході двоступеневого конвертора окису вуглецю 9. Одним з декларованих показників якості готової продукції є співвідношення кількості азоту і водню як 1 : 3 об'ємів в конвертованому газі, що досягається підтриманням певної витрати повітря в конвертор другої ступені.

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

Перелік перерахованих параметрів наведений в таблиці 3.1.

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

№ п.п.	Точка технологічної схеми	Параметр	Функція	Величина
1	Вихід теплообмінника 1	Температура природного газу	Контроль, управління	380 ± 5 °С
2	Вихід пароперегрівача 3	Температура пари	Контроль, управління	380 ± 5 °С
3	Вхід парогазозмішувача 3	Витрата пари	Контроль, управління	250 м ³ /год.
4	Вхід парогазозмішувача 3	Витрата природного газу	Контроль, управління	100 м ³ /год.
5	Вихід трубчастого конвертора метану 4	Температура газу першої ступені конвертації	Контроль, управління	700 ± 10 °С
6	Вихід шахтного конвертора 5	Температура конвертованого газу	Контроль, управління	850 ± 10 °С
7	Вихід зволожувача	Температура конвертованого газу	Контроль, управління	400 ± 5 °С
8	Вихід конвертора окису вуглецю 9	Температура конвертованого газу	Контроль, управління	410 ± 5 °С
9	Вихід конвертора окису вуглецю 9	Об'ємна частка азоту у кінцевому конвертованому газі	Контроль, управління	1
10	Вихід конвертора окису вуглецю 9	Об'ємна частка водню у кінцевому конвертованому газі	Контроль, управління	3
11	Установка двоступеневої конверсії метану	Концентрація метану у повітрі (НКМП)	Контроль, сигналізація	5,24 % об.
12	Установка двоступеневої конверсії метану	Концентрація чадного газу у повітрі НКМП)	Контроль, сигналізація, управління	12,5 % об.
13	Установка двоступеневої конверсії метану	Концентрація водню у повітрі (НКМП)	Контроль, сигналізація, управління	4,08 % об.
14	Установка двоступеневої конверсії метану	Концентрація чадного газу у повітрі (ГДК)	Контроль, сигналізація, управління	23 мг/м ³

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 концентрацію 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. ГДК чадного газу складає 20 мг/м³.

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 %. [1]

Структурна схема автоматизації представлена на рисунку 3.1.

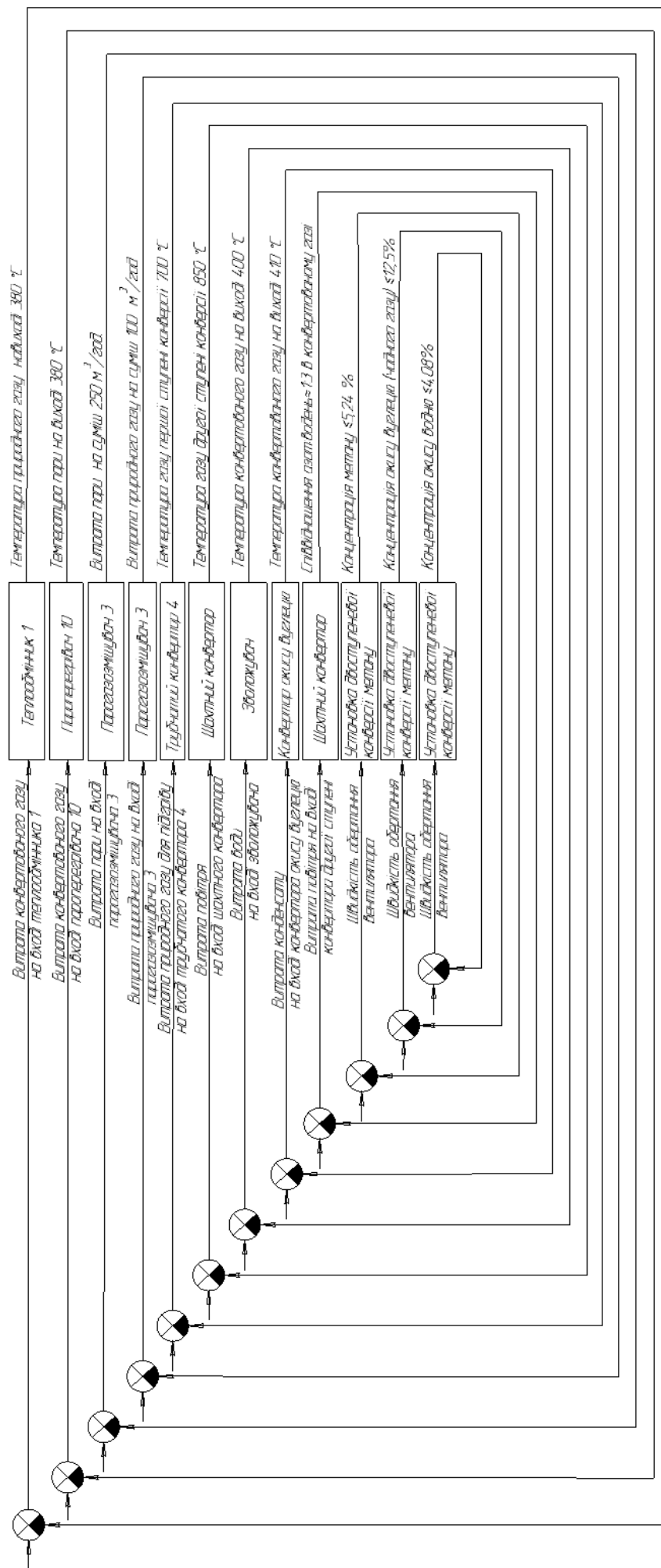


Рисунок 3.1-Структурна схема автоматизації.

4 ВИБІР КАНАЛІВ ВНЕСЕННЯ РЕГУЛЮЮЧИХ ДІЙ

Для кожного параметра технологічного процесу, який необхідно підтримувати в певному діапазоні, виберемо канали внесення регулюючих дій.[2]

4.1 Температуру природного газу на виході з теплообмінника 1 необхідно регулювати за допомогою зміни витрати конвертованого газу через теплообмінник 1. Канал контролю і управління температурою представлений на рис. 4.1.

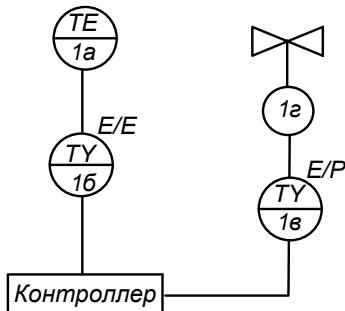


Рисунок 4.1 – Контур контролю і управління температурою природного газу на виході з теплообмінника 1.

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

4.2 Температуру пари на виході пароперегрівача 10 необхідно регулювати за допомогою зміни витрати конвертованого газу через пароперегрівач 10. Канал контролю і управління температурою на виході пароперегрівача 10 представлений на рис. 4.2.

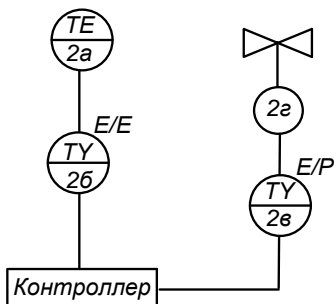


Рисунок 4.2 – Контур контролю і управління температурою пари на виході пароперегрівача 10.

Структура каналу управління аналогічна попередній.

4.3 Витрату пари через парогазозмішувач 3 необхідно регулювати за допомогою зміни витрати пари на вході парогазозмішувача 3. Канал контролю і управління витратою пари на вході парогазозмішувача 3 представлений на рис. 4.3.

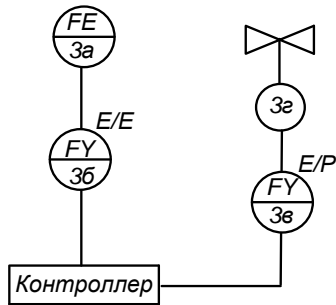


Рисунок 4.3 – Контур контролю і управління витратою пари на вході парогазозмішувача 3.

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

4.4 Витрату природного газу через парогазозмішувач 3 необхідно регулювати шляхом зміни витрати природного газу на вході парогазозмішувача 3. Канал контролю і управління витратою природного газу на вході парогазозмішувача 3 представлений на рис. 4.4.

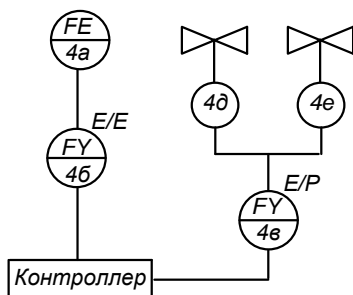


Рисунок 4.4 – Контур контролю і управління витратою природного газу на вході парогазозмішувача 3.

До складу каналу управління входить датчик витрати, перетворювач сигналу датчика, контролер - універсальний регулятор, перетворювач сигналу контролера, виконавчі механізми і виконавчі органи на вхідних трубопроводах природного газу.

4.5 Температуру газу першої ступені конверсії на виході з трубчастого конвертора метану 4 необхідно регулювати за допомогою зміни витрати природного газу для підігріву на вході трубчастого конвертора метану 4. Канал контролю і управління температурою газу на виході трубчастого конвертора метану 5 представлений на рис. 4.5.

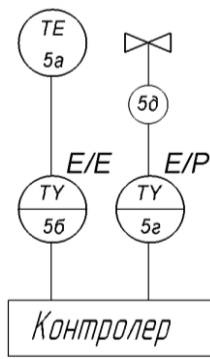


Рисунок 4.5 – Контур контролю і управління температурою газу на виході трубчатого конвертора метану 4.

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

4.6 Температуру конвертованого газу на виході шахтного конвертора 5 необхідно регулювати за допомогою зміни витрати повітря на вході шахтного конвертора 5. Канал контролю і управління температурою конвертованого газу на виході шахтного конвертора 5 представлений на рис. . 4.6.

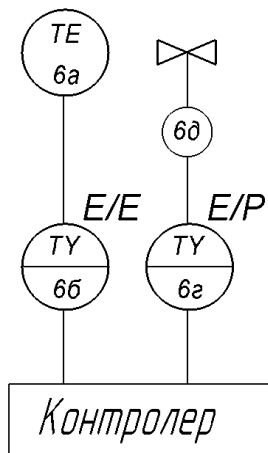


Рисунок 4.6 – Контур контролю і управління температурою конвертованого газу на виході шахтного конвертора 5.

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

4.7 Температуру на виході зволожувача необхідно регулювати за допомогою зміни витрати води на вході зволожувача. Канал контролю і управління температурою газу на виході зволожувача представлений на рис. 4.7.

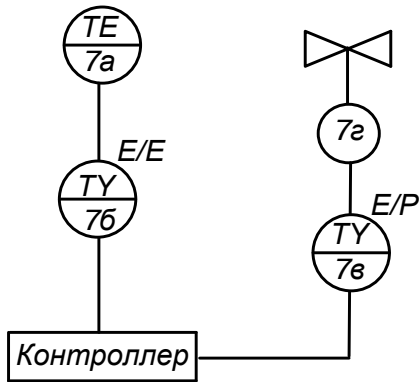


Рисунок 4.7 – Контур контролю і управління температурою конвертованого газу на виході зволожувача.

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

4.8 Температуру конвертованого газу на виході конвертора окису вуглецю 9 необхідно регулювати за допомогою зміни витрати конденсату на вході конвертора окису вуглецю 9. Канал контролю і управління температурою конвертованого газу на виході конвертора окису вуглецю 9 представлений на рис. 4.8.

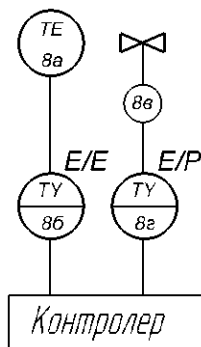


Рисунок 4.8 – Контур контролю і управління температурою конвертованого газу на виході конвертора окису вуглецю 9.

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

4.9 Співвідношення об'ємної частки азоту і об'ємної частки водню у кінцевому конвертованому газі необхідно регулювати за допомогою зміни витрати повітря на вході шахтного конвертора. Канал контролю і управління співвідношенням об'ємної частки азоту і об'ємної частки водню у кінцевому конвертованому газі представлений на рис. 4.9.

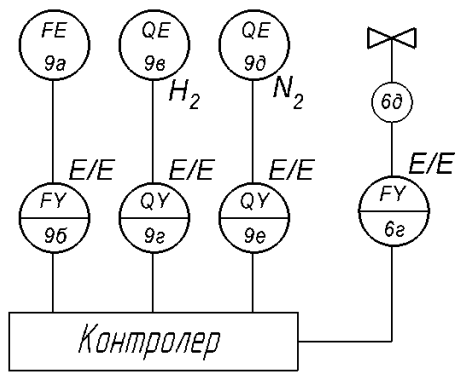


Рисунок 4.9 – Контур контролю і управління співвідношенням об’ємної частки азоту і об’ємної частки водню у кінцевому конвертованому газі.

До складу каналу управління входить датчик витрати кінцевого конвертованого газу, датчики концентрації водню і азоту, відповідні перетворювачі сигналів датчиків, контролер - універсальний регулятор, перетворювач сигналу контролера, виконавчий механізм, виконавчий орган.

4.10 Для запобігання вибухонебезпечній ситуації необхідно контролювати концентрацію (НКМП) чадного газу, водню і метану.

Канал контролю, управління і сигналізації концентрацію (НКМП) чадного газу, водню і метану представлений на рис. 4.10.

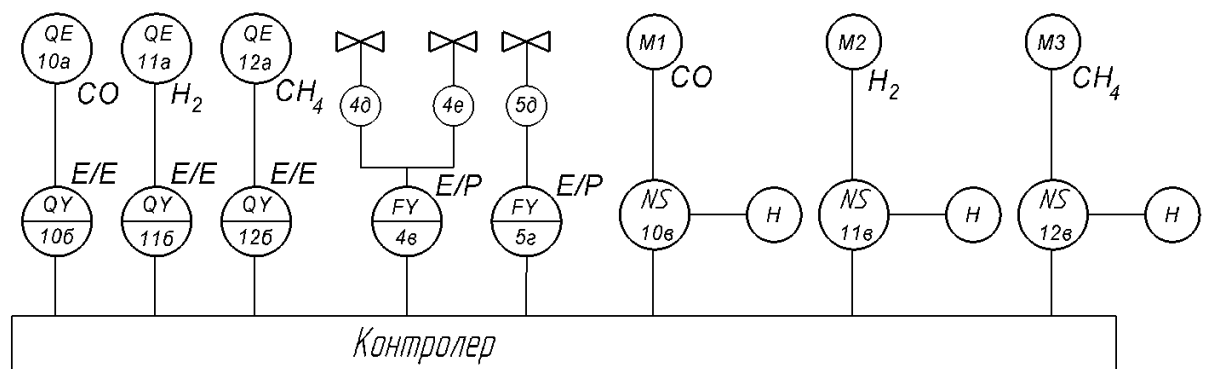


Рисунок 4.10 – Контур контролю, управління і сигналізації концентрації (НКМП) чадного газу, водню і метану.

До складу каналу управління входить датчики концентрації чадного газу, водню і метану, відповідні перетворювачі сигналів датчиків, контролер - універсальний регулятор, перетворювачі сигналів контролера, виконавчі механізми, виконавчі органи управління витратою природного газу і обладнання для управління швидкістю обертання вентиляторів.

4.11 Для запобігання отруєння чадним газом необхідно контролювати концентрацію (ГДК) чадного газу.

Канал контролю, управління і сигналізації концентрації чадного газу представлений на рис. 4.11.

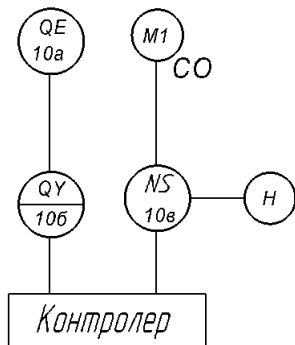


Рисунок 4.11 - Контур контролю, управління і сигналізації чадного газу.

Тепер можна розробити функціональну схему автоматизації. Схема зображена на рис.4.12 і в додатку А.

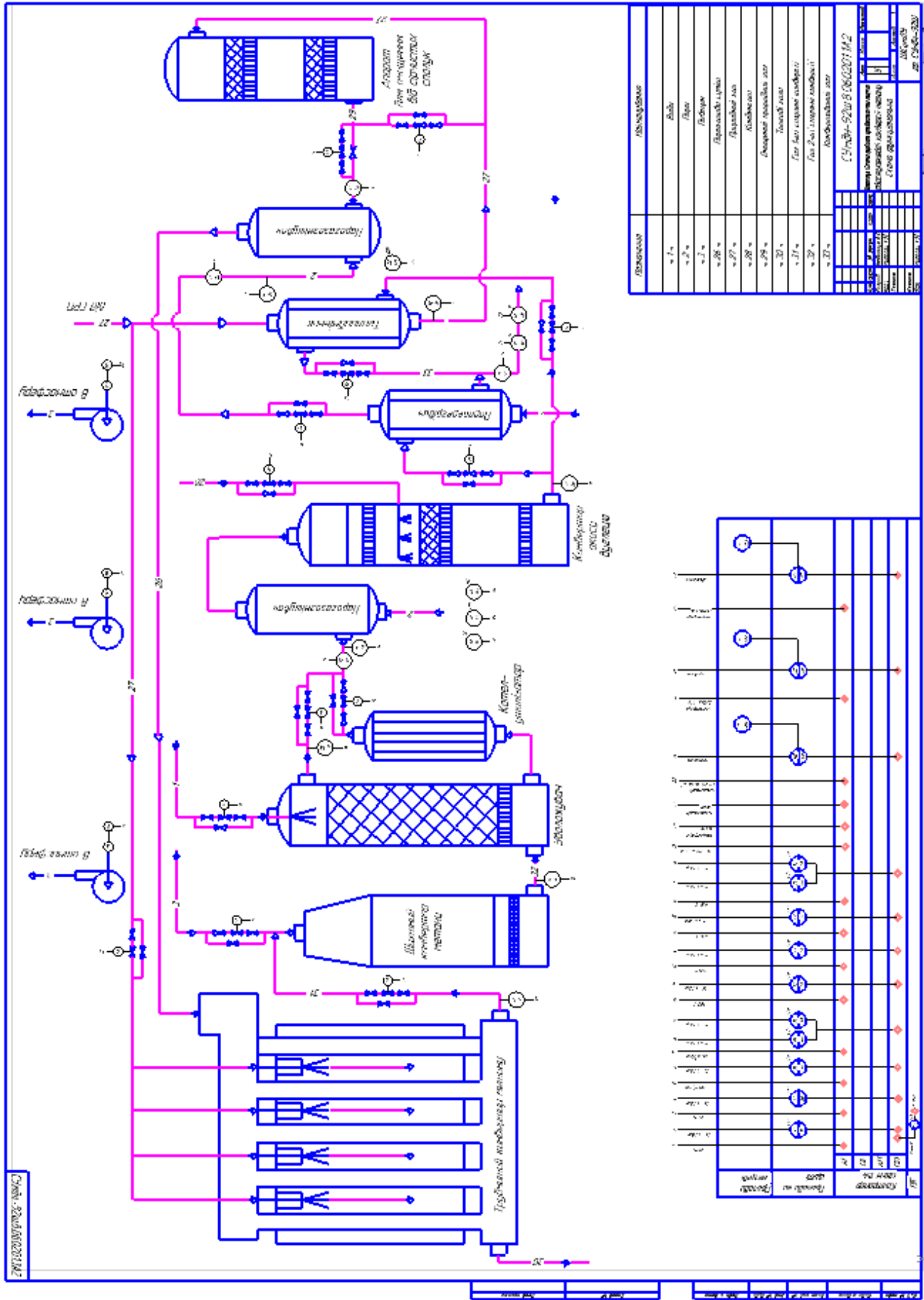


Рисунок 4.12-Функциональна схема автоматизації.

5 ВИБІР ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

5.1 Вибір датчиків

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

5.1.1 Вибір датчиків температури

Вимірювання температури є однією з основних вимог практично при будь-яких умовах технологічних процесів. Коливання температури можуть мати значний вплив на якість, прибутковість і безпеку. Це справедливо по відношенню до різних галузей промисловості, таких як нафтогазова, енергетична, нафтопереробна, нафтохімічна, фармацевтична та ін. Температура реагентів в розглянутому технологічному процесі має важливе значення для отримання якісної продукції, безпечного протікання технологічного процесу, економне витрачання сировини. Точність безперервного контролю температури залежить від декількох факторів, у тому числі від правильного вибору датчика для конкретних завдань і технологічних процесів. [2, 3]

У більшості пристроїв використовуються датчики, засновані на двох технологіях. Вибір між ними визначається конкретними вимогами до технологічного процесу і його умовами.

Найбільш поширеними чутливими елементами для вимірювання температури є термометри опору (ТО) і термопари (ТП). Ці пристрої ґрунтуються на двох різних технологіях, кожна з яких має свої переваги, відповідно до яких і робиться вибір на користь тієї чи іншої технології.[11]

У конструкції ТО використовується той факт, що електричний опір металу, як правило, зростає з підвищенням температури - явище, відоме як тепловий опір.

На відміну від ТО, ТП є термоелектричним датчиком температури, що складається з двох відрізків дроту з різномірних металів, з'єднаних між собою. При цьому, якщо температура на одному кінці цих відрізків дроту (спаї, «гарячі») відрізняється від такої на іншому «холодному», то на кінцях виникає різниця потенціалів – термо е.р.с. Напруга, що виникає, залежить від конкретних використовуваних металів, а також від поточної різниці температур. Зіставлення різних значень напруги, що виникають при використанні різних металів, є основою виміру температури термопарою.

Не існує однозначної відповіді на питання, який тип чутливого елемента є більш ефективним у конкретній ситуації. При експлуатації кожного з них виникають негативні побічні ефекти, які необхідно брати до уваги при виборі термодатчика.

Термометри опору виготовляються з резистивного матеріалу з прикріпленими провідниками і, як правило, поміщені в захисну оболонку. Як резистивний матеріал може виступати платина, мідь або нікель. Найбільшого поширення набула платина - завдяки високій точності і стабільності результатів вимірювань і їх виключної лінійності в широкому діапазоні.

ТО відрізняються високою зміною опору в розрахунку на один градус зміни температури. Найбільш поширеними типами чутливих елементів ТО є дротяний і тонкоплівковий. ТО з навитого дроту виготовляються або шляхом навивання резистивного проводу на керамічний сердечник, або шляхом поміщення спіралью скрученого дроту в керамічну оболонку, звідси і назва «дротові ТО». При виготовленні тонкоплівкового ТО тонке резистивне покриття висаджують на плоску керамічну підкладку (зазвичай прямокутної форми). Як правило, тонкоплівкові ТО є менш дорогими у порівнянні з дротяними, оскільки для їх виготовлення потрібна менша кількість різних матеріалів.[11]

ТП відрізняються більш високою швидкістю реакції і більш широкими допустимими діапазонами робочої температури, ніж ТО, проте мають більш низьку точність.

Зазвичай показання термометрів опору є значно більш стабільними, і ТО мають більш високу чутливість в порівнянні з ТП. Довгострокове зміщення показань ТО є добре передбачуваним, в той час як ТП часто є нестійкими в даному відношенні. За рахунок цього забезпечується така перевага ТО, як менш часта потреба в калібруванні і, отже, знижена вартість їх експлуатації. Нарешті, ТО забезпечують виняткову лінійність показань. У поєднанні з лінеаризацією, виконаною в якісному передавачі, стає досяжною точність близько 0,1 °С - значно вища в порівнянні з максимально можливою при використанні ТП.[11]

Різні поєднання металів в ТП класифікуються як різні типи датчиків і, відповідно, відрізняються характеристиками. Найбільш часто використовуваними типами ТП є тип J (залізо і константан) і тип К (хромель і алюмель). ТП відрізняються більш високою швидкістю реакції і більш широкими допустимими діапазонами робочої температури, ніж ТО, проте мають більш низьку точність. Конструкція кабелів ТП відрізняється підвищеною міцністю, за рахунок чого вони можуть витримувати високі рівні вібрації. У табл. 5.1 наводиться порівняння основних характеристик датчиків.

Таблиця 5.1_Порівняння характеристик розглянутих чутливих елементів для вимірювання температури

Властивість	Тип чутливого елемента	
	Термометр опору	Термопара
Точність	Клас А: $\pm[0,15+0,002]$ °С Клас В: $\pm[0,30+0,005]$ °С	Типова точність становить $\pm 1,1$ °С або $\pm 0,4$ % від виміряного значення температури (більше з двох значень). Залежить від типу ТП і допустимої межі вимірювань. Знижується при використанні подовжувача дроту.
Взаємозамінність	Відповідно до стандарту ІЕС 60751	
Стабільність роботи	$\pm 0,05$ °С після 1000 год. роботи при температурі < 300 °С. Відхилення підвищуються зі збільшенням температури. ТС дротяної конструкції мають більш високу стабільність, ніж тонкоплівкові.	Сильно залежить від типу термопари, якості кабелю і робочої температури. Типові відхилення становлять від ± 2 до 10 °С на 1000 год. роботи.
Швидкість реакції при установці в термокишені із зануренням в рідину	Швидкість реакції 6-мм датчика приблизно дорівнює швидкості реакції термопари.	Швидкість реакції 6-мм датчика приблизно дорівнює швидкості реакції ТО. Трохи вище для 3-мм датчика.
Калібрування	З легкістю піддається повторному калібруванню, що забезпечує тривалий термін служби. Найвища точність досягається при спеціальній взаємній підгонці датчика і передавача.	Обмежується порівнянням зі «стандартною термопарою» на місці вимірювань.

Продовження таблиці 5.1

Властивість	Тип чутливого елемента	
	Термометр опору	Термопара
Можливий діапазон вимірювання температури, °С	-200...+850	-270...+2300
Термін служби	Багато років. Скорочується при використанні під впливом високих температур.	Зниження чутливості призводить до необхідності частішої заміни ТП. Термін служби помітно скорочується при високих температурах. Більш високі витрати за термін служби.
Фактори, які необхідно врахувати при установці	Використовується стандартний мідний дріт. Досить висока несприйнятливість до ЕМП і радіоперешкод.	Потрібне використання дорогого подовжувального кабелю, що підходить для конкретної ТП. Сигнали малої потужності в значній мірі піддаються ЕМП і радіо-перешкодам.
Стійкість до вібрації	Дуже добра при тонкоплівковій конструкції	Дуже добра при великому діаметрі кабелів.
Витрати за термін служби	Більш нижчі.	Більш вищі.
Вартість придбання	Тонкоплівкова конструкція: приблизно однакова в порівнянні з ТП. Дротова конструкція дорожча.	Найбільш дорогими є термопари типів R і S.
Ефективність використання системи з передавачем	Завжди вище при температурах до +650 °С.	Нижче на один порядок.

При виборі датчика визначення правильного температурного діапазону є дуже важливим. Якщо температура буде перевищувати +850 °С, необхідно використовувати ТП. При температурах нижче +850 °С можна вибрати як ТО, так і ТП. Крім того, не варто забувати, що дротові ТО мають більш широкий діапазон вимірювання температур, ніж тонкоплівкові.[12]

Існують різні типи термопар, що визначаються поєднанням використовуваного в них дроту. ТП більшості типів можуть використовуватися для вимірювання більш високих температур, ніж ТО.

Визначення необхідного рівня точності є ще одним важливим фактором при виборі датчика. Як правило, ТО мають велику точність в порівнянні з ТП, а дротяні ТО - в порівнянні з тонкоплівковими. Якщо припустити, що на вибір однієї з двох технологій не впливають інші чинники, це правило допомагає зробити вибір найбільш точного датчика.

Рівень вібрації при технологічному процесі також необхідно враховувати при виборі датчика. ТП мають найбільш високу вібростійкість з усіх існуючих технологій вимірювання температури.

Якщо достовірно відомо, що в ході процесу виникає сильна вібрація, використання ТП дозволить досягти максимальної надійності вимірювання температури. Тонкоплівкові ТО також стійкі до впливу вібрації; проте вони не мають достатньої міцності. Використання дротяних ТО в умовах підвищеної вібрації виключено.

Враховуючі наведене вище, для вимірювання температури в цьому технологічному процесі необхідно використати датчики з чутливим елементом у вигляді ТО, крім виходу шахтного конвертора 5, де необхідно використати датчики з чутливим елементом у вигляді ТП.

Характеристики датчиків температури, які можуть бути застосовані при автоматизації даного технологічного процесу наведені в табл. 5.2. [13, 14, 15]

Таблиця 5.2 _ Технічні характеристики датчиків температури

Характеристика	Тип датчика		
	SITRANSTH100	ZET 7020	D1072
Чутливий елемент	Термометр опору Pt100	Термопари R, S, B, J, T, E, K, N, A, L, M	Термометри опору Pt100, Pt50, Ni100, Cu100, Cu53; термопари A1, A2, A3, B, J, K, Lr
Тип підключення	2-о, 3-и, 4-и дротове	2-о, 3-и, 4-и дротове	2-о, 3-и, 4-и дротове для термометрів опору
Діапазон вимірювання	-200 ... 850 °C	-250 ... 2500 °C	-200 ... 1050 °C
Точність вимірювання	0,25 °C	0,5 °C	0,25 °C
Придушення перешкод	50 і 60 Гц	Немає	Немає
Вихідний сигнал	4... 20 mA, 2-о дротовий	Інтерфейс даних RS-485	0... 20 mA
Живлення	DC 8,5...36 V	9... 24 V	DC 24 V

Продовження таблиці 5.2

Характеристика	Тип датчика		
	SITRANSTH100	ZET 7020	D1072
Захист	Від зворотної полярності	Від зворотної полярності	Немає
Клас захисту	IP40	IP20	IP40
Ціна, євро	400	324	296

Порівнявши технічні характеристики датчиків, вибираємо датчик D1072. Він має такі основні переваги перед іншими: на вхід можна приєднувати як термопари, так і термометри опору, достатній для поставленої задачі діапазон температур, прийнятну точність.

5.1.2 Вибір датчиків витрати

Витрата - це параметр процесу, що найбільш часто вимірюється в промисловості. Вода, природний газ, пар, мінеральні масла, хімікати, стічні води - ось тільки декілька прикладів середовищ, витрата яких повинна вимірюватися день у день. Незмінно високі вимоги до якості продукції, високий рівень функціональної безпеки, оптимізація технологічних процесів і захист навколишнього середовища - це лише деякі причини, за якими витрата є одним з найважливіших параметрів

Вимірювання витрати реагентів в технологічному процесі з метою її регулювання є однією з типових задач в автоматизованих системах управління. У розглянутому технологічному процесі необхідно вимірювати витрати газів, води і водяної пари. При цьому є особливість - необхідно вимірювати витрати реагентів при досить високих температурах, в умовах підвищеної пожежної і вибухобезпеки.

Не існує єдиної всеосяжної технології, прийнятної для всіх цих застосувань.

Взагалі витратоміри можна поділити на кілька основних груп за специфікою застосування, а також за принципом дії.[16]

Витратоміри рідини - найпоширеніший тип. Використовуються практично в усіх сферах. Деякі універсальні і підходять для газу/пари. Спектр моделей і розв'язуваних ними завдань дуже широкий, найкращий варіант підбирається з урахуванням конкретних умов.[16]

Витратоміри газу переважно використовуються для комерційного обліку газу, часто - для обліку технічних газів, газів і газоподібних речовин в технологічних процесах і т. п.

Витратоміри сипучих матеріалів використовуються на виробництві з твердим продуктом, багатофункціональні (можуть зважувати продукт, регулювати технологічні процеси дозування, змішування і т.п.). Шляхом автоматизації процесів і високої точності роботи збільшують економічну ефективність підприємства.

Ротаметри - прилади безперервного контролю витрат рідин і газів, побудовані на простому принципі роботи, тому економічні. Складається з конічної трубки і поплавка. Кожному положенню поплавка відповідає певна витрата.

Групи витратомірів за принципом вимірювання:[16]

Коріолісові - витратоміри, які вимірюють масову витрату рідини. Крім маси вимірюють температуру і швидкість потоку. Через своїх особливостей є найдорожчими приладами. Застосовуються для вимірювання витрати дуже дорогих середовищ.

Ультразвукові - найпростіші в установці витратоміри. Прості через те, що монтаж здійснюється на трубопровід, завдяки чому їх можна встановити досить швидко і без зупинки технологічного процесу.

Вихрові - принцип цих витратомірів ґрунтується на створенні так званої «вихрової доріжки Кармана», всередині якої утворюються пульсації тиску, що визначають витрати. Використовується вимірювання частоти коливань, що виникають в потоці в процесі вихороутворення. На шляху потоку газу встановлюється тіло обтікання, за яким утворюється система вихорів. Частота вихорів пропорційна швидкості потоку.

Витратоміри диференціального тиску використовують залежність перепаду тиску і витрати речовини:

У витратомірах типу Coin® труба має v-подібний клин. Завдяки звуженню створюється перепад тиску, за яким визначається витрата;

У витратомірах типу Venturi використовується трубка Вентурі. У трубці створюється перепад тиску, який показує витрати;

У витратомірах типу Ellipse використовується трубка Піто - Г-подібна трубка. Надмірний тиск у трубці визначає витрати.

Електромагнітні - одні з найбільш точних витратомірів. В основі їх роботи лежить принцип електромагнітної індукції. Так само є найнадійнішими, тому що в конструкції відсутні рухомі частини.

Теплові - працюють за принципом перепаду температури. Підходять для визначення малих витрат речовини. Поділяються на 2 види: калориметричні (вимірювальний зонд не контактує з середовищем вимірювань, принцип їх роботи заснований на нагріванні потоку газу зовнішнім джерелом тепла, витрата визначається за значенням потужності при постійній температурі, або за різницею температур при постійній потужності) і термоанемометричні витратоміри (вимірювальний зонд занурений в середовище, їх робота заснована на використанні конвективного переносу тепла від нагрітої поверхні, за конвекційним переносом тепла визначається швидкість руху газу.

Турбінні - найпоширеніший тип витратомірів. У ньому перетворюється швидкість потоку газу, що проходить через перетин трубопроводу, в частоту обертання турбіни, встановленої в трубопроводі і обертається турбіна у напрямку потоку. Частота обертання турбіни перетворюється в частоту електричних імпульсів, частота обертань фіксується лічильником імпульсів.

Принцип роботи витратоміра визначає його переваги.

- Вихрові:
 - міцна і проста конструкція;
 - простота в експлуатації;
 - висока надійність;
 - можливість роботи в різних середовищах і на забруднених газах;
 - малі втрати тиску;
 - гарне співвідношення ціни і якості вимірювань;
 - широкий діапазон температур.
- Калориметричні:
 - висока точність;
 - великий діапазон виміру;
 - мала інертність;
 - вимір пульсуючих потоків.
- Термоанемометричні:
 - відсутні рухомі частини;
 - висока надійність в умовах пневмоударів і перевантажень;
 - малі втрати тиску.
- Ротаметри:
 - проста конструкція;
 - невисока ціна;
 - прямий спосіб вимірювання;
 - вимірювання не чутливі до спотворень швидкостей потоку;
 - стабільний коефіцієнт перетворення.
- Турбінні:
 - надійна і проста конструкція;
 - стабільний коефіцієнт перетворення;
 - відсутність пульсацій;
 - низька чутливість до впливу тиску;
 - простота обслуговування;

- стійкість до забруднень.
- Змінного перепаду тиску:
 - висока точність вимірювання;
 - зручність і універсальність;
 - можливість вимірювання будь-яких витрат;
 - широкий діапазон тисків і температур;
 - проста конструкція.

Недоліки, як і переваги, визначаються робочим методом приладів:

- Вихрові:
 - втрати тиску;
 - недостатня стабільність коефіцієнта перетворення;
 - велика чутливість до вібрацій.
- Калориметричні і термоанемометричні (термально-масові витратоміри):
 - нестабільність характеристик;
 - складність вимірювальної системи.
- Ротаметри:
 - є рухливі частини в конструкції;
 - в більшості випадків може бути тільки візуальний контроль;
 - не працюють на забрудненому газі.
 -
- Турбінні:
 - вимогливі до рівномірності потоку;
 - обмеження за типорозміром;
 - наявність динамічної похибки.
- Змінного перепаду тиску:
 - втрата енергії потоку;
 - чутливість до пульсацій і сторонніх домішок.

Проаналізувавши переваги і недоліки різних типів витратомірів, можна визначити можливості застосування витратомірів різних типів. Результати наведені в табл. 5.3.

Таблиця 5.3_ Можливості застосування витратомірів різних типів.

Застосування	Тип витратоміра					
	Вих- рові	Тер- мальні	За диф. тиском	Корио- лісові	Електро- магнітні	Ульт्रा- звукові
Вимірювання витрати рідини						
Витрата рідин (наприклад, води)	⊕	⊗	⊕	⊕	⊕	⊕
Малі витрати (<2 л/год.)	⊗	⊗	⊗	⊕	⊕	⊗
Великі витрати (> 100000 м ³ /год)	⊗	⊗	⊕	⊗	⊕	⊕
Непровідні рідини	⊕	⊗	⊕	⊕	⊗	⊕
Грузлі рідини (> 50 сп)	⊗	⊗	⊗	⊕	⊕	⊗
Кріогенні рідини (наприклад, рідкий кисень)	⊕	⊗	⊕	⊕	⊗	⊗
Гігієнічні застосування	⊗	⊗	⊗	⊕	⊕	⊕
Вимірювання витрати газу і пари						
Витрата газів (наприклад, повітря)	⊕	⊕	⊕	⊕	⊗	⊗
Вологий/забруднений газ (наприклад, газоводяна суміш)	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗
Малі витрати (<20 л/хв.)	⊗	⊕	⊗	⊕	⊗	⊗
Великі витрати	⊕	⊕	⊕	⊕	⊗	⊗
Витрата пари	⊕	⊗	⊕	⊗	⊗	⊗
Спеціальні застосування						
Шлам, зважені частинки	⊗	⊗	⊗	⊗	⊕	⊗
Суміші (нафта/вода)	⊕	⊗	⊗	⊕	⊗	⊗
Суміші (вода/газ)	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗
Корозійні рідини (кислоти, луги)	⊕	⊗	⊕	⊕	⊕	⊕
Корозійні гази (наприклад, пари HCl, H ₂)	⊗	⊗	⊕	⊕	⊗	⊗
Застосування у добувній промисловості (руда)	⊗	⊗	⊗	⊗	⊕	⊗
Двонаправлене вимірювання	⊗	⊗	⊕	⊕	⊕	⊕
Неінвазивне вимірювання без переривання процесу	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊕
Діапазони застосувань						
Номинальні діаметри	Ду 15...300	Ду 15...1500	Ду 10...4000	Ду 1 ... 400	Ду 2 ... 2400	Ду 15...4000
Робочий тиск	до 250 бар	до 40 бар	до 420 бар	до 400 бар	до 420 бар	В залежності від сенсора
Робоча температура	-200 ... +450 °C	-40 ... +130 °C	-200 ...+1000°C	-50 ... +350 °C	-40 ... +180 °C	-40 ... +170 °C

Примітка. ⊕ – застосовується; ⊗ – не застосовується; ⊗ – може бути застосований, але з обмеженнями (в залежності від застосування, конструкції і матеріалів).

На сьогодні на світовому ринку лідери у виробництві витратомірів - Emerson, Endress & Hauser, Yokogawa, KROHNE, Heinrichs, Rosemount KEM, Hosco-Honsberg, SIKA, ABB, Schmidt Mess-und Regeltechnik, Siemens, HONEYWELL, Kobold.

Необхідно зазначити, що в розглянутому технологічному процесі для вимірювання витрати високотемпературних газів (до +450 °С) можна застосувати вихрові витратоміри, для більш високих температур – витратоміри за диф. тиском, для низькотемпературних газів – вихрові витратоміри. Для високотемпературної пари і газопарової суміші - вихрові і витратоміри за диф. тиском, для низькотемпературних газів можна застосувати вихрові витратоміри, термальні, кориолісові.

Для вимірювання витрати пари на вхід парогазозмішувача 3 можна застосувати:

- витратомір Annubar серії 3095 SFA фірми Rosemount;
- витратомір Proline Prowirl F 200 фірми Endress & Hauser;
- витратомір серії digitalYEWFL0.

Характеристики витратоміра Annubar серії 3095 SFA.[17]

Області застосування:

- вимірювання витрати рідини;
- вимірювання витрати газів;
- вимірювання витрати пару.

Розмір трубопроводу:

- сенсор розміру 1: від 2 до 8 дюймів (від 50 до 200 мм);
- сенсор розміру 2: від 6 до 96 дюймів (від 150 до 2400мм);
- сенсор розміру 3: від 12 до 96 дюймів (від 300 до 2400мм).

Температура технологічного середовища:

- 260 °С - інтегральний монтаж електроніки;
- 400 °С - при прямому монтажі (сполучна платформа електроніки);

Виносний монтаж електроніки:

- 677 °С - матеріал сенсора Hastelloy®;
- 454 °С - матеріал сенсора - нержавіюча сталь.

Температурний діапазон для електроніки.

Температура навколишнього середовища:

- від -40 до 85 °С;
- з інтегральним РК дисплеєм: від -20 до 80 °С.

Межі тиску.

Інтегральний монтаж електроніки:

- збереження тиску згідно ANSI B16.5 600 # або DIN PN.

Відтворюваність $\pm 0,1\%$.

Вихід:

- двопровідний вихід 4-20 мА/HART. Аналого-цифровий вихід 4-20 мА. Цифровий вихід накладається на аналоговий сигнал 4-20 мА, і може бути прийнятий будь-яким реєструючим пристроєм, що підтримує протокол HART.

Foundation fieldbus (код виходу F)

- 17,5 мА для будь-яких змін (в тому числі для варіанту з РК індикатором).

Джерело живлення.

Потрібне зовнішнє джерело живлення.

Стандартний датчик (4-20 мА) працює при напрузі джерела постійного струму від 10,5 до 42,4 В (без навантаження).

Датчики 3051S SIS з сертифікацією безпеки: від 12 до 42 В постійного струму без навантаження.

Датчики 3051S HART з функціями діагностики: від 12 до 42 В постійного струму без навантаження.

Ціна 2 000,00 USD-2 500,00 USD.

Характеристики витратоміра digitalYEWFLO.[18]

Об'єкт вимірювання: рідина, газ, пара (не застосовується для багатофазних і клейких рідин).

Діапазон номінальних діаметрів Ду 15 ... 400.

Діапазон вимірів:

- рідина: 0,30 ... 3547 м³/год;
- повітря: 4,8 Нм³/год для Ду 15 при 0 МПа ... 728547 Нм³/год для Ду 400 при 2,5 МПа;
- пар: 5,8 кг/год для Ду 15 при 0,1 МПа ... 440055 кг/год для Ду 400 при 3 МПа.

Похибка вимірювання:

- рідина: ± 0,75% витрати, ± 0,5% витрати (типова похибка/не гарантовано);
- газ, пар: ± 1% витрати.
- об'ємна витрата (рідина): ± 0,75%;
- об'ємна витрата (пар, газ): ± 1.00%;
- масова витрата (рідина): ± 0,85%;
- масова витрата (пар, газ): ±

Максимально допустимий тиск для витратомірної трубки 42 МПа для Ду 15 ... 300, 25 МПа для Ду 400.

Діапазон робочих температур:

- від -29 до 250 ° С (стандартний тип);

- від -196 до 100 ° C (криогенна версія: опція);
- від -29 до 450 ° C (високотемпературна версія: опція).

Діапазон температури навколишнього середовища:

- від -29 до 85 °C (датчик для рознесеного типу);
- від -40 до 85 °C (перетворювач для рознесеного типу);
- від -29 до 85 °C (витратомір інтегрованого типу);
- від -29 до 80 °C (витратомір інтегрованого типу з дисплеєм);
- від -30 до 80 °C (перетворювач для рознесеного типу з дисплеєм).

Ступінь захисту IP66/IP67 (IEC 60529), Type 4X (NEMA 250).

Вибухобезпечне виконання за стандартами TIIIS/FM/ATEX/CSA/SAA (іскробезпечний), IECEx.

Сигнальний кабель:

- сигнальний кабель для з'єднання рознесеного датчика і перетворювача. Макс. Довжина 30 м. Матеріал зовнішньої оболонки: теплостійкий поліетилен. Межі температур: від -40 до +150 ° C

Вихідні сигнали:

- подвійний вихід (аналоговий і транзисторний вихід можуть бути отримані одночасно).
- Аналогові: 4 ... 20 мА пост. струму, 2-дротовий.
- Транзисторний контактний вихід : з відкритим колектором, 3-провідний.
- Виходи імпульсний, сигналізації, стану задаються відп. параметрами.
- Номінал контакту: 10,5 ... 30 В пост.струму, 120 мА (вд 10,5 до 30 В пост. струму. 80 мА пост. струму за стандартом іскробезпеки ATEX/KS2 і IECEx/SS2).
- Низький рівень: 0 ... 2 В пост. струму.

Сигнал зв'язку:

сигнал по протоколу зв'язку BRAIN / HART (накладається на сигнал 4 ... 20 мА).

Відстань зв'язку до 2 км при використанні кабелів CEV з поліетиленовою ізоляцією в ПВХ-оболонці. Відстань змінюється в залежності від типу кабелю.

Напруга живлення:

- від 16,4 до 42 В пост. струму для протоколів цифрового зв'язку BRAIN / HART (від 16,4 до 30 В пост. струму для іскробезпечного типу).

Особливості digitalYEWFL0.

- Технологія SSP (Спектральна обробка сигналу): SSP-фільтр вбудований в потужну електроніку приладу digitalYEWFL0. SSP аналізує стан середовища всередині витратоміра і, використовує ці дані для автоматичного вибору оптимальної підстроювання режимів обробки

сигналу. SSP точно визначає вихори при мінімальних витратах, забезпечуючи високу стабільність вимірювань.

- Самодіагностика: прогнозуються і відображаються такі позаштатні умови процесу, як сильна вібрація трубопроводу і аномальний потік.

- Простота завдання параметрів: групування найбільш часто використовуваних параметрів в формат швидкого доступу скорочує час пуско-наладки.

- Вихід сигналізації / стану (реле витрати), виведення сигналізації при нештатній ситуації.

Ціна 200,00 USD -3 000,00 USD.

Характеристики витратоміра Proline Prowirl F 200.[19]

Області застосування:

- вимірювання витрати вологої/насиченої/перегрітої пари;
- вимірювання витрати газів;
- вимірювання витрати рідин (в тому числі в криогенних областях застосування).

Оптимізований для вимірювання витрати пари.

Вимірювані параметри:

- об'ємна витрата;
- масова витрата;
- скоригована об'ємна витрата;
- витрата енергії;
- різниця теплового потоку;
- температура.

Діапазон номінальних діаметрів Ду 15 ... 300 (½... 12 дюйм.).

Діапазон вимірів:

рідина: 0,16 ... 2412 м³/год. (0,09 ... 1420 фут³/хв.);

- в залежності від продукту: вода при 1 бар абс., 20 °С (14,5 фунт/ кв. дюйм абс., 68 °F);

- пар, газ: 2 ... 32166 м³/год. (1,18 ... 18932 фут³/хв.);

- в залежності від продукту: пар при 180 °С, 10 бар абс. (356 °F, 145 фунт/кв. дюйм абс.); повітря при 25 °С, 4,4 бар абс. (77 °F, 63,8 фунт/ кв. дюйм абс.).

Макс. похибка вимірювання:

- об'ємна витрата (рідина): ± 0,75%;
- об'ємна витрата (пар, газ): ± 1.00%;
- масова витрата (рідина): ± 0,85%;
- масова витрата (пар, газ): ± 1,7%.

Макс. робочий тиск PN 40, клас 300, 20К.

Діапазон температур продукту:

- стандартне виконання: -40 ... + 260 °C (-40 ... + 500 °F);
- для високих / низьких температур (опція): -200 ... + 400 °C (-328 ... + 752 ° F);
- для високих / низьких температур (на вимогу): -200 ... + 450 °C (-328 ... + 842 °F).

Діапазон навколишньої температури:

- компактне виконання (стандартне): -40 ... + 80 °C (-40 ... + 176 °F);
- компактне виконання (опція): -50 ... + 80 °C (-58 ... + 176 °F);
- роздільне виконання (стандартне): -40 ... + 85 °C (-40 ... + 185 °F);
- роздільне виконання (опція): -50 ... + 85 °C (-58 ... + 185 °F).

Ступінь захисту:

- компактне виконання: IP66 / 67, захисна оболонка типу 4X;
- датчик, роздільне виконання: IP66 / 67, захисна оболонка типу 4X;
- перетворювач, роздільне виконання: IP66 / 67, захисна оболонка типу 4X.

Матеріал корпусу перетворювача AlSi10Mg, з покриттям; 1.4404 (316L).

Матеріал корпусу сенсора: клемний відсік датчика: AlSi10Mg, з покриттям; 1.4408 (CF3M).

Вихідні сигнали:

- 4 ... 20 mA HART (пасивний);
- 4 ... 20 mA (пасивний);
- імпульсний / частотний / релейний вихід (пасивний).

Вхідні сигнали: струмовий вхід 4 ... 20 mA (пасивний).

Цифровий зв'язок: HART, PROFIBUS PA, FOUNDATION Fieldbus.

Джерело живлення:

- 12 ... 35 В пост. струму (4 ... 20 mA HART з частотним/імпульсним/релейним виходом або без нього);
- 12 ... 30 В пост. струму (4 ... 20 mA HART, 4 ... 20 mA);
- 12 ... 35 В пост. струму (4 ... 20 mA HART, частотний/ імпульсний / релейний вихід, вхід 4 ... 20 mA);
- 9 ... 32 В пост. струму (PROFIBUS PA, частотний/імпульсний/релейний вихід).

Сертифікати на вибухозахист ATEX, IECEx, cCSAus.

Функціональна безпека відповідно до ГОСТ Р МЭК 61508, можливість використання в областях застосування з підвищеними вимогами до безпеки відповідно до ГОСТ Р МЭК 61553.

Ціна 500,00 USD -2 000,00 USD.

Проаналізувавши характеристики витратомірів застосуємо для вимірювання витрати пари на вхід парогазозмішувача з витратомір digitalYEWFLOW.

Для вимірювання витрати природного газу на вхід парогазозмішувача 3 також застосуємо витратомір digitalYEWFLOW, оскільки він може вимірювати витрати газу, а умови використання ідентичні.

Для вимірювання витрати кінцевого конвертованого газу з пароперегрівача також застосуємо витратомір digitalYEWFLOW, оскільки він може вимірювати витрати газу, а умови використання ідентичні.

4.1.3 Вибір датчиків концентрації природного газу, водню, чадного газу і азоту.

При виборі датчика концентрації газу необхідно враховувати різні критерії, але критично важливо підібрати підходящий для поставленого завдання принцип вимірювання, керуючись типом вимірюваного газу, середовищем, в якому виконуються вимірювання, і метою.

На сьогодні найбільш застосованими типами датчиків є:[20]

- терموкаталітичний;
- термокерамічний;
- термокондуктивний;
- напівпровідниковий;
- електрохімічний;
- гальванічний;
- інфрачервоний (оптичний);
- інтерферометричний;
- фотоіонізаційний (ФІД);
- фотометричний;
- піролітичний.

Найпоширеніший і універсальний тип датчика, принцип роботи якого заснований на обчисленні кількості тепла, що виділяється при згорянні горючого газу або парів в каталізаторі. Керамічний принцип є різновидом терموкаталітичного, проте на відміну від останнього використовує інший тип каталізатора - дрібнодисперсний (керамічний). Конструктивно датчик складається з двох чутливих елементів - робочого і компенсуючого. Робочий елемент є спіраллю з дорогоцінного металу (як правило, платини) та каталізатора, чутливого до горючих газів. Повітряна суміш, яка містить горючий газ, вступає в реакцію з каталізатором, збільшуючи температуру елемента, і, як наслідок, призводить до зміни електричного опору спіралі в майже лінійної залежності від концентрації газу. Компенсуючий елемент складається з платинової спіралі і скла, яке не має чутливості до горючих газів, і призначений для компенсації навколишніх умов.

Переваги термокаталітичного датчика: лінійність вихідної характеристики, швидкий відгук, стійкість до змін в температурі і вологості навколишнього середовища, а також довговічність.

Застосовується для вимірювання довибухонебезпечних концентрацій (ДВК) горючих газів і парів в діапазоні від 0 до 100% НКМП.

Газоаналізатори: GP-03, GX-2009, GX-3R / Pro, GX-2012, GX-8000, GD-A80, SD-1GP.

Переваги керамічного датчика: лінійність характеристики, більш швидкий відгук, можливість вимірювання ГДК (в одиницях млн⁻¹), стійкість до змін в оточуючих умовах.

Застосовується для вимірювання довибухонебезпечних концентрацій (ДВК) і гранично-допустимих концентрацій (ГДК) горючих газів і парів.

Газоаналізатори: GX-6000, SD-1NC.

Принцип роботи термокондуктивного датчика заснований на вимірюванні різниці в теплопровідності. Як і у термокаталітичного датчика, сенсор складається з робочого і компенсуючого елемента. Контакт з газом відбувається на робочому елементі, а компенсуючий елемент ізольований. При попаданні цільового газу на робочий елемент відбувається зміна в тепловіддачі, пов'язана з теплопровідністю і приводить до зростання температури елемента. Це, в свою чергу, призводить до зміни опору платинової спіралі.

Переваги: лінійна характеристика, стабільність показань, довговічність, можливість вимірювання негорючих газів (аргону, азоту і вуглекислого газу), а також можливість вимірювань в безкисневому середовищі.

Застосовується для вимірювання високих концентрацій горючих газів і парів.

Газоаналізатори: GX-2012, GX-8000.

В напівпровідниковому типі датчиків використовується напівпровідник з металлоксидним напиленням, опір якого змінюється при контакті з газом. Датчик складається з нагрівальної спіралі і провідника, нанесеного на трубку з глинозему, а по краях трубки знаходяться контакти з дорогоцінного металу, призначені для вимірювання опору. При попаданні газу на поверхню датчика він окислюється, що призводить до зменшення електричного опору, який перетворюється на концентрацію.

Переваги: чутливість до наднизьких концентрацій, які складно фіксувати іншими типами датчиків, довготривала стабільність, стійкість до отруєння, а також селективність.

Застосовується для вимірювання ГДК широкого спектру токсичних і горючих газів.

Газоаналізатори: GX-2012GT, GD-A80V, SD-1GH.

електрохімічний

В основі електрохімічного принципу вимірювання лежить процес електролізу. Датчик складається з трьох електродів - робочого (газопроникної плівки з нанесеним каталізатором з

дорогоцінного металу), референсного і інтегруючого, що розміщені в пластиковому корпусі з електролітом. У датчику використовується потенціостатичний ланцюг, який забезпечує постійну напругу між робочим і референсним електродами. Струм, що виникає в ході хімічних реакцій на робочому і інтегруючому електродах, пропорційний концентрації вимірюваного газу.

Переваги: лінійний вихідний сигнал, висока точність і хороша відтворюваність результатів.

Застосовується для вимірювання ГДК токсичних речовин.

Газоаналізатори: HS-03, CO-03, CX-5, GX-3R / Pro, GX-2012, GX-6000, GX-8000, RX-8500, RX-8700, SC-8000, TP-70D, SD- 1EC, GD-70D.

Принцип роботи датчика гальванічного типу нагадує простий акумулятор: датчик складається з катода, виготовленого з дорогоцінного металу, аноду (дроту), які поміщені в електроліт, а також розділової мембрани, прикріпленої до зовнішньої сторони катода. Кисень, проходячи через розділову мембрану, на катоді відновлюється, а на аноді - окислюється. Виникає електричний струм, який конвертується в напругу і в такому вигляді подається на вихід, при цьому напруга пропорційна концентрації кисню.

Переваги: простота, довговічність в порівнянні з електрохімічним датчиком, не вимагає зовнішнього живлення, лінійна вихідна характеристика, швидкий відгук і відсутність залежності від коливань температури/вологості.

Газоаналізатори: OX-03, GX-2012 / GT, GX-6000, GX-8000, RX-8000, RX-8500, RX-8700, SD-1OX, GD-70D.

Інфрачервоний (оптичний) принцип вимірювання заснований на відомому явищі, що багато газів поглинають інфрачервоні промені і кожен з цих газів має певний спектр поглинання. Сенсор складається з джерела інфрачервоного світла і датчика, між якими встановлені оптичний фільтр і вимірювальний осередок. Поступаючи в вимірювальну комірку, газ поглинає деяку кількість інфрачервоного світла, а датчик при цьому фіксує зниження інтенсивності ІК-світла, що надходить і на базі відомої залежності (калібрувальної кривої) генерує вихідний сигнал. Незважаючи на те, що залежність не лінійна, вона добре відома виробникам датчиків.

Переваги: швидкий відгук, повторюваність, стабільність при зміні навколишніх умов, відсутність ефектів старіння і отруєння.

Застосовується для довибухонебезпечних концентрацій (ДВК) горючих газів і парів в діапазоні від 0 до 100% НКМП, а також концентрації в діапазоні від 0 до 100% обсягу.

Газоаналізатори: GX-3R Pro, GX-6000, RX-8000, RX-8500, RX-8700, SD-1RI

Принцип інтерферометричного датчика заснований на вимірюванні коефіцієнта рефракції газу. Конструктивно інтерферометричний сенсор складається з джерела світла і оптичної системи з дзеркал, лінз, призми і світлочутливого датчика. Світло від джерела розділяється плоскопаралельним дзеркалом на два променя (А і В) і відбивається призмою. Луч А рухається по круговому маршруту через камеру D, наповнену вимірюваним газом, а промінь В - через камеру Е з референсним газом. Після цього промені А і В зустрічаються в точці С дзеркала і, проходячи через систему дзеркал і лінз, формують на світлочутливому датчику картину інтерференції. Дана картина зсувається в пропорції до різниці в коефіцієнті рефракції між вимірюваним та референсним газами. Датчик вимірює зсув, щоб виміряти коефіцієнт рефракції, і перетворює його в концентрацію газу або кількість тепла.

Переваги: низька похибка вимірів, довготривала стабільність, висока лінійність і швидкий відгук, відсутність впливу змін в температурі і тиску (за рахунок механізму корекції).

Застосовується для вимірювання концентрацій горючих газів, вуглекислого газу та елегазу, а також калорійності природного газу.

Газоаналізатори: FI-8000.

У фотоіонізаційних датчиках вимірюваний газ іонізується за допомогою ультрафіолетового світла, а це, в свою чергу, призводить до виникнення електричного струму. Коли газ потрапляє в іонізаційну камеру, він піддається впливу УФ-світла, під впливом якого газ починає втрачати електрони (негативні іони) і генерувати катіони (позитивні іони). Електрони і катіони, в свою чергу, притягуються катодом і анодом, створюючи електричний струм, який є пропорційним значенням концентрації. Для іонізації потрібні фотони з енергією вище енергії даного конкретного газу, тому в ФІД, як правило, використовують УФ-лампи з енергією 10,6 еВ (виготовлені з фториду магнію і наповнені криптоном) або 11,7 еВ (виготовлені з фториду літію і наповнені аргоном).

Переваги: чутливість до низьких концентрацій, широкий спектр вимірюваних речовин.

Застосовується для вимірювання дуже малих концентрацій (на рівні ppm і ppb) летких органічних сполук.

Газоаналізатори: GX-6000.

В основі піролітичного принципу лежить процес піролізу вимірюваного газу з утворенням оксиду, частинки якого вимірюються датчиком. Піролітичний сенсор складається з нагрівача, в центрі якого знаходиться кварцова трубка з нагрівальним елементом, і датчика часток, що містить дві камери - робочу і компенсаційну. Вимірюваний газ під впливом температури окислюється і потрапляє в робочу камеру датчика часток з джерелом α -частинок, який використовується для іонізації повітря і створення електричного струму. Як тільки частинки газу потрапляють в камеру, вони починають поглинати іони, приводячи до зниження

струму іонізації. Це зниження вихідного сигналу пропорційне концентрації вимірюваного газу. Компенсаційна камера дозволяє компенсувати флуктуації температури, вологості і тиску навколишнього середовища.

Переваги: неперевершена стабільність показань (завдяки використанню джерела америцію-241 з періодом напіврозпаду близько 400 років), швидкий відгук, лінійність вихідного сигналу і стійкість до змін в оточуючих умовах.

Застосовується для вимірювання ГДК високотоксичних газів.

Газоаналізатори: GD-70D.

Світовими лідерами з випуску газових сенсорів і газоаналізаторів є Alphasense (Великобританія), Dynament (Великобританія), DDSscientific (Великобританія), Membrapor (Швейцарія), Nemoto & Co. Ltd. (Японія), Sixth Sense (Великобританія), SmartGAS Mikrosensorik (Німеччина), Figaro Engineering Inc. (Японія).

Для контролю %-го об'ємного вмісту можна застосувати:

- датчик високих концентрацій водню високотемпературний ТП-Н2 виробництва ПНВП «Укрсенсор», Україна (ТУ У 26.5-32295656-003-2016); [23]
- Аналізатор Водню Промисловий АВП-01 П ТУ 4215-002-16963232-03 «Науково-виробнича фірма "БІОАНАЛІТИЧНІ СИСТЕМИ І СЕНСОРИ"», Російська федерація; [21]
- портативний газоаналізатор водню АВП-02ГМ, ЗАТ «НВО «Техноком», Російська федерація.[24]

Характеристики датчика високих концентрацій водню високотемпературного ТП-Н2.

- Струм навантаження (70 ± 10) мА.
- Напруга живлення ($2,00 \pm 0,05$) В.
- Діапазон перетворення від 4% до 100%.
- Межі основної відносної похибки перетворення (в перерахунку на об'ємну частку водню) $\pm 10\%$.
- Час встановлення вихідного сигналу ($T_{0,9}$) не більше 20 с.
- Діапазон робочих температур від 0 °С до 200 °С.
- Датчик зберігає працездатність при короткочасному (до 10 хв) підвищенні температури до 300 °С.
- Діаметр 39 мм.
- Висота 18 мм.
- Маса 40 г.

Характеристики Аналізатора Водню Промислового АВП-01 П.

Призначений для вимірювання концентрації водню в газах і рідинах безпосередньо в точках відбору проб. Може встановлюватися в ємності, заповнені аналізованим середовищем, наприклад цистерни з нафтопродуктами, метантенки, колодязі, шахти і т. д. Застосовується для визначення «витоків» водню в електролізних, в системах охолодження генераторів, в ємностях з рідкими ядерними відходами, а також для моніторингу складу повітря промислової зони з метою забезпечення пожежовибухобезпечних умов виробництва.

Сенсор погрузного типу АСрН2-05 в герметичному корпусі з нержавіючої сталі.

Діапазони показань:

- концентрації водню, мкг/дм³ - 0 – 200,0; 0 – 2000;
- концентрації водню, мг дм³ - 0 – 20,00;
- процентного вмісту водню в газах, об. % - 0 – 20,00; 0 – 200,0;
- парціального тиску водню, мм.рт.ст, кПа- 0 – 200,0; 0 – 2000;
- температури робочого середовища, - 0 – 50.

Межі допустимого значення основної абсолютної похибки аналізатора при вимірюванні:

- концентрації водню в рідинах, в діапазонах:
 - 0 - 200 мкг/дм³ - $\pm (2,0+0,03 \times A)$;
 - 200 - 2000 мкг/дм³ - $\pm (0,05 \times A-2)$
 - 2.00 - 20.00 мг/л - $\pm (0,10 \times A-0,1)$;
- процентного вмісту водню в газах в діапазонах:
 - 0 - 20 об. % - $\pm (0,1 +0,03 \times A)$;
 - 20 - 100 об. % - $\pm + (0,05 \times A-0,3)$;
- парціального тиску водню в діапазонах:
 - 0 - 20 кПа - $\pm(0,1+0,03 \times A)$;
 - 20 - 200 кПа - $\pm (0,05 \times A-0,3)$;
 - 0 - 200 мм.рт.ст. - $\pm(1,0+0,03 \times A)$;
 - 200 - 2000 мм.рт.ст. - $\pm(0,05 \times A-3)$;
- температури, °С - $\pm 0,3$.

Межі систематичної похибки «рідина-газ»¹⁾, %, не більше 3.

Примітка:

A - показання аналізатора в обраному об'єкті вимірювання;

¹⁾ - систематична похибка «рідина-газ» обчислюється за формулою:

$$\gamma = (A^r - A^p)/A^r \times 100,$$

де: $A^Г$ – показання аналізатора в газовій суміші з вмістом водню; A^P - показання аналізатора у воді, насиченій цією газовою сумішшю.

Час встановлення 90% показань при стрибкоподібній зміні концентрації водню при 25 °С, сек, не більше 30.

Автоматична система синфазної температурної компенсації - на властивості мембрани і на коефіцієнт розчинності водню.

Тривожна сигналізація по верхній і нижній регульованим межах вмісту водню - звукова, світлова, сухі контакти.

Струмівий вихід, мА – 0 – 20, 4 – 20, 0 – 5.

Виходи на комп'ютер - RS-232, RS-485.

Напруга живлення - 36/220 В, 50 Гц.

Споживана потужність, В * А, не більше 5.

Термін служби амперометричного сенсора - не обмежений.

Середній термін служби аналізатора, років, не менше 10.

Характеристики портативного газоаналізатора водню АВП-02ГМ.

Газоаналізатор (воднемір) АВП-02ГМ призначений для оперативного визначення концентрації і / або парціального тиску водню в газових середовищах.

Газоаналізатор АВП-02ГМ застосовується в тепловій та атомній енергетиці, в хімічній, нафтопереробній та автомобільної промисловості, на підприємствах військово-промислового комплексу. В тепловій і атомній енергетиці АВП-02ГМ застосовується для визначення «витоків» водню в електролізних, в системах охолодження генераторів, в ємностях з рідкими ядерними відходами, а також для моніторингу складу повітря промислової зони з метою забезпечення пожежовибухобезпечних умов виробництва.

Аналізатор АВП-02ГМ застосовується в хімічній і нафтопереробній промисловості для виробничого контролю концентрації водню в хіміко-технологічних процесах синтезу органічних і неорганічних сполук, крекінгу нафти, виробництва аміаку, поліетилену і т.д.

Аналізатор АВП-02ГМ оснащений вбудованим мікрокомпресором, за допомогою якого здійснюється автоматичний забір аналізованого газу із димарів, колодязів, котлів, цистерн, ємностей і судин, що знаходяться як під розрідженням, так і при надмірному тиску.

Діапазон вимірювань:

- процентного вмісту водню в газах, об.% - 0-100,00;
- парціального тиску водню, мм.рт.ст - 0-2000,0;
- парціального тиску водню, кПа - 0-200,00;
- температури аналізованого середовища - 0 – 50.

Межі допустимої похибки аналізатора, при вимірюванні:

- в діапазоні: 0 - 20 об. % - $\pm (0,1 + 0,03 \times A)$;
- в діапазоні: 20 - 100 об. % - $\pm (0,05 \times A - 0,3)$;
- в діапазоні: 0 - 20 кПа - $\pm (0,1 + 0,03 \times A)$;
- в діапазоні: 20 - 200 кПа - $\pm (0,05 \times A - 0,3)$;
- в діапазоні: 0 - 200 мм.рт.ст. - $\pm (1,0 + 0,03 \times A)$;
- в діапазоні: 200 - 2000 мм.рт.ст. - $\pm (0,05 \times A - 3,0)$;
- температури, °С - $\pm 0,3$.

A - показання аналізатора в обраному об'єкті вимірювання.

Час встановлення 95% показань при стрибкоподібній зміні концентрації водню при 25 °С, с, не більше: 30.

Термін служби амперометричного сенсора: не обмежений.

Споживана потужність, В · А, не більше: 2.

Напруга живлення: акумулятор, адаптер.

Проаналізувавши характеристики газоаналізаторів застосуємо для вимірювання концентрації водню в кінцевому конвертованому газі газоаналізатор АВП-01 П.

Характеристики датчиків концентрації природного газу та оксиду вуглецю, які можуть бути застосовані при автоматизації даного виробництва наведені у табл. 5.4.

Таблиця 5.4 _ Технічні характеристики датчиків концентрації [25, 26]

Характеристика	Сигналізатор	
	СТГ-1	RGY000MBP4
Концентрація природного газу, що викликає спрацювання сигналізатора, % НКМП		
Поріг 1	10±5	10±5*
Поріг 2	20±5	20±5
Концентрація оксиду вуглецю (СО), що викликає спрацювання сигналізатора, мг/м ³		
Поріг 1	20±5	20±5*
Поріг 2	100±25	100±5*
Час спрацювання, с		
по природному газу	15	15
по оксиду вуглецю	60	45
Довжина кабелю між сигналізатором і датчиком, м	до 200	до 2 км
Напруга живлення	~230В±10% 50 Гц	~230В±10% 50 Гц або 12 В від акумулятора
споживана потужність, Вт	9,5	

* діапазон спрацьовування 0...9 ppm (0...1250 мг/м³). поріг спрацьовування 0...50 % НКМП.

Можливість задати будь-які два.

Зовнішні сенсори RGY000MBP4 мають струмовий вихідний сигнал 4 ... 20 мА і можуть підключатися до ПК за допомогою інтерфейсу RS 232. Зовнішні сенсори можуть підключатися за чотирма каналами, що дає можливість контролювати концентрацію в чотирьох зонах.

Для вимірювання концентрації вибираємо сигналізатор RGY000MBP4 - як більш універсальний і має можливість сполучення з сучасними засобами управління.

Характеристики датчика концентрації водню, який може бути застосований при автоматизації даного виробництва, наведені в табл. 5.5.

Таблиця 5.5 _ Технічні характеристики датчика концентрації водню

Характеристика	Сигналізатор
	СКГГ-1
Об'ємна частка водню, %	0 - 4
Абсолютна похибка вимірювання	0,25
Напруга живлення, В	187–242
Споживана потужність, ВА	не более 25
Час виходу на робочий режим, с	не более 15
Довжина лінії зв'язку з блоком датчика, м	не более 1000
Напруга, що комутується реле, В	220
Діапазон робочих температур, °С	
Блок живлення і сигналізації	от +1 до +50
Блок датчика	-10 до +50

5.2 Вибір регулюючих органів

5.2.1 Канал управління температурою природного газу на виході теплообмінника 1

Оскільки технологічний процес має пожежо- вибухонебезпечний характер будемо використовувати пневматичні виконавчі механізми з метою зменшення ймовірності виникнення аварійної ситуації.

Для управління температурою природного газу на виході теплообмінника 1 необхідно регулювати витрата конвертованого газу зміною положення клапана на трубопроводі конвертованого газу на вході теплообмінника 1.

Вибираємо пневматичний регулюючий клапан Samson з функцією безпеки (тип 241) з пневматичним виконавчим приводом тип 3277 (регулюючий клапан тип 241-7-газ) для інтегрованого монтажу опозиціонера. [28].

Основні технічні характеристики:

Умовний діаметр: Ду 15 ... Ду 250 мм.

Номинальний тиск: Ру 10 ... Ру 40 бар.

Температурний діапазон: від $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+450\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Управляючий сигнал – 1,6...4,1 бар.

Мінімальний тиск повітря – 4,5 бар.

Виконання – нормально закрите.

5.2.2 Канал управління температурою пари на виході пароперегрівача 10.

Для регулювання температури пари на виході пароперегрівача 10 необхідно регулювати витрату пари зміною положення клапана на трубопроводі конвертованого газу на вході пароперегрівача 10.

Для однотипності використовуваного обладнання для управління зміною витрати газів будемо використовувати пневматичний регулюючий клапан з функцією безпеки (тип 241-7-газ) з пневматичним виконавчим приводом тип 3277 (регулюючий клапан тип 241-7-газ), для води, пари, конденсату - пневматичний регулюючий клапан (тип 241-7) з пневматичним виконавчим приводом тип 3277 (регулюючий клапан тип 241-7).

5.2.3 Канал управління витратою пари на вході парогазозмішувача 3.

Для регулювання витрати пари на вході парогазозмішувача 3 застосуємо аналогічне обладнання - пневматичний регулюючий клапан (тип 241) з пневматичним виконавчим приводом тип 3277 (регулюючий клапан тип 241-7).

5.2.4 Канал управління витратою природного газу на вході парогазозмішувача 3.

Для регулювання витрати пари на вході парогазозмішувача 3 застосуємо аналогічне обладнання - пневматичний регулюючий клапан з функцією безпеки (тип 241) з пневматичним виконавчим приводом тип 3277 (регулюючий клапан тип 241-7-газ).

5.2.5 Канал управління температурою газу першої ступені конверсії на виході з трубчатого конвертора метану 4.

Для регулювання температури газу першого ступеня конверсії на виході з трубчатого конвертора метану 4 застосуємо аналогічне обладнання - пневматичний регулюючий клапан з функцією безпеки (тип 241) з пневматичним виконавчим приводом тип 3277 (регулюючий клапан тип 241-7-газ).

5.2.6 Канал управління витратою газу через шахтний конвертор 5.

Для регулювання витрати газу через шахтний конвертор 5 застосуємо аналогічне обладнання - пневматичний регулюючий клапан з функцією безпеки (тип 241) з пневматичним виконавчим приводом тип 3277 (регулюючий клапан тип 241-7-газ).

5.2.7 Канал управління температурою конвертованого газу на виході шахтного конвертора 5.

Для регулювання температури конвертованого газу на виході шахтного конвертора 5 застосуємо пневматичний регулюючий (тип 241) з пневматичним виконавчим приводом тип 3277 (регулюючий клапан тип 241-7).

5.2.8 Канал управління температурою конвертованого газу на вході парогазозмішувача 8.

Для управління температурою конвертованого газу вході парогазозмішувача 8 застосуємо аналогічне обладнання - пневматичний регулюючий клапан (тип 241) з пневматичним виконавчим приводом тип 3277 (регулюючий клапан тип 241-7) для регулювання подачі води на вході зволожувача 6 і пневматичний регулюючий клапан з функцією безпеки (тип 241) з пневматичним виконавчим приводом тип 3277 (регулюючий клапан тип 241-7-газ) на витрати конвертованого газу через котел-утилізатор 7.

5.2.9 Канал управління співвідношенням азот:водень~1:3 в конвертованому газі.

Для управління співвідношенням азот:водень~1:3 в конвертованому газі застосуємо аналогічне обладнання - пневматичний регулюючий (тип 241) з пневматичним виконавчим приводом тип 3277 (регулюючий клапан тип 241-7) для регулювання подачі повітря.

5.2.10 Канал управління температурою конвертованого газу на виході конвертора окису вуглецю 9 .

Для регулювання температури конвертованого газу на виході конвертора окису вуглецю 9 застосуємо аналогічне обладнання - пневматичний регулюючий (тип 241) з пневматичним виконавчим приводом тип 3277 (регулюючий клапан тип 241-7) для регулювання подачі конденсату.

5.2.11 Канал управління концентрацією чадного газу, природного газу і водню в робочих приміщеннях.

Для зменшення концентрації чадного газу застосуємо витяжну вентиляцію з застосуванням пристроїв плавного пуску двигунів вентиляторів і регулювання їх обертів за допомогою

частотного регулятора. При наближенні концентрації до НКМП клапан припиняє подачу природного газу в апарати технологічного процесу - пневматичний регулюючий клапан з функцією безпеки (тип 241) з пневматичним виконавчим приводом тип 3277 (регулюючий клапан тип 241-7-газ).

Оскільки технологічний процес пожежонебезпечний для управління клапанами виберемо електропневмоперетворювач Fisher™ 846 компанії Emerson. Перетворювач Fisher 846 служить для конвертації електричного вихідного сигналу контролера в пневматичний сигнал, необхідний для управління роботою приводу або пневматичного позиціонера регулюючого клапана. За допомогою електричної зворотного зв'язку перетворювач може вносити поправки які викликають помилки впливу, такі як коливання вхідного тиску і витoku нижче по потоку.

Його характеристики подані в табл. 5.6 [31].

Таблиця 5.6_ Технічні характеристики електропневматичного перетворювача Fisher™ 846

Характеристика	Значення
Клас зони	Вибухозахищеність, іскробезпечність, незаймистість, загальне призначення, вибухобезпечність
Сертифікати	CSA, FM, ATEX, IECEx, TP T3, регіональні
Вхідний сигнал	Електричний
Протокол передачі даних	4-20 мА, аналоговий сигнал
Інтерфейс даних	Дротовий
Діагностика	Немає
Максимальний вихідний тиск	35 фунтів / кв.дюйм надл. / 2,4 бар 35 фунтів / кв.дюйм хат. / 2,4 бар надл.
Тип монтажу	Віддалений монтаж, монтаж на приводі
Діапазон робочих температур, °С	Від -40 до +85
Регулювання положення	Плавне регулювання
Джерело живлення	Локальне
Засоби живлення	Повітря

5.3 вибір контролера

Відповідно до обраних датчиків і типів каналів управління зробимо вибір контролера[29]. Дані про вхідні сигнали наведені в табл. 5.7.

Таблиця 5.7_ Вхідні сигнали управляючої системи

№ п.п.	Параметр управління	Сигнал	Величина
1	Температура	Аналоговий	0...20 мА
2	Температура	Аналоговий	0...20 мА
3	Витрата	Аналоговий	0...20 мА, 0...10 В
4	Витрата	Аналоговий	0...20 мА, 0...10 В
5	Температура	Аналоговий	0...20 мА
6	Витрата	Аналоговий	0...20 мА, 0...10 В
7	Температура	Аналоговий	0...20 мА
8	Температура	Аналоговий	0...20 мА
9	Температура	Аналоговий	0...20 мА
10	Температура	Аналоговий	0...20 мА
11	Концентрація	Аналоговий Дискретний	
12	Концентрація	Аналоговий Дискретний	
12	Концентрація	Аналоговий Дискретний	0...20 мА Лог. «0» - 0 В, лог. «1» - +5 В
13	Концентрація	Аналоговий Дискретний	0...20 мА Лог. «0» - 0 В, лог. «1» - +5 В
14	Концентрація	Аналоговий	0...20 мА

Дані про вихідні сигнали наведені в таблиці 5.8.

Таблиця 5.8_ Вихідні сигнали управляючої системи

№ п.п.	Параметр впливу	Сигнал
1	Витрата	Цифровий
2	Витрата	Цифровий
3	Витрата	Цифровий
4	Витрата	Цифровий
5	Витрата	Цифровий
6	Витрата	Цифровий
7	Витрата	Цифровий
8	Витрата	Цифровий
9	Витрата	Цифровий
10	Витрата	Цифровий
11	Концентрація	Цифровий
12	Концентрація	Цифровий
13	Концентрація	Цифровий

На підставі даних табл. 5.7 і 5.8 можна скласти вимоги до контролера і вибрати його на функціональному рівні. Вимоги по вхідних і вихідних сигналів наведені в табл. 5.9.

Таблиця 5.9_ Вхідні і вихідні сигнали управляючої системи

Сигнал	Вид	Кількість
Вхідний	Аналоговий	13
	Дискретний	2
Вихідний	Аналоговий	-
	Дискретний	13

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. Із поширених для управління технологічним процесом можливе, серед інших, використання мікропроцесорних програмованих контролерів, як Melsec фірми Mitsubishi Electric, контролери фірми Мікрол, програмовані логічні контролери ОВЕН ПЛК, програмовані контролери SIMATIC фірми SIEMENS, контролери фірми Atmel, Ремиконт, Ломіконт і ін. вибравши два найбільш підходящих порівняємо їх технічні характеристики.

а) Програмований логічний контролер ОВЕН ПЛК154-220.И [29]

Технічні характеристики представлені в табл. 5.10.

Таблиця 5.10 _ Технічні характеристики програмованого логічного контролера ОВЕН ПЛК154-220.И [29]

Загальні відомості	
Конструктивне виконання	Уніфікований корпус для кріплення на DIN-рейку
Ступінь захисту корпусу	IP20
Напруга живлення	90...264 В 47...63 Гц (номін. 200 В) або =110...230 В
Споживана потужність	6 Вт
Індикація на передній панелі	Індикація живлення і стану дискретних входів/виходів
Ресурси	
Центральний процесор	32х розрядний RISC процесор 200 МГц на базі ядра ARM9
Об'єм оперативної пам'яті	8 Мбайт
Обсяг енергозалежної пам'яті зберігання програм і архівів	3 Мбайт (Flashпам'ять, спеціалізована файлова система)
Дискретні входи	
Кількість дискретних входів	4
Гальванічна розв'язка	на 1,5 В, групова
Максимальна частота сигналу, що подається на дискретний вхід	10 кГц (в режимі енкодера – 1 кГц)
Аналогові входи	
Кількість аналогових входів	4
Межа основної зведеної похибки	0,5%

Продовження таблиці 5.10

Типи підтримуваних датчиків і вхідних сигналів	Термометри опору, термопари, струм (0) 4 ... 20 мА, 0 ... 5 мА, напруга 0 ... 1 В, 0 ... 10 В, опір 0 ... 5 кОм. Підключення датчиків струму і напруги здійснюється безпосередньо і не вимагає узгоджувальних резисторів
Розрядність ЦАП	16 біт
Мінімальний час опитування всіх аналогових входів	1,5 с
Дискретні виходи	
Кількість дискретних виходів	4 е/м реле
Гальванічна розв'язка	На 1,5 кВ, індивідуальна
Аналогові виходи	
Кількість аналогових виходів	4
Розрядність ЦАП	10 біт
Наявність вбудованого джерела живлення	Загальне, гальванічно ізольоване (1,5 кВ)
Інтерфейси зв'язку	
Інтерфейси	Ethernet 10/100 Mbps, RS485, RS232
Протоколи	ОВЕН, Modbus RTU, Modbus ASCII, DCON, Modbus TCP, GateWay (протокол CoDeSys) Можливе підключення зовнішніх пристроїв з нестандартним протоколом
Програмування	
Середовище програмування	CoDeSys 2.3
Мови програмування	IL, ST, LD, SFC, FBD + додаткова мова CFC
Інтерфейс для програмування і налагодження	RS232, Ethernet
Вартість	2242 грн.

Також є вбудований годинник реального часу, вбудоване акумуляторне джерело резервного живлення. Існує можливість збільшення кількості сигналів введення і виведення за допомогою підключення модулів введення/виведення.

Модуль введення аналоговий ОВЕН МВА8 [29]

Таблиця 5.11 _ Технічні характеристики модуля введення аналогового ОВЕН МВА8

Живлення	
Напруга живлення	90...264 В зм. струму частотою 47...63 Гц
Споживана потужність	не більше 6 ВА
Входи	
кількість входів	8
Мінімальний час опитування одного входу	0,3 с
Мінімальний час опитування 8 входів	2 с
Напруга джерела живлення активних датчиків	24±3 В пост. струму
Максимальний струм навантаження джерела живлення активних датчиків	180 мА

Продовження таблиці 5.11

Максимальна напруга перевантаження на вході	15 В
Інтерфейс	
Тип інтерфейсу	RS-485
Максимальна довжина лінії зв'язку	1200 м
Протоколи передачі даних	ОВЕН; Modbus ASCII; Modbus RTU; DCON
Процесор	
Вбудований процесор	АТМega128
Таймер	сторожовий
Гальванічна ізоляція	
Допустима напруга ізоляції між входами і лінією інтерфейсу	1500 В
Корпус	
Тип корпусу	На DIN-рейку
Ступінь захисту корпусу	IP20
Вартість	795,60 грн.

Модуль виведення управляючий ОВЕН МУ110-220.16Р [29]

Технічні характеристики представлені в таблиці 4.10:

Таблиця 5.12 _ Технічні характеристики модуля виведення управляючого ОВЕН МУ110-220.16Р [29]

Напруга живлення	220 В зм. струму
Споживана потужність	не більше 6 ВА
кількість виходів	16
Тип інтерфейсу	RS-485
Максимальна швидкість обміну	115200 біт/с
Протоколи передачі даних	ОВЕН; Modbus ASCII; Modbus RTU; DCON
Тип корпусу	На DIN-рейку або стіну
Ступінь захисту корпусу	IP20
Вартість	919,20 грн.

Модуль виведення управляючий ОВЕН МУ110-220.8Р

Таблиця 5.13 – Технічні характеристики модуля виведення управляючого
ОВЕН МУ110-220.8Р [29]

Напруга живлення	220 В зм. струму
Споживана потужність	не більше 6 ВА
кількість виходів	8
Тип інтерфейсу	RS-485
Максимальна швидкість обміну	115200 біт/с
Протоколи передачі даних	ОВЕН; Modbus ASCII; Modbus RTU; DCON
Тип корпусу	На DIN-рейку або стіну
Ступінь захисту корпусу	IP20
Вартість	586 грн.

б) Програмований логічний контролер МІК-52 (ТОВ «Мікрол», Україна)

Компактний програмований МК призначений для автоматичного регулювання та логічного керування ТП в різних галузях (енергетичній, хімічній, машинобудівній, харчовій і т.п.). Застосовується для побудови керуючих та інформаційних систем автоматизації ТП різного рівня складності, а також для побудови окремих локальних і розподільних підсистем складних АСУТП.

Таблиця 5.14 _ Технічні характеристики програмованого логічного контролера МІК-52 [30]

Загальні відомості	
Конструктивне виконання	DIN 43700
Ступінь захисту корпусу	IP30
Напруга живлення	□220 В 50 Гц, =24 В
Ресурси	
Максимальне число функціональних блоків в програмі	99
Час циклу	Не більше 0,1 с
Обсяг пам'яті	ПЗП 128 кбайт, ОЗП 4 кбайта
Входи	
Кількість дискретних входів	До 35 логічний "0" - 0-7В; логічна "1" - 19-32 В

Продовження таблиці 5.14

Кількість аналогових входів	8 уніфікованих
Типи вхідних уніфікованих сигналів	0-5 мА ($R_H \leq 2\text{кОм}$); 0 (4) -20 мА ($R_H \leq 500\text{ Ом}$); 0-10 В ($R_H > 2\text{кОм}$)
Гальванічна ізоляція	Індивідуальна (по входу, живлення)
Період опитування одного каналу	не більше 0,1 с
Похибка вимірювання	0,2 %
Виходи	
Кількість аналогових виходів	До 4
Кількість дискретних виходів	До 37 транзистор СК: до 40В, 100мА; реле: до 220, 5А; - твердотільне реле: до 40В, 0.5ААС/ADC
Інтерфейси зв'язку	
Інтерфейси	RS485
Протоколи	Modbus RTU
Швидкість передачі	2400...921600 біт/с
Вартість	2155 грн.

Також є вбудований годинник реального часу з батареєю резервного живлення і існує можливість розширення кількості дискретних виходів шляхом підключення модулів розширення МР-51.

Порівнявши технічні характеристики програмних контролерів ПЛК154 и МІК-52, можна зробити висновок, що ПЛК154 при незначно більшій вартості має більший обсяг пам'яті, кількість інтерфейсів і протоколів з якими працює ПЛК, а також наявність середовища для програмування і можливість налагодження. Тому будемо використовувати промисловий контролер ОВЕН ПЛК154.

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 тривірневої структурної схеми автоматизованої системи сучасного виробництва, як однієї з найпоширеніших.[10]

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).

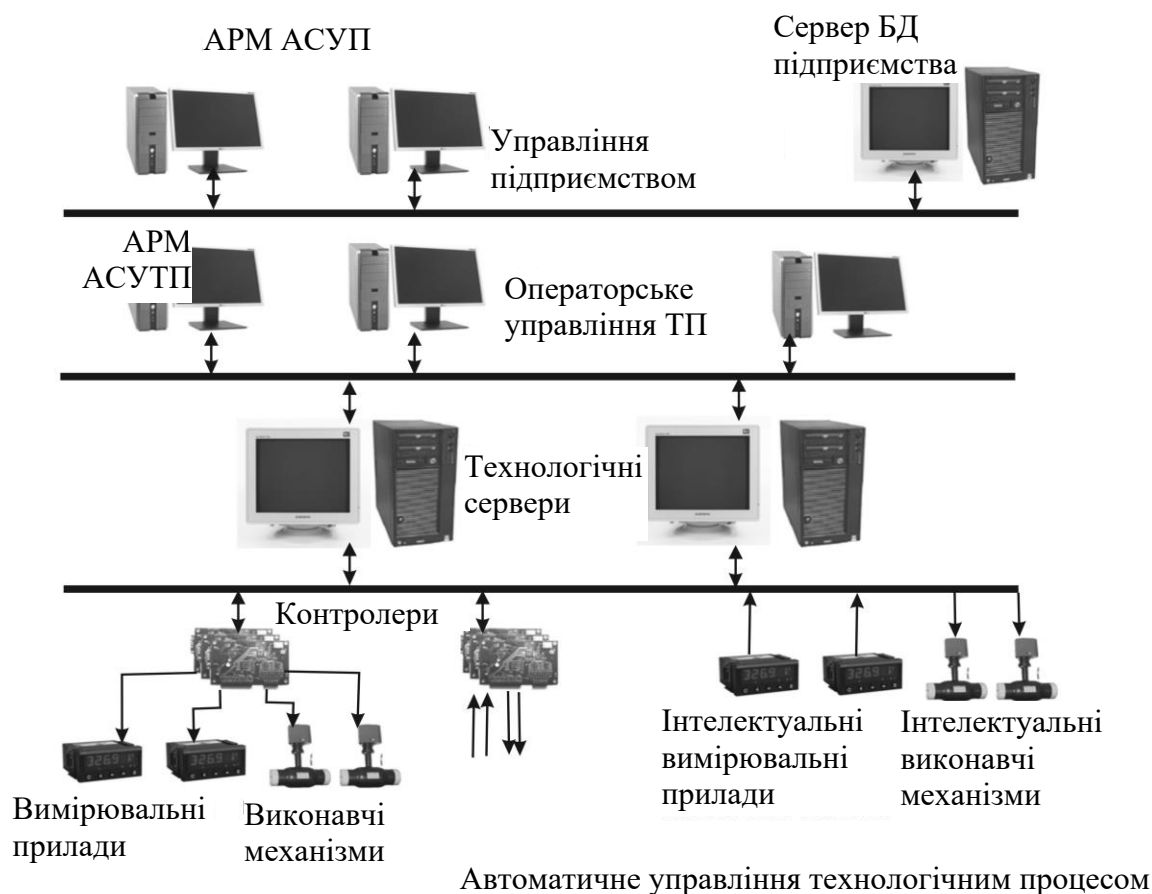


Рисунок 6.1 - Узагальнена структурна схема тривірневої автоматизованої системи управління сучасного виробництва

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.

Структурна схема системи управління представлена на рисунку 6.2 і в додатку Б.

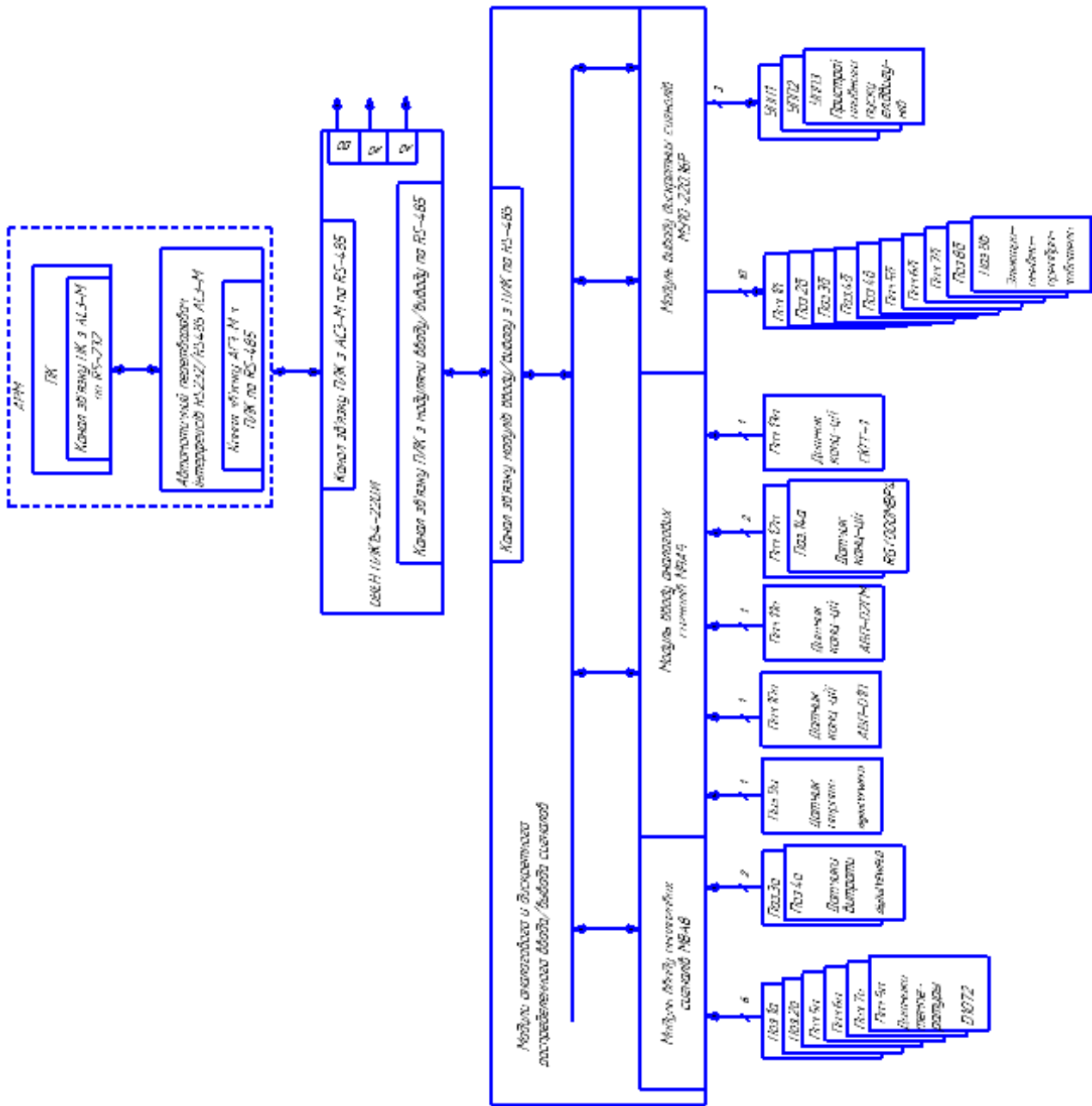


Рисунок 6.2-Структурна схема системи управління.

7 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

7.1 Ідентифікація об'єкта управління

Для розрахунку виберемо процес підтримки температури в трубчатому конверторі метану 4, як одного з основних процесів у виробництві двоступеневої конверсії метану. Об'єкт являє собою трубчастий конвертор безперервної дії, виконаний у вигляді трубчатого контактного апарату, в вертикально підвішених трубах з хромонікелевої жаротривкої сталі якого проводиться хімічна реакція перетворення парогазової суміші метану в моноокис вуглецю і водень при температурі на виході 700 °С. Температура підтримується спалюванням природного газу у навколотрубному просторі трубчатого конвертора.

Математична модель побудована за [2, 33].

Реакція протікає з виділенням тепла, кількість якого за одиницю часу визначається виразом:

$$Q = k \cdot q_p \quad (7.1)$$

де k - швидкість реакції, q_p - тепловий ефект від реакції.

Із рівняння хімічної кінетики Арреніуса

$$k(T) = k_0 \cdot e^{-E/R \cdot T} \quad (7.2)$$

де k_0 - передекспоненційний множник (фактор частоти), що залежить від числа зіткнень реагуючих молекул, E - енергія активації (кДж/кмоль), R - універсальна газова постійна (кДж/кмоль · К), T - абсолютна температура (°С);

можна визначити швидкість хімічної реакції.

Рівняння теплового балансу для конвертора може мати такий вигляд:

$$M \cdot c \cdot \frac{d}{dt} T = q_{cm} + Q \quad (7.3)$$

де M - маса конвертованого газу, c - теплоємність конвертованого газу, q_{cm} - тепловий потік від стінки трубопроводу конвертованого газу до стінки конвертору, який розраховується за такою формулою:

$$q_{cm} = a_{cm} \cdot S \cdot (T_{cm} - T) \quad (7.4)$$

де a_{cm} - коефіцієнт тепловіддачі від стінки трубопроводу конвертованого газу, S - площа тепловіддачі, T_{cm} - середня температура стінок трубопроводу конвертованого газу.

для визначення T_{cm} складаємо рівняння теплового балансу стінки трубопроводу конвертованого газу:

$$M_{cm} \cdot c_{cm} \cdot \frac{d}{dt} T_{cm} = q_n - q_{cm} \quad (7.5)$$

де M_{cm} - маса стінки, c_{cm} - теплоємність стінки, q_n - тепловий потік від конвертованого газу до стінки.

Залежність теплового потоку, переданого від конвертованого газу до стінки, пов'язана з температурою так:

$$q_n = a_n \cdot S \cdot (T_n - T_{cm}) \quad (7.6)$$

Підставимо (7.4) і (7.6) у (7.5).

$$q_n = a_n \cdot S \cdot (T_n - T_{cm}) \quad (7.6)$$

$$M_{cm} \cdot c_{cm} \cdot \frac{d}{dt} T_{cm} = a_n \cdot S \cdot (T_n - T_{cm}) - a_{cm} \cdot S \cdot (T_{cm} - T) \quad (7.7)$$

Із (7.7) виразимо T_{cm} :

$$T_{cm} = \frac{a_n \cdot S \cdot T_n + a_{cm} \cdot S \cdot T}{M_{cm} \cdot c_{cm} \cdot p + a_n \cdot S - a_{cm} \cdot S_{cm}} \quad (7.8)$$

де $p = \frac{d}{dt}$ - оператор диференціювання.

Підставимо (7.1) і (7.8) у (7.3) і отримаємо вираз для теплового балансу реакції конвертації метану в трубчатому конверторі через фізичні параметри газу і конвертора:

$$T \cdot (M \cdot c \cdot M_{cm} \cdot c_{cm} \cdot p^2 + (M \cdot c \cdot a_n \cdot S + a_{cm} \cdot S \cdot M \cdot c + a_{cm} \cdot S \cdot M_{cm} \cdot c_{cm} - \Phi \cdot M_{cm} \cdot c_{cm}) \cdot p + a_n \cdot S^2 \cdot a_{cm} - \Phi \cdot a_n \cdot S - \Phi \cdot a_{cm} \cdot S) = a_{cm} \cdot S^2 \cdot a_n \cdot T_n$$

Оскільки в рамках теорії активованого комплексу виходять відмінні від експоненційної залежності фактору частоти зіткнень від температури, але у всіх випадках більш слабкі, ніж експонента зростання (оцінки цього параметру показують, що зміна температури в діапазоні від 200 °С до 300 °С призводить до зміни частоти зіткнень на 10%), то маємо на незначну нелінійність.

Прийнявши допущення про незначність відхилення вихідної координати в процесі нормальної роботи від деякого початкового значення T_0 , проведемо лінеаризацію нелінійності, замінивши експоненційну характеристику числа зіткнень $k_0 \cdot e^{-E/RT}$ лінійною характеристикою методом розкладання в ряд Тейлора біля робочої точки T_0 .

Відкинемо, як малозначні члени розкладання другого і вище порядків:

$$f(T)\Big|_{T=T_0} = k_0 \cdot e^{-E/RT} \approx \frac{df(T)}{dT} \cdot T_0 = k_0 \cdot e^{-E/RT_0} \cdot \frac{E}{R \cdot T_0^2} \quad (7.9)$$

Лінійне диференціальне рівняння математичного опису теплового балансу набуває вигляду

$$\begin{aligned} & T \cdot (M \cdot c \cdot M_{cm} \cdot c_{cm} \cdot p^2 + (M \cdot c \cdot a_n \cdot S + a_{cm} \cdot S \cdot M \cdot c + a_{cm} \cdot S \cdot c_{cm} \cdot M_{cm} - k_0 \cdot q_p \cdot e^{-E/RT_0} \cdot \frac{E}{R \cdot T_0^2} \times \\ & \times M_{cm} \cdot c_{cm}) \cdot p + a_n \cdot S^2 \cdot a_{cm} - k_0 \cdot q_p \cdot e^{-E/RT_0} \cdot \frac{E}{R \cdot T_0^2} \cdot a_n \cdot S - k_0 \cdot q_p \cdot e^{-E/RT_0} \cdot \frac{E}{R \cdot T_0^2} \cdot a_{cm} \cdot S) = \\ & = a_{cm} \cdot S^2 \cdot a_n \cdot T_n \end{aligned}$$

Виконаємо формальну заміну змінних $T = y$, $T_n = u$ і підставивши

$$a_0 = M \cdot c \cdot M_{cm} \cdot c_{cm}$$

$$a_1 = M \cdot c \cdot a_n \cdot S + a_{cm} \cdot S \cdot M \cdot c + a_{cm} \cdot S \cdot c_{cm} \cdot M_{cm} - k_0 \cdot q_p \cdot e^{-E/RT_0} \cdot \frac{E}{R \cdot T_0^2} \cdot M_{cm} \cdot c_{cm}$$

$$a_2 = a_n \cdot S^2 \cdot a_{cm} - k_0 \cdot q_p \cdot e^{-E/RT_0} \cdot \frac{E}{R \cdot T_0^2} \cdot a_n \cdot S - k_0 \cdot q_p \cdot e^{-E/RT_0} \cdot \frac{E}{R \cdot T_0^2} \cdot a_{cm} \cdot S$$

$$K_u = a_{cm} \cdot S^2 \cdot a_n$$

Отримаємо диференціальне рівняння класичного вигляду

$$a_0 \cdot \frac{d^2 y}{dt^2} + a_1 \cdot \frac{dy}{dt} + a_2 \cdot y = K_u \cdot u \quad (7.10)$$

Виходячи з принципу суперпозиції для лінійних систем, на основі диференціального рівняння (7.10) отримуємо передатну функцію об'єкта управління

$$W(p) = \frac{K_u}{a_0 \cdot p^2 + a_1 \cdot p + a_2} \quad (7.11)$$

параметри об'єкта:

- маса конвертованої суміші $M = 989$ кг;
- маса стінки конвертора $M_{cm} = 1000$ кг;
- теплоємність конвертованої суміші $c = 18$ Дж/кг \cdot °C;
- теплоємність стінки конвертора $c_{cm} = 540$ Дж/кг \cdot °C;
- коефіцієнт тепловіддачі стінки конвертора $a_{cm} = 62.8$ Дж/с \cdot м 2 \cdot °C;
- площа тепловіддачі конвертованого газу $S = 9.42$ м 2 ;
- фактор частоти зіткнень $k_0 = 0.7$;
- енергія активації $E = 820$ кДж/кмоль;
- газова постійна $R = 8.31$ кДж/кмоль \cdot К;

- тепловий ефект $q_p = 112 \text{ Дж/кг}$;
- початкова температура $T(0) = 20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Коефіцієнти передатної функції з урахуванням зазначених даних:

$$a_0 = 989 \cdot 18 \cdot 1000 \cdot 540 = 1.933 \cdot 10^{10}$$

$$a_1 = 989 \cdot 18 \cdot 87.2 \cdot 9.42 + 62.8 \cdot 9.42 \cdot 1989 \cdot 18 + 62.8 \cdot 9.42 \cdot 540 \cdot 1000 - 0.7 \cdot 112 \cdot e^{-820/8.31 \cdot 17} \cdot \frac{820}{8.31 \cdot 289} \times$$

$$\times 1000 \cdot 540 = 3.7 \cdot 10^8$$

$$a_2 = 87.2 \cdot 88.74 \cdot 62.8 - 0.7 \cdot 112 \cdot e^{-820/8.31 \cdot 17} \cdot \frac{820}{8.31 \cdot 289} \cdot 87.2 \cdot 9.42 - 0.7 \cdot 112 \cdot e^{-820/8.31 \cdot 17} \cdot \frac{820}{8.31 \cdot 289} \times$$

$$\times 62.8 \cdot 9.42 = 4.858 \cdot 10^5$$

$$K_u = 62.8 \cdot 9.42 \cdot 87.2 = 4.859 \cdot 10^5$$

Передатна функція з урахуванням коефіцієнтів:

$$W_{oy}(p) = \frac{4.86 \cdot 10^5}{1.93 \cdot 10^{10} \cdot p^2 + 3.7 \cdot 10^8 \cdot p + 4.86 \cdot 10^5} = \frac{1}{3.97 \cdot 10^4 \cdot p^2 + 761 \cdot p + 1} \quad (7.12)$$

Проведемо моделювання об'єкта, використовуючи математичний пакет MatLab. Модель представлена на рис. 7.1.

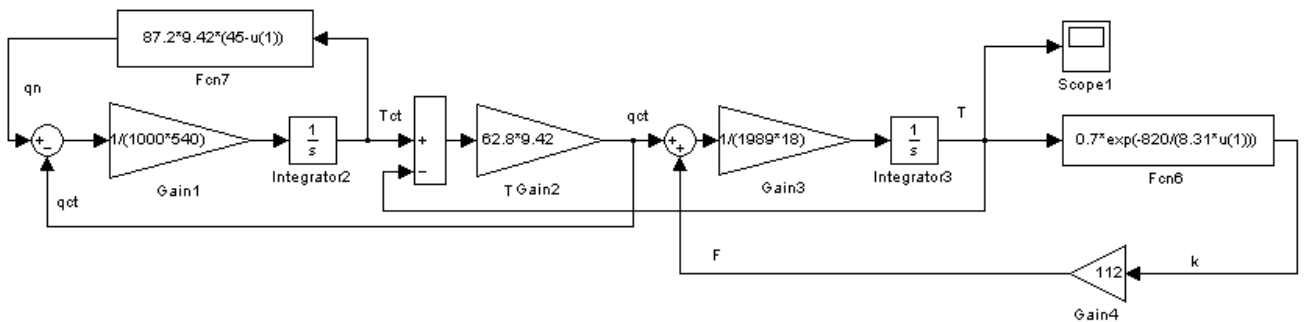


Рисунок 7.1 – Модель об'єкта управління

Перехідна характеристика об'єкта управління наведена на рис. 7.2.

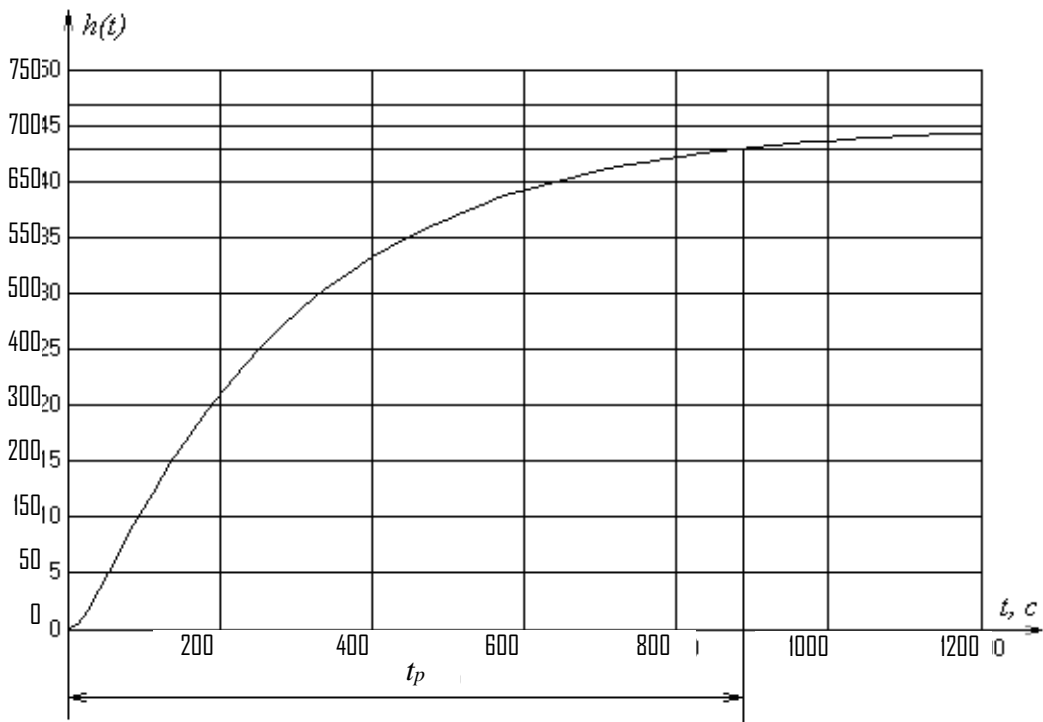


Рисунок 7.2 – Перехідна характеристика об'єкта управління, отримана в результаті моделювання.

Час перехідного процесу $t_p \approx 890$ с .

7.2 Розрахунок і вибір параметрів регулятора

7.2.1 Розрахунок налаштування П-регулятора [32]

Передатна функція П-регулятора $W_n(p)$ має лінійний закон, визначається коефіцієнтом передачі (посилення) регулятора k_n :

$$W_n(p) = k_n \tag{7.13}$$

Розрахунок регулятора проведемо методом визначення оптимальних параметрів за показником коливальності (метод В.Я. Ротача).

Для цього необхідно визначити межу області, в якій замкнута система управління буде мати запас стійкості не нижчий заданого показника коливальності $M \leq M_s$. При цьому вважається, що система автоматичного управління має необхідний запас стійкості, якщо її показник коливальності знаходиться в межах $M = 1.3 \dots 2.3$, що відповідає ступеню загасання $\psi = 0,95 \dots 0,75$. Вибираємо ступінь коливальності $M = 1.55$.

Частотна передатна функція об'єкта управління $W_{oy}(\omega)$:

$$W_{oy}(\omega) = \frac{1}{3.97 \cdot 10^4 \cdot (j \cdot \omega)^2 + 761 \cdot j \cdot \omega + 1} \tag{7.14}$$

Частотна передатна функція П-регулятора $W_p(\omega)$ визначається виразом

$$W_p(\omega) = k_p \quad (7.15)$$

Побудуємо амплітудофазочастотну характеристику розімкнутої системи $W(\omega) = W_n(\omega) \cdot W_{o0}(\omega)$, у математичному пакеті Mathcad і визначимо такий коефіцієнт передачі k_p , при якому ця характеристика дотикається до кола для заданого значення M . Результати побудови представлені на рис. 7.3.

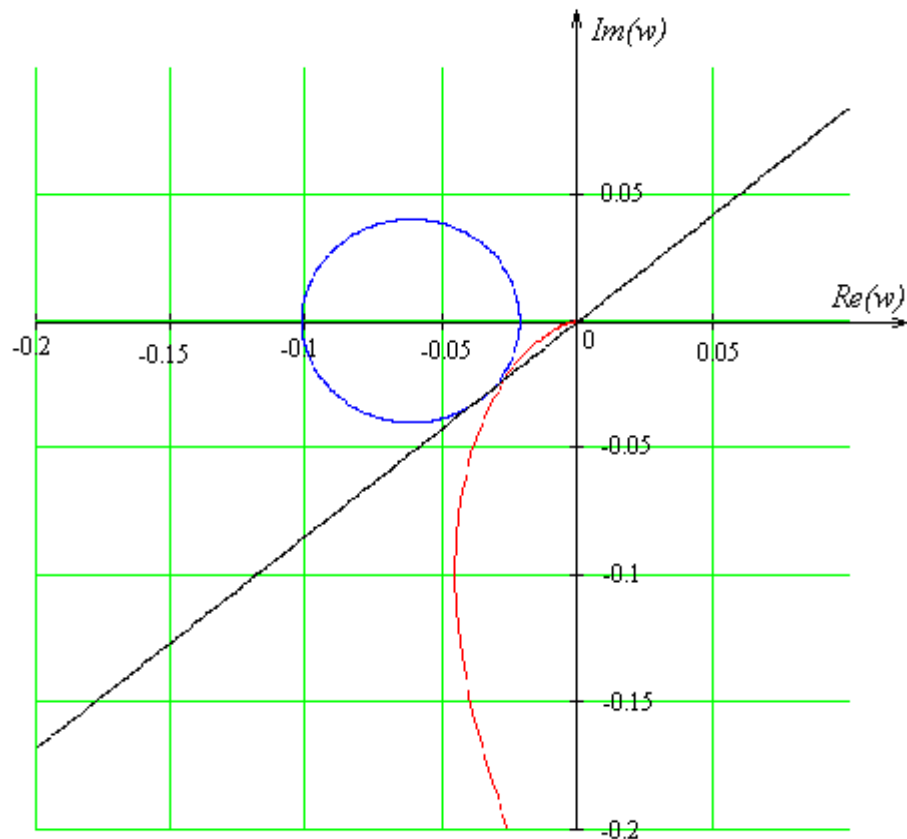


Рисунок 7.3 – АФЧХ розімкнутої системи і заборонена область

Величину коефіцієнта передачі П-регулятора визначаємо з виразу

$$k_p = \frac{M}{M^2 - 1} \cdot \frac{1}{r_{z.o.}} \quad (7.16)$$

де $r_{z.o.}$ – радіус кола забороненої області.

$$k_p = 27.585$$

Графік перехідної характеристики $h(t)$ замкнутої системи при оптимальних настройках регулятора представлений на рис. 7.4.

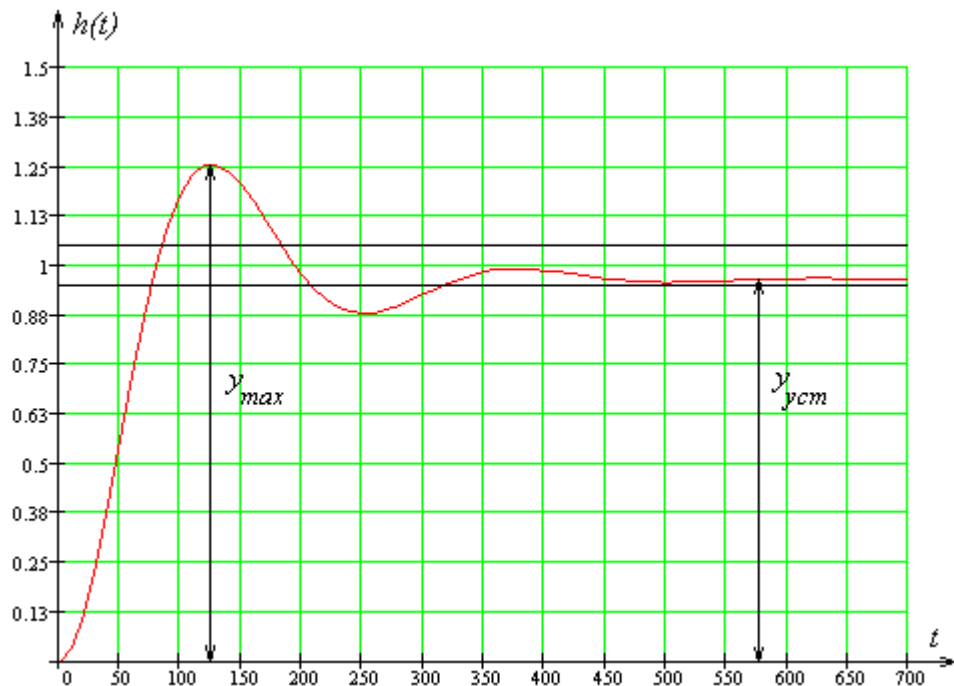


Рисунок 7.4 – Перехідна характеристика замкнутої системи при $k_n = 27.585$

Прямі показники якості, відповідно до отриманого графіка, такі:

- перерегулювання $\sigma = \frac{y_{\max} - y_{уст}}{y_{уст}} \cdot 100\% = \frac{1.25 - 1}{1} \cdot 100\% = 25\%$; (7.17)
- час перехідного процесу $t_p = 318$ c ; $t_p = 318$ c
- статична похибка 3% .

7.2.2 Розрахунок налаштувань ПІ-регулятора

Передатна функція ПІ-регулятора $W_p(p)$ має вигляд:

$$W_p(p) = k_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_i p}\right) \quad (7.18)$$

де k_p - коефіцієнт передачі (посилення) регулятора;

T_i - час ізодрому.

Частотна передатна функція ПІ -регулятора $W_p(\omega)$ визначається виразом

$$W_p(\omega) = k_p + \frac{1}{T_u \cdot j \cdot \omega} \quad (7.19)$$

Побудуємо сімейство АФЧХ розімкнутої системи $W(\omega) = W_p(\omega) \cdot W_{oy}(\omega)$ для різних значень часу ізодрому T_i в математичному пакеті Mathcad і визначимо такі коефіцієнти передачі k_p , при яких ці характеристики будуть дотикатися до кола для заданого значення М. Результати побудови представлені на рисунку 7.5.

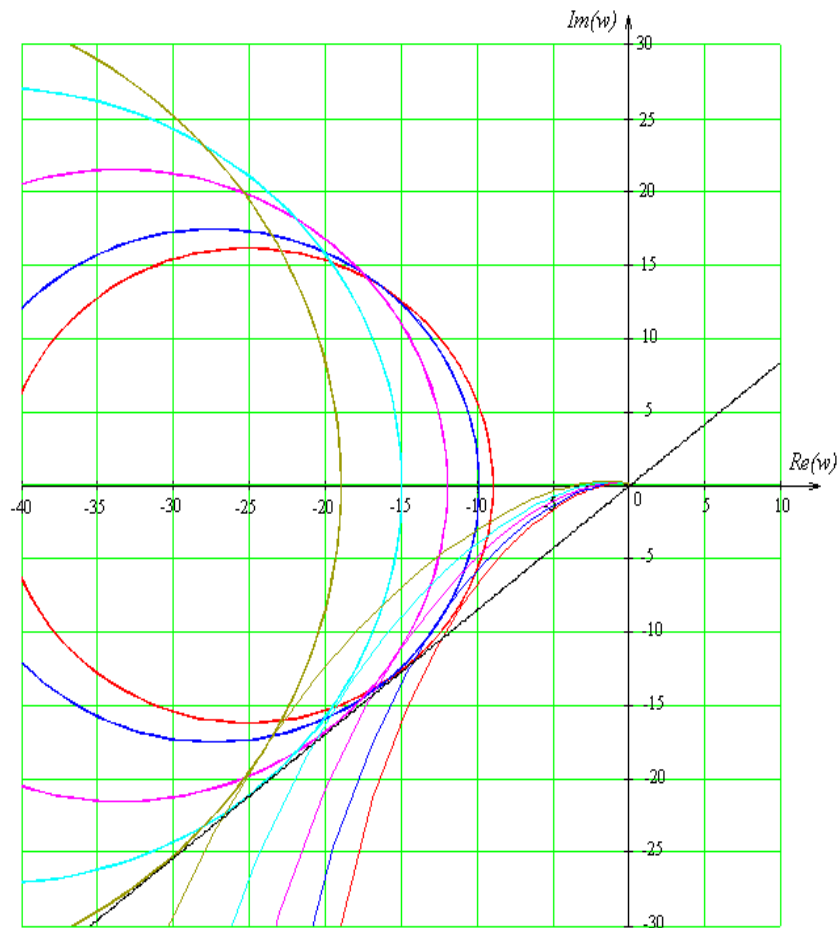


Рисунок 7.5 – Сімейство АФЧХ розімкнутої системи

Величини коефіцієнта посилення ПІ -регулятора визначаємо за формулою (7.16) для кожного значення T_i .

Отримані пари налаштувань зводимо в табл. 7.1.

Таблиця 7.1 – коефіцієнти настройки ПІ -регулятора

T_i	10	13	16	19	22	25	28	31	34	37	40	43
k_p	3,26	3,42	3,58	3,61	3,74	3,97	4,53	4,83	5,12	5,71	6,24	7,39

За результатами будемо графік залежності $k_p(T_i)$, поданий на рис. 7.7.

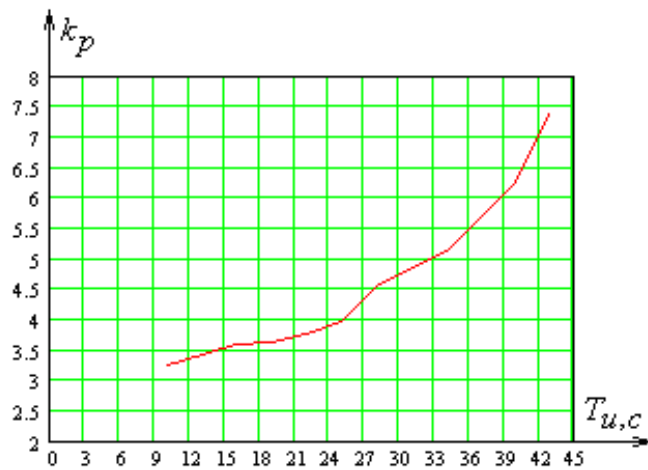


Рисунок 7.6 – Межа області заданого М

Для визначення того, яка пара налаштувань дає найкращі показники якості, будемо графіки перехідних характеристик замкнутої системи для декількох значень T_u ($T_u = 25 \text{ c}, T_u = 31 \text{ c}, T_u = 37 \text{ c}, T_u = 43 \text{ c}$). Результати подані на рис. 7.7.

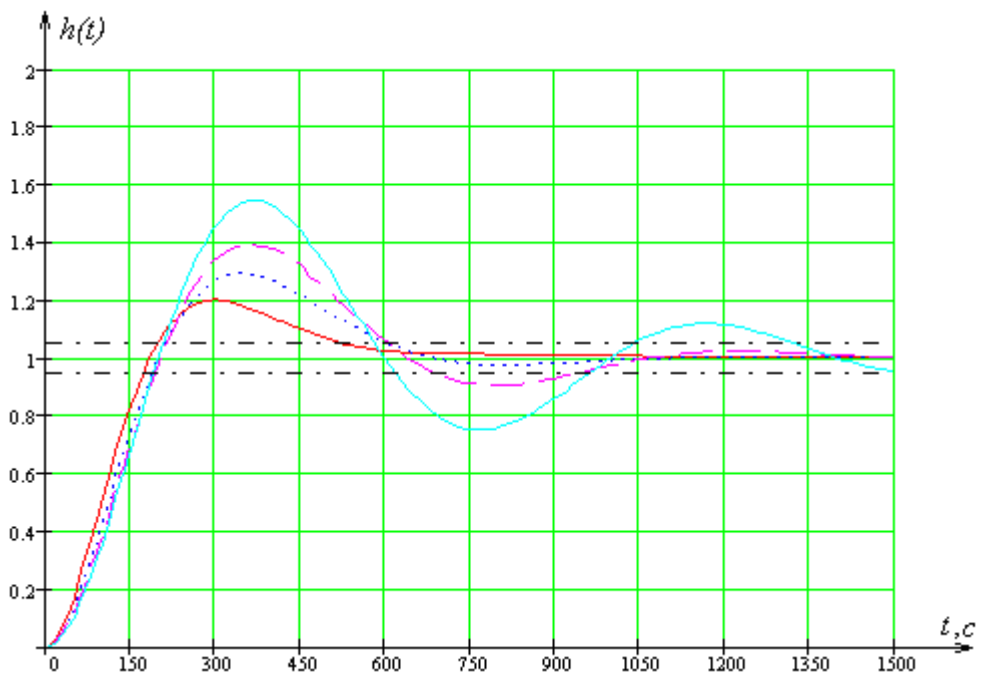


Рисунок 7.7 – Перехідні характеристики САУ для заданого М при різних значеннях часу ізодрому

Найкращі показники якості забезпечує пара налаштувань регулятора $k_p = 7,39, T_u = 43 \text{ c}$. Графік перехідної характеристики замкнутої системи при оптимальних налаштуваннях регулятора поданий на рис. 7.8.

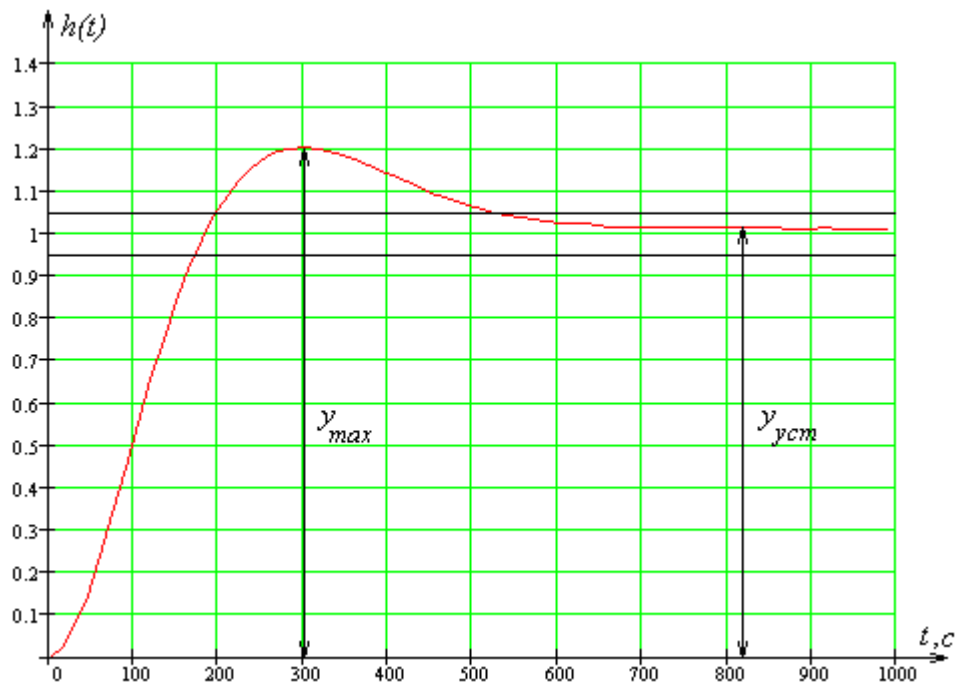


Рисунок 7.8 – Перехідна характеристика замкнутої системи при $k_p = 7,39$ $T_u = 43$ с

Прямі показники якості, відповідно до отриманого графіку, такі:

- перерегулювання $\sigma = \frac{y_{\max} - y_{уст}}{y_{уст}} \cdot 100\% = \frac{1,2 - 1}{1} \cdot 100\% = 20\%$;
- Час перехідного процесу $t_p = 540$ с .

7.2.3 Розрахунок налаштувань ПІД-регулятора [33, 34]

Передатна функція ПІД-регулятора $W_{нид}(p)$ визначається виразом

$$W_{нид}(p) = k \cdot \left(1 + \frac{1}{T_u \cdot p} + T_d \cdot p \right) \quad (7.19)$$

де k - коефіцієнт передачі (посилення) регулятора;

T_u - час ізодрому;

T_d - постійна часу диференціювання (час передування).

Формуємо частотну передатну функцію ПІД-регулятора $W_{нид}(\omega)$:

$$W_{нид}(\omega) = k + \frac{1}{T_u \cdot j \cdot \omega} + \alpha \cdot T_u \cdot j \cdot \omega \quad (7.20)$$

де $\alpha = \frac{T_d}{T_u}$

Для підвищення стійкості ПІД-регулятора до перешкод співвідношення між величиною часу ізодрому і часу передування вибираємо з умови

$$\frac{T_o}{T_u} < 0.25 \quad (7.21)$$

Прийmemo співвідношення таким, що дорівнює $\alpha = 0.2$.

Побудуємо сімейство АФЧХ розімкнутої системи $W(\omega) = W_{нюо}(\omega) \cdot W_{оо}(\omega)$ для різних значень часу ізодрому T_u , в математичному пакеті Mathcad.

Потім знаходимо такі коефіцієнти передачі k_p , при яких ці характеристики будуть дотикатися до кола для заданого значення M . Результати побудови подані на рис. 7.9.

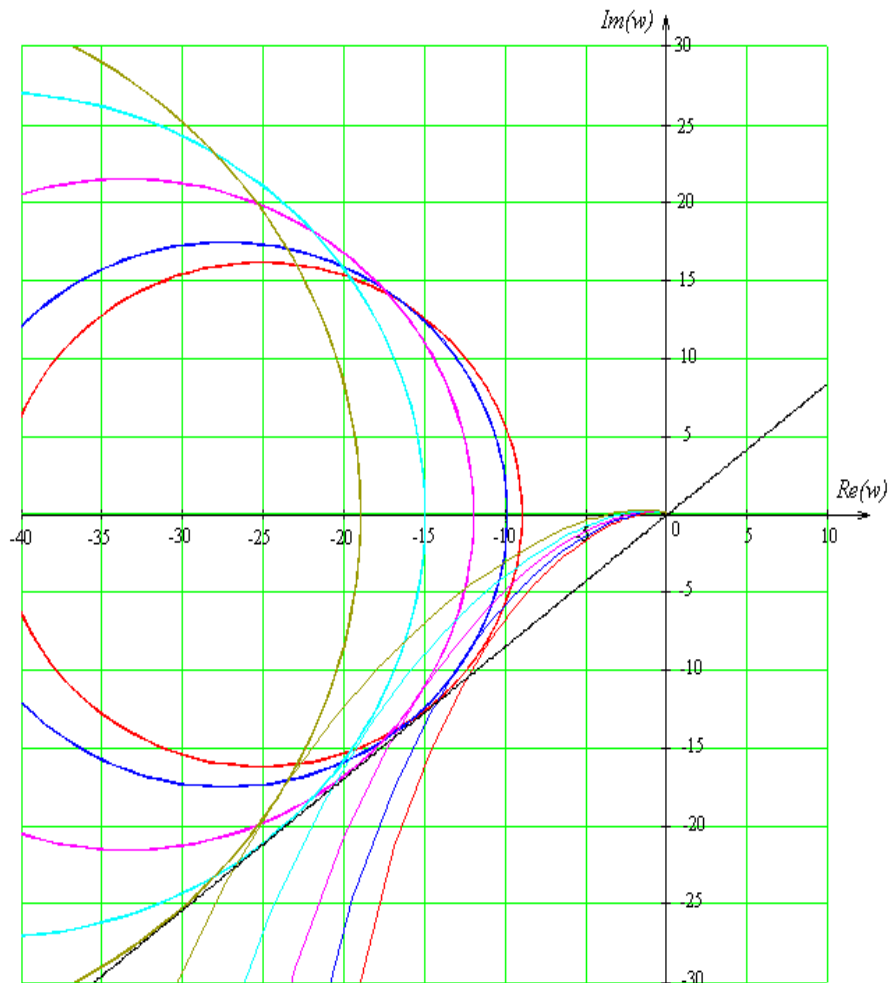


Рисунок 7.9 – Сімейство АФЧХ розімкнутої системи

Величину коефіцієнта передачі ПІД-регулятора визначимо за виразом (7.16) для кожного значення T_u .

Отримані налаштування зводимо в табл. 7.2:

Таблиця 7.2 – коефіцієнти налаштування ПІД-регулятора

T_u	10	13	16	19	22	25	28	31	34	37	40	43
T_o	2	2,6	3,2	3,8	4,4	5	5,6	6,2	6,8	7,4	8	8,6
k_p	3,29	3,46	3,61	3,63	3,72	3,95	4,54	4,83	5,13	5,69	6,22	7,41

За результатами побудуємо графік залежності $k_p(T_u)$, поданий на рис. 7.10.

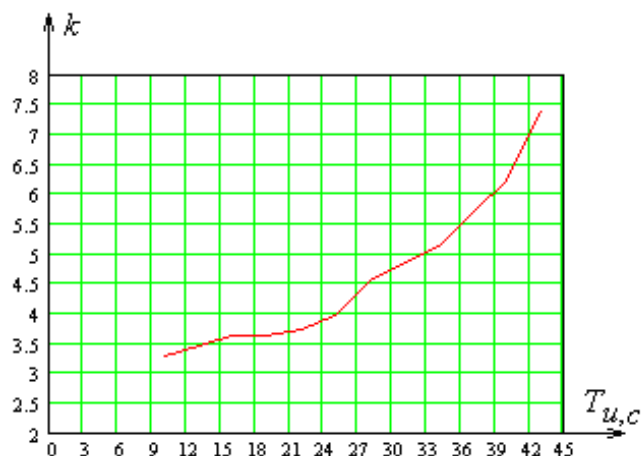


Рисунок 7.10 – Межа області заданого М

Для визначення того, які налаштування дають найкращі показники якості, побудуємо графіки перехідних характеристик замкнутої системи для декількох значень T_u ($T_u = 25 c, T_u = 31 c, T_u = 37 c, T_u = 43 c$). Результат подані на рис. 7.11.

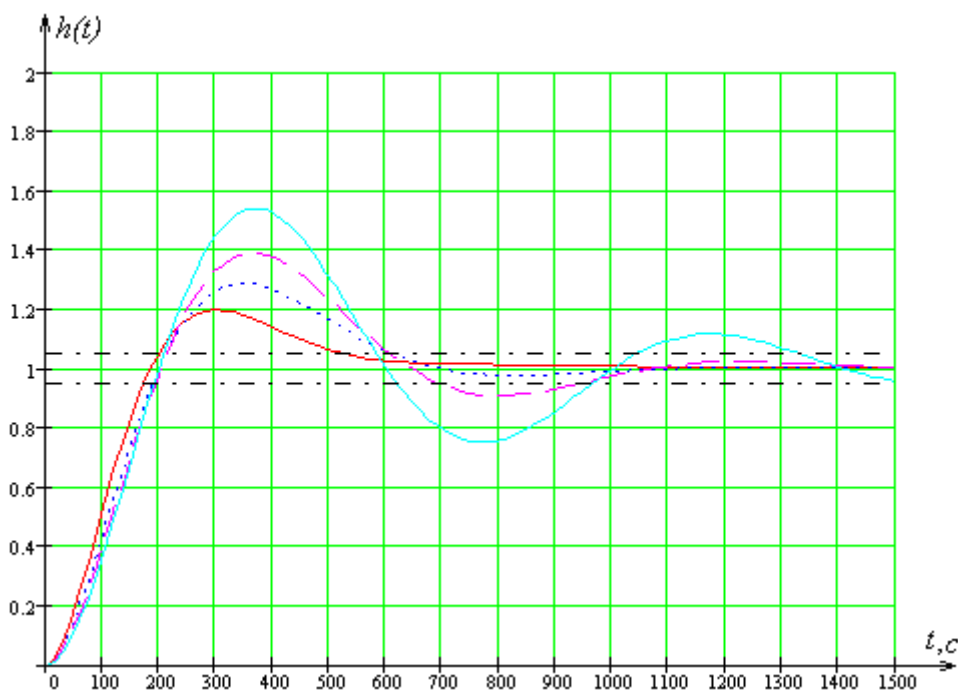


Рисунок 7.11 – Перехідні характеристики САУ для заданого М при різних значеннях часу ізодрому

Найкращі показники якості забезпечує пара налаштувань регулятора $k_p = 7,41, T_u = 43 c$. Графік перехідної характеристики замкнутої системи при оптимальних настройках регулятора поданий на рис. 7.12.

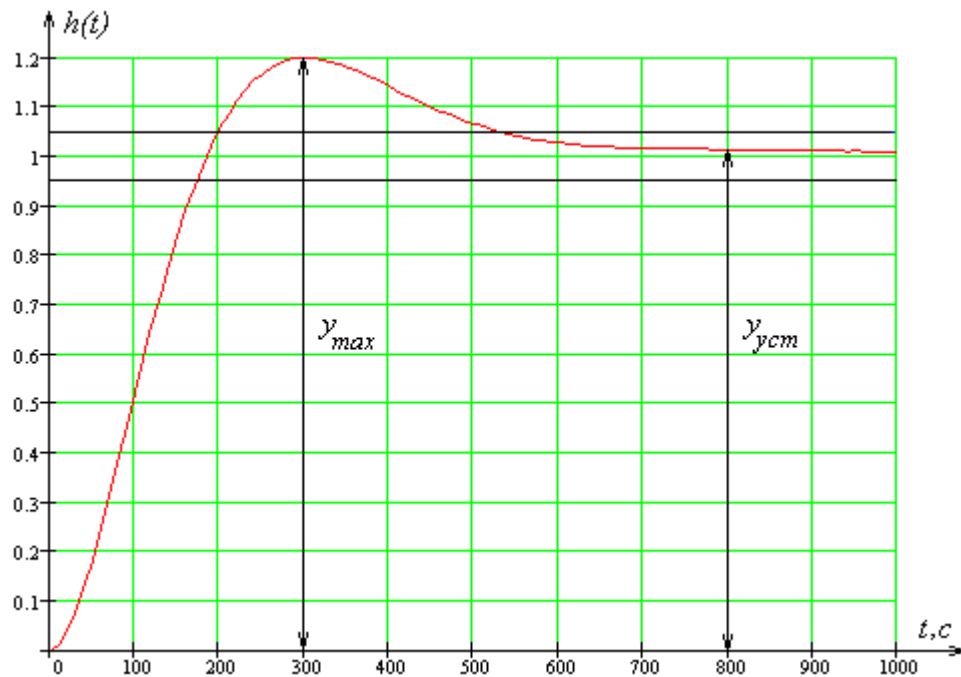


Рисунок 7.12 – Перехідна характеристика замкнутої системи при $k_p = 7,41 T_u = 43 c$

Прямі показники якості, відповідно до отриманого графіку, такі:

- перерегулювання $\sigma = \frac{y_{max} - y_{уст}}{y_{уст}} \cdot 100\% = \frac{1,2 - 1}{1} \cdot 100\% = 20\%$;
- час перехідного процесу $t_p = 535 c$.

Порівнюючи отримані результати, бачимо, що П-регулятор дає статичну помилку, а також перерегулювання 25%, що не задовольняє заданим умовам. ПІ-регулятор і ПД-регулятор дають результати, які відрізняються незначно. Оскільки ПД-регулятор більш чутливий до перешкод і складніший в реалізації, то для управління температурою в конверторі будемо використовувати ПІ-регулятор.

ВИСНОВОК

В роботі виконана оптимізація системи управління технологічним процесом двоступеневої конверсії метану. Виконано 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, структурна схема системи управління.

Розроблена математична модель об'єкта управління - трубчатого конвертора, отримана аналітично його передатна функція. Змодельована поведінка ОУ у середовищі MathLab.

За допомогою пакету Mathcad проведені розрахунки контуру управління температурою в трубчатому конверторі. Обраний оптимальний закон регулювання та визначені параметри регулятора.

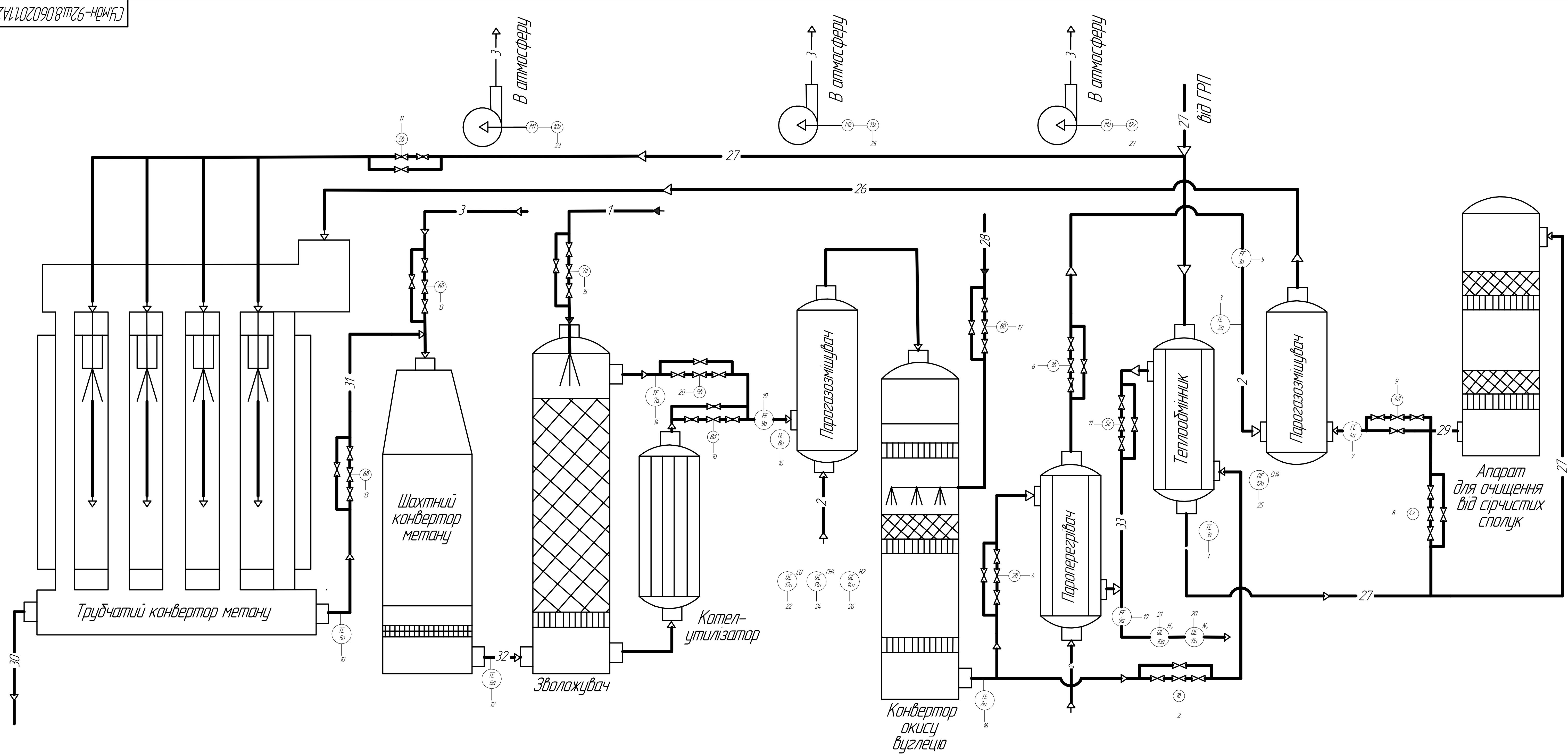
Література

1. Общая химическая технология. Под редакцией доктора технических наук профессора И.П.Мухленова. Издательство «Высшая школа». Москва 1964.
2. В.А. Голубятников, В.В. Шувалов Автоматизация производственных процессов в химической промышленности, – М.: Химия, 1972. – 248с.
3. Process Control of Technological Processes – 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 04.10.2020).
4. Проектування систем автоматизації: Навч. пос. / М.С. Пушкар, С.М. Проценко, 2013.- 268 с.
5. V.R. Mehta and Y.J. Reddy Industrial Process Automation Systems. Design and Implementation / book (2015) [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://www.sciencedirect.com/book/9781437778076/advanced-industrial-control-technology> (дата звертання 05.10.2020).
6. ISO 15746-1:2015(en) Automation systems and integration — Integration of advanced process control and optimization capabilities for manufacturing systems — Part 1: Framework and functional model [Електронний документ]. – Режим доступу
<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:15746:-1:ed-1:v1:en> (дата звертання 06.10.2020).
7. John E Edwards, David W Otterson Tech Talk: (2) Process Control Basics [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0020294014534205a> (дата звертання 09.10.2020).
8. Trevathan, Vernon L A Guide to the Automation Body of Knowledge (2nd Edition) / (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%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 10.10.2020)
9. Контроль та автоматичне регулювання хіміко-технологічних процесів: Навч. пос. / Л. П. Ларичева, М. Д. Волошин, О. П. Луценко, 2015.-291 с. [Електронний документ]. Систем. вимоги: Adobe Acrobat Reader. / – Режим доступу:
<http://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/5/7/2-7-b5.pdf> (дата звертання 18.10.2020)

10. Автоматизация виробничих процесів: Підручник. / І.В. Ельперін, О.М. Пупена, В.М. Сідлецький, С.М. Швед. — К.: Видавництво Ліра-К, 2015— 340 с.
11. <https://controlengrussia.com/apparatnye-sredstva/sensory-i-datchiki/termometr-soprotivlenija-ili-termopara/> [Електронний ресурс]. (дата звертання 22.10.2020)
12. Термометры сопровитлений [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.tesey.com/documents/stati/stati_17.html (дата звертання 02.11.2020)
13. Приборы для измерения температуры SITRANS [Електронний ресурс]. Систем. вимоги: Adobe Acrobat Reader. / – Режим доступу: <http://tekhar.com/Programma/Siemens/KIPiA/Sensors/temperature/pdf/FI01-08%20Thermoresistance.pdf> (дата звертання 04.11.2020)
14. Цифровые устройства семейства ZETSENSOR [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://tikrg.kz/catalog/tsifrovye-datchiki-temperature-s-interfeysom-rs-485-i-can-2-0/tsifrovoy-termodatchik-zet-7020.html> (дата звертання 04.11.2020)
15. Преобразователь для датчиков температуры D1072D, [Електронний документ] Систем. вимоги: Adobe Acrobat Reader. / Режим доступу: <https://www.tme.com/Document/4aba401ea8a47e04a91c4dcfdcbca031/D1072-RU.pdf>, (дата звертання 04.11.2020).
16. Измерение расхода жидкости, газа и пара /Обзор, [Електронний документ] Систем. вимоги: Adobe Acrobat Reader. / Режим доступу: <https://portal.endress.com/wa001/dla/5000581/9936/000/01/FA00005D.pdf> (дата звертання 04.11.2020).
17. Серия расходомеров Annubar, [Електронний документ] Систем. вимоги: Adobe Acrobat Reader. / Режим доступу: <https://www.emerson.com/documents/automation/%D0%BB%D0%B8%D1%81%D1%82-%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D1%85-%D0%B4%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D1%85-сер%D0%B8%D1%8F-расхо%D0%B4%D0%BC%D0%B5%D0%B2-annubar-rosemount-ru-ru-89616.pdf> (дата звертання 06.11.2020).
18. Продукты Yokogawa, [Електронний ресурс] / Режим доступу: http://www.yokogawa.ru/products/kip/vortex_flowmeters/digitalyewflo/ (дата звертання 07.11.2020).
19. Расходомер вихревой Prowirl F 200 [Електронний ресурс] / Режим доступу:
20. <https://www.ru.endress.com/ru/Tailor-made-field-instrumentation/Flow-measurement-product-overview/Proline-Prowirl-F200>

21. Принципы работы датчиков в газоанализаторе, [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.rikenkeiki.ru/for-clients/useful/printsip-raboty-datchikov-v-gazoanalizatore/> (дата звертання 07.11.2020).
22. Датчик высоких концентраций водорода высокотемпературный ТП-Н2, [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://ukrsensor.com/p391916127-datchik-vysokih-kontsentratsij.html> / (дата звертання 07.11.2020).
23. Анализатор Водорода Промышленный АВП-01, [Электронный документ] Систем. вимоги: Adobe Acrobat Reader. / Режим доступа: https://www.gazoanalizators.ru/tech/avp-01_re.pdf / (дата звертання 08.11.2020).
24. АВП-02ГМ газоанализатор водорода переносной, [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.gazoanalizators.ru/AVP-02GM.html> / (дата звертання 10.10.2020).
25. СТГ-1 - сигнализатор токсичных и горючих газов, [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://www.analitpribor-smolensk.ru/products/kom_hozyaistvo/kotelnie/stg_1_signalizator_gazov/ (дата звертання 08.11.2020).
26. Сигнализатор Seitron RGY000MBP4, [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.vdgu.ru/catalog/signalizatory/seitron/849.html> / (дата звертання 09.11.2020).
27. Газоанализаторы азота, [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.gazoanalizators.ru/gazoanalizatory-azota.html> / (дата звертання 10.10.2020).
28. Каталог продукции . Регулирующие клапаны Samson, [Электронный документ] Систем. вимоги: Adobe Acrobat Reader. / Режим доступа: <http://www.samson.ru/upload/catalog2020.pdf> (дата звертання 10.11.2020).
29. Каталог. Средства автоматизации ОВЕН, [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://owen.ru/catalog> (дата звертання 11.11.2020).
30. Каталог. Продукція фірми Мікрол, [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.microl.ua/index.php?option=com_virtuemart&Itemid=71 (дата звертання 13.10.2020).
31. Электропневматический преобразователь Fisher™ 846, , [Электронный документ] Систем. вимоги: Adobe Acrobat Reader. // Режим доступа: <https://www.emerson.com/documents/automation/instruction-manual-%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%BD%D0%B5%D0%B2%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5-%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BE>

- D0%B2%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D0%B8-fisher-846-846-current-to-pressure-transducers-russian-ru-135430.pdf (дата звертання 15.10.2020).
32. А.И. Бояринов, В.В. Кафаров Методы оптимизации в химической технологии, – М.: Химия, 1969. – 564с.
 33. Худoley Г.М. Конспект лекцій і практик з ТАУ, 2015.
 34. 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 20.11.2020)
 35. Anatomy Of A Feedback Control System) [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
https://www.csimn.com/CSI_pages/PIDforDummies.html (дата звертання 21.11.2020)
 36. Kiam Heong Ang, G. Chong PID Control System Analysis, Design, and Technology) [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
https://www.csimn.com/CSI_pages/PIDforDummies.html (дата звертання 22.11.2020)
 37. PID_Control_System_Analysis_Design_and_Technology [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
https://www.researchgate.net/publication/3332664_PID_Control_System_Analysis_Design_and_Technology (дата звертання 23.11.2020)
 38. PID Theory Explained [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ni.com/ru-ru/innovations/white-papers/06/pid-theory-explained.html>
https://www.csimn.com/CSI_pages/PIDforDummies.html (дата звертання 23.11.2020)
 39. ДСТУ Б А.2.4-3:2009 Національний стандарт України. Правила виконання робочої документації автоматизації технологічних процесів.
 40. Інструктивні вказівки до виконання курсових і дипломних проектів з напрямку підготовки «Системна інженерія» і спеціальності «Комп'ютеризовані системи управління і автоматика», – Суми.: СумДУ, 2013. – 69 с.



Лист № докум.
 Серія №
 Периодичність
 Дата
 Підпис і дата
 Підпис і дата
 Підпис і дата
 Підпис і дата

Прилади місцеві	Позначення																										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Прилади щиті	77/80	77/28	71/30	71/42	71/46	77/50	77/62	77/70	77/80	77/88	NS/120	NS/120	NS/120	NS/120	NS/120	NS/120	NS/120	NS/120	NS/120	NS/120	NS/120	NS/120	NS/120	NS/120	NS/120	NS/120	NS/120
Контролер OVEH 154	AI	DI	AO	DO																							
ПК	RS-485	RS-232																									

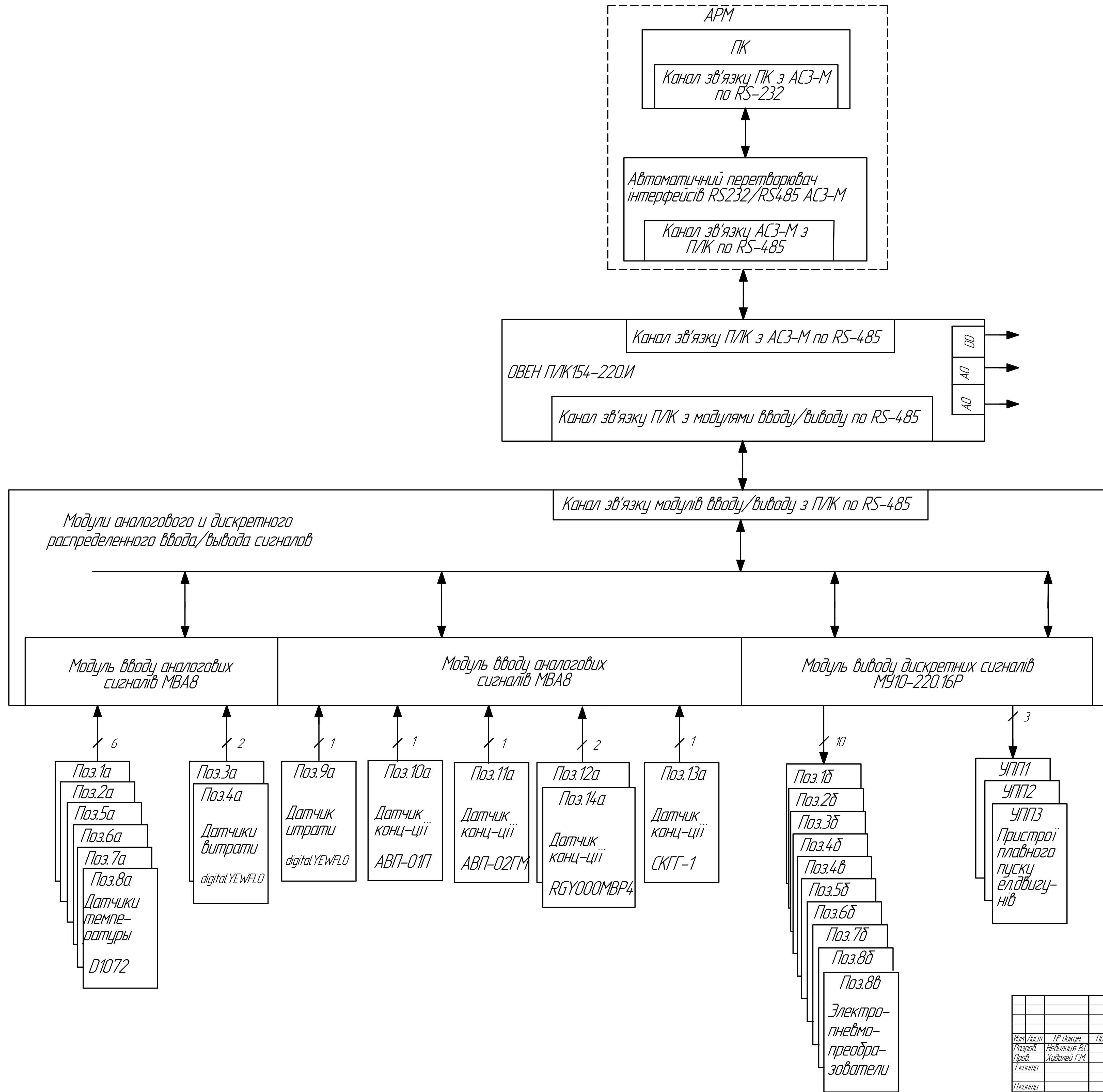
Позначення	Найменування
- 1 -	Вода
- 2 -	Пара
- 3 -	Повітря
- 26 -	Парогазова суміш
- 27 -	Природний газ
- 28 -	Конденсат
- 29 -	Очищений природний газ
- 30 -	Топкові гази
- 31 -	Газ 1-ої ступені конверсії
- 32 -	Газ 2-ої ступені конверсії
- 33 -	Конвертований газ

СУмдН-92ш.8.060201.1А2					
Відк. Лист	№ док.м.	Підп.	Дата	Лист	Масштаб
Разрід.	Недільця В.С.			4	
Проб.	Хиділей Г.М.			Лист	Листів 1
Т.контр.				ШСумДЧ	
Н.контр.				гр. СУмдН-92Ш	
Узд.	Хиділей Г.М.			Формат А1	

Оптимізація управління технологічним процесом двоступеневої конверсії метану

Схема функціональна

Копірабат



				СЧМДН-92ш.8.0602011А1				
Вір.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Оптимізація управління технологічним процесом одноступеневої конденсації метану	Лист	Масштаб	Масштаб
Розроб.	Худяков Г.М.					у		
Проб.	Худяков Г.М.					Лист	Листов	1
Т.контр.								
Н.контр.								
Утв.	Худяков Г.М.							
Схема структурна						СЧМДН-92ш		
Копіював						Формат А1		

Перв. примірник
Сторінка №
Листів у ділянці
Всього листів №
Листів у ділянці
Лист №