

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

_____ Худолей Г.М.

«__»_____20.... р.

Бакалаврська робота на тему:
«Система управління технологічним процесом
очищення конвертованого газу
від CO₂ гарячим розчином поташу»

Керівник роботи:
(к.т.н., асистент)

Андрусенко О.О.

Бакалаврант:
студент групи СУз-71Ш

Кириченко О. П.

Шостка – 2021 р.

ВСТУП

Для видалення з азотоводнової суміші оксидів вуглецю застосовують абсорбційні, адсорбційні та каталітичні методи очищення.

Спосіб очищення від CO_2 визначається технологічною схемою виробництва. Спочатку широке поширення набула схема водного очищення під тиском. Основний її недолік велика витрата електроенергії внаслідок низької розчинності CO_2 у воді. Як правило, після водної промивки потрібно доочищення газу іншими способами, наприклад розчином лугу.

В даний час найбільш широко застосовують процеси очищення від CO_2 розчинами моноетаноламіну (MEA) і поташу (K_2CO_3). Ці хемосорбенти мають високу ємність і селективність. Їх недолік - велика витрата теплоти на 1 м^3 газу, що очищається при високій концентрації діоксиду вуглецю в вихідній суміші.

У газовій і нафтогазовій промисловості автоматизація знаходиться на досить високому рівні. Продукція газопереробної і нафтопереробної галузей мають чи не найбільше поширення в світі поряд з продукцією металургії. Але небезпечність і шкідливість виробництва, вимоги захисту довкілля від викидів потребують більш досконалих технологічних процесів переробки. 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.

До конвертованого газу (інакше синтез-газу) виявляються підвищені вимоги зі зменшення домішок, які впливають на його якість. В світі посилюються заходи з декарбонізації в енергетиці, транспорті і побуті з метою зменшення викидів парникових газів. Очищення конвертованого газу від CO_2 гарячим розчином поташу є однією з технологій отримання сировини для виробництва мінеральних добрив і синтетичних матеріалів з природного газу. Наразі актуальність роботи тим більш зростає і через те, що Україна підписала Паризьку кліматичну угоду, за яким необхідно декарбонізувати викиди в атмосферу - необхідно переходити на безвуглецеве паливо, наприклад, водень. Тому завдання більш оперативного, точного та безаварійного автоматизованого управління має велике значення для технологічного процесу отримання водню з природного газу.

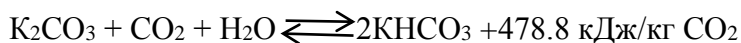
У бакалаврській роботі виконана розробка автоматизації технологічного процесу технологічним процесом очищення конвертованого газу від CO₂ гарячим розчином поташу, обрані засоби автоматизації, сучасні керуючі пристрої, що забезпечують нормальний хід цього процесу з використанням різних автоматичних пристроїв контролю, регулювання, сигналізації та ін., а також автоматизоване керування пуском і зупинкою обладнання для проведення ремонтних робіт і у критичних ситуаціях.

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

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

1 КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

Очищення гарячими активованими розчинами поташу. В основі методу лежить оборотна реакція:



Процес ведуть при підвищених температурах, так як при цьому зростає розчинність поташу у воді і збільшується швидкість хемосорбції.

Було показано, що швидкість поглинання CO_2 гарячим розчином поташу істотно зростає при введенні в нього деяких добавок. Застосовувані раніше в якості добавок сполуки миш'яку (III) в даний час не використовуються внаслідок їх токсичності. Широке поширення отримала очищення гарячим розчином поташу з добавкою діетаноламіну (ДЕА). Найбільш ефективний водний розчин, що містить 25-28% K_2CO_3 і 1,5-2% ДЕА. Для зменшення корозії в розчин додають оксид ванадію, вміст якого становить частки відсотка.

Технологічна схема очищення показана на рис. 1.1[1] Це спрощений варіант двопотокової схеми, що застосовується в агрегатах синтезу аміаку потужністю 1360 т/добу.

Конвертований газ I, що містить 17- 18% CO_2 під тиском 2,8 МПа і при температурі близько 80 °С надходить через шар гарячого розчину поташу у нижню частину абсорбера 1, що зрошується груборегенованим розчином IV і розчином, який пройшов верхню секцію абсорбера. У нижній секції газ очищається до 1,7-2% CO_2 і направляється в верхню секцію, що зрошується глибокореженованим розчином III. Тут газ очищається до кінцевого вмісту діоксиду вуглецю не вище 0,1%. Звільнений від CO_2 газ проходить сепаратор 2, де частинки розчину, захоплені газовим потоком, сепаруються і повертаються в цикл розчину, а газ направляється на метанування.

Абсорбер є двокорпусним вертикальним апаратом, заповненим насадкою. Верхні полиці верхніх секцій обладнані розподільними пристроями на виході газу. Насичений розчин з нижньої частини абсорбера за рахунок перепаду тиску в абсорбера і регенераторі через гідравлічну турбіну виводиться на регенерацію.

Десорбція CO_2 із насиченого розчину відбувається при зниженні тиску в гідравлічній турбіні 9 з 2,8 до 0,65 МПа і підводі тепла в регенератор при кип'ятінні розчину по реакції



Регенератор представляє собою двокорпусний вертикальний апарат, завантажений по полицях аналогічними, як і в абсорбера насадками. Не менш 80% насиченого розчину регенерується проходячи верхні секції регенераторів до зниження масової частки CO_2 до 24 м³ CO_2 /м³ розчину - (45% ступінь конверсії K_2CO_3 в KHCO_3). Цей потік називається «напівбідним» (груборегенованим) розчином. Після верхньої секції регенератора потік груборегенованого

розчину IV направляється у повітряний холодильник, де розчин охолоджується до 90-95 °С і подається в нижню секцію абсорбера..

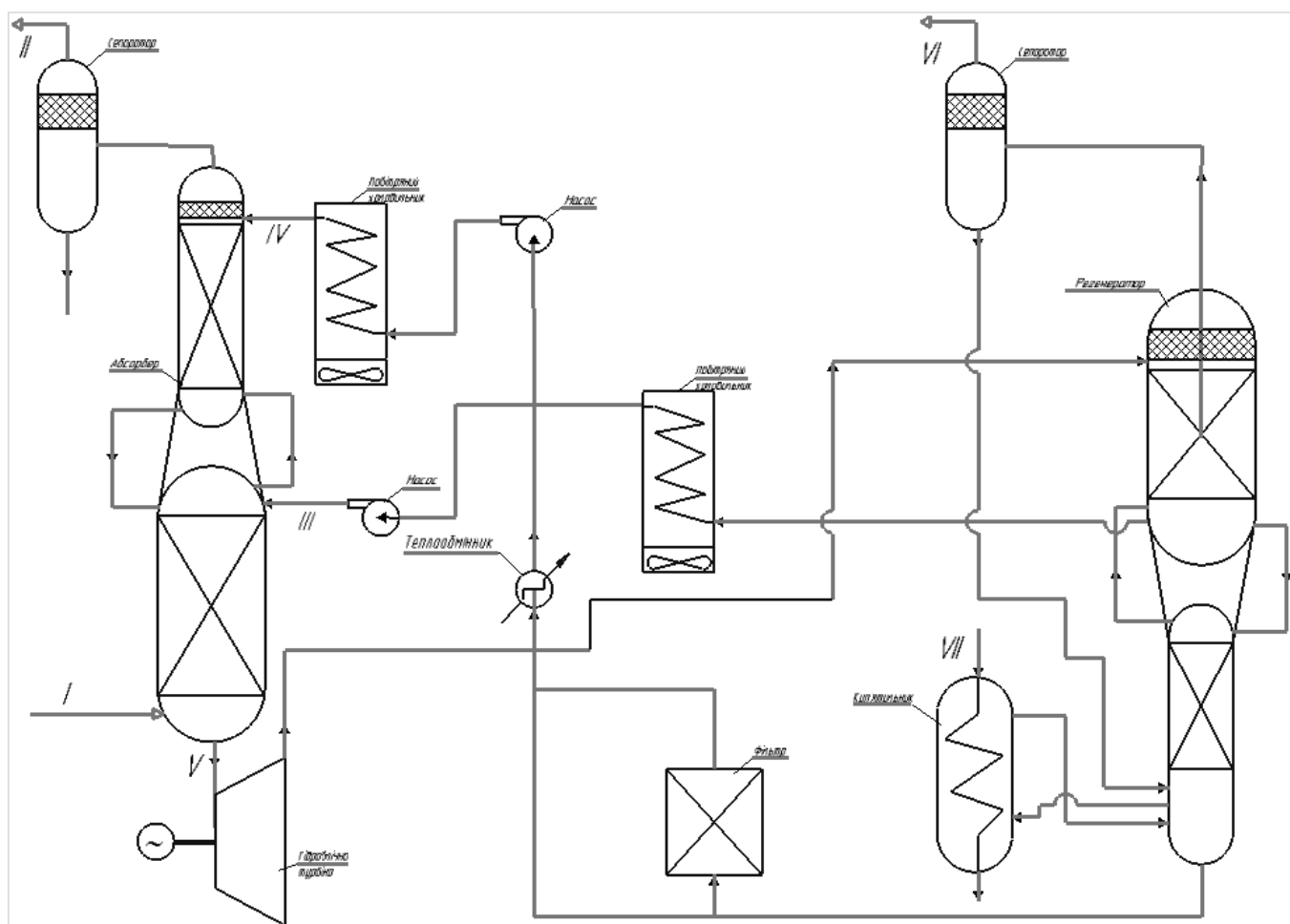


Рис. 1.1. Схема очищення від CO₂ гарячим розчином поташу: I - конвертований газ; II- очищений від CO₂ газ; III - глибокорегенований розчин; IV - груборегенований розчин; V- насичений розчин; VI- діоксид вуглецю; VII – теплоносій.

Не менше 20% від загального обсягу насиченого розчину піддається більш глибокій регенерації в нижній частині регенератора. Тепло, необхідне для регенерації, підводиться шляхом циркуляції розчину по тракту через кип'ятильник 5. Тиск в кубі регенератора складає 0,17 МПа. Після нижньої частини регенератора глибокорегенований розчин III має температуру 119 °С. Цей потік самопливом надходить в теплообмінник 7, де охолоджується до 94 °С і повітряний холодильник 3, в якому охолоджується до 60-80 °С і далі поступає на зрошення верхньої секції абсорбера.

Близько 2% від загального потоку розчину проходить безперервну фільтрацію на активному вугіллі у фільтрі 6. Діоксид вуглецю в суміші з водяною парою при температурі приблизно 102 °С виходить з регенератора, охолоджується, відділяється в сепараторі 2 від бризок розчинника і або використовується у виробництві, або викидається в атмосферу.

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

Будь-який технологічний процес виробництва характеризується рядом основних і допоміжних матеріальних і енергетичних потоків, які визначають кількісні і якісні показники технологічного процесу та відповідні показники готової продукції. Зважаючи на те, що якісні показники продукції в режимі реального часу контролювати не завжди можна, їхні значення досягаються шляхом підтримання показників матеріальних потоків і параметрів середовища обробки (реакцій) матеріалів (реагентів). Тому для наочного уявлення матеріальних, енергетичних потоків і пов'язаних з ними інформаційних потоків між складовими в технологічному процесі очищення конвертованого газу від CO_2 гарячим розчином поташу має істотне значення схема матеріально- інформаційних потоків (рис. 2.1).

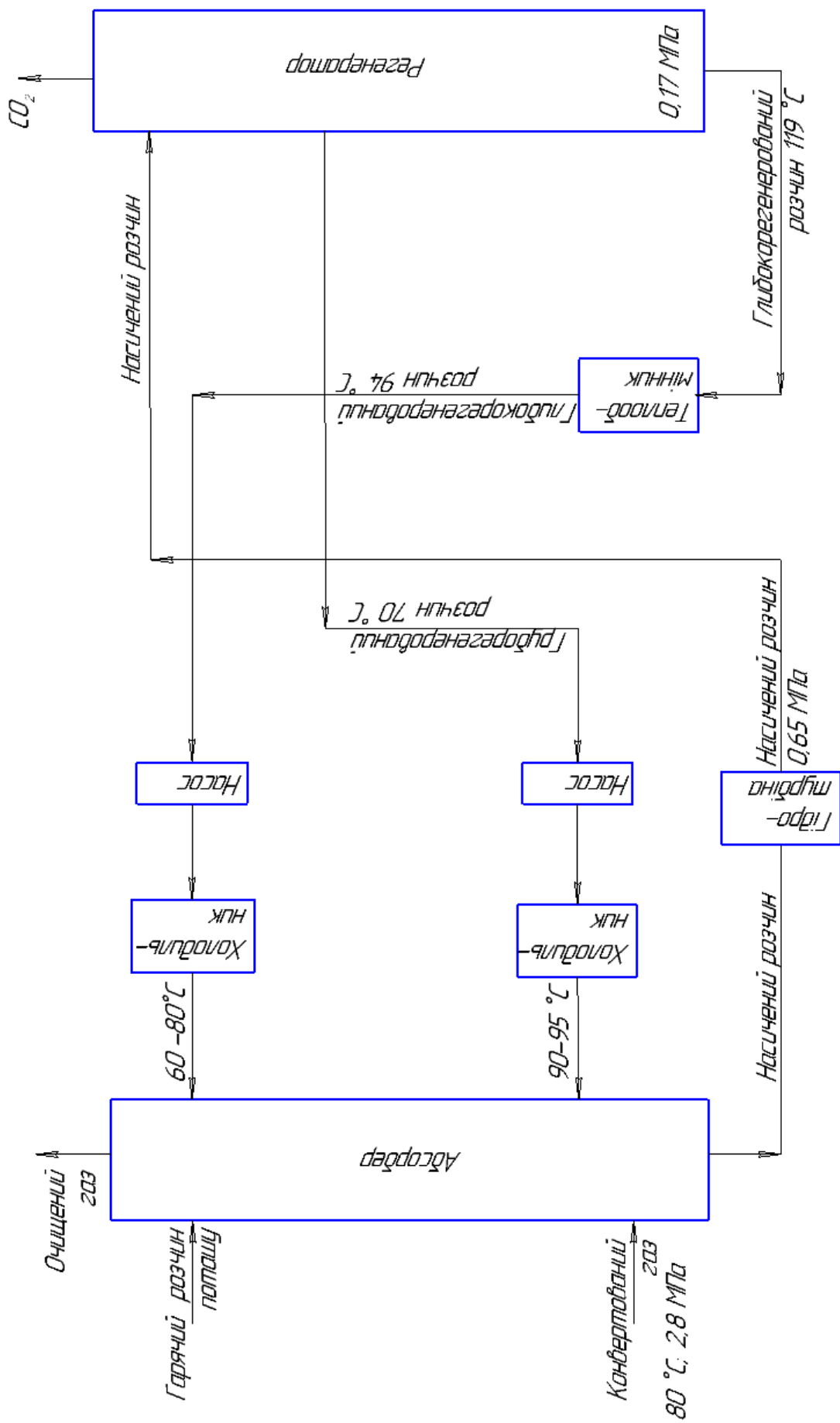


Рисунок 2.1- Схема матеріально-інформаційних потоків технологічного процесу очищення конвертованого газу від CO₂ гарячим розчином поташу.

3 ВИБІР ПАРАМЕТРІВ КОНТРОЛЮ, РЕГУЛЮВАННЯ ТА СИГНАЛІЗАЦІЇ

Необхідна якість очищеного конвертованого газу досягається підтриманням необхідних режимів проведення хімічних реакцій, підтримкою параметрів технологічного процесу в заданих межах, якісними і кількісними показниками реагентів, що застосовуються в технологічному процесі. Для цього на основі конструктивного аналізу виберемо параметри, які завдають істотні збурюючі впливи на об'єкт управління при протіканні технологічного процесу і їх значення, визначимо взаємозв'язок з іншими процесами, а також визначимо шляхи усунення збурень або їх стабілізації.

Як об'єкт управління розглядається технологічний процес очищення конвертованого газу від CO₂ гарячим розчином поташу.

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

Для нормального проведення хімічних реакцій очищення від вуглекислого газу в адсорбері необхідно контролювати тиск 2,8 МПа і температуру 80 °С конвертованого газу на вході абсорбера, регулювати рівень 12-15 м гарячого розчину поташу в абсорбері, регулювати температуру 60-80 °С глибокорегенованого розчину моноетаноламіну для зрошення верхньої секції абсорбера, регулювати температуру 90-95 °С груборегенованого гарячого розчину поташу для зрошення нижньої частини абсорбера, регулювати тиск 0,65 МПа суміші CO₂ і гарячого насиченого розчину поташу на виході гідротурбіни, регулювати температуру 119 °С глибокорегенованого гарячого розчину поташу на виході нижньої частини регенератора, контролювати тиск 0,17 МПа глибокорегенованого гарячого розчину поташу у кубі регенератора, регулювати температуру 94 °С глибокорегенованого гарячого розчину поташу на виході теплообмінника, регулювати температуру 60-80 °С глибокорегенованого гарячого розчину поташу для зрошення верхньої частини абсорбера.

Конвертований газ (переважно суміш водню і моноокису вуглецю) залежно від способу отримання має співвідношення CO: H₂ від 1: 1 до 1: 3. Найбільшого поширення має метод, по якому конвертований газ має такий склад: 15-18% CO, 38-40% H₂, 9-11% CH₄, 30-32% CO₂.**[Ошибка! Источник ссылки не найден.]**

Тобто, у складі конвертованого газу є три складових, які можуть з повітрям утворювати пожежо-вибухонебезпечні суміші і тому конвертований газ відноситься до вибухо- і пожежонебезпечних. Значить необхідно контролювати граничні значення параметрів і блокувати (зупиняти) технологічний процес, вмикати аварійну сигналізацію, вмикати аварійну вентиляцію і проводити, в разі необхідності, запуск системи технологічного пожежогасіння.

Перелік параметрів, які підлягають автоматизації, 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	Вхід абсорбера	Тиск конвертованого газу	Контроль, сигналізація	$2,8 \pm 0,3$ МПа
2	Вхід абсорбера	Температура конвертованого газу	Контроль, сигналізація	80 °С
3	Адсорбер	Рівень шару гарячого поташу у абсорбері	Контроль, сигналізація управління	12-15 м
4	Зрошення нижньої частини абсорбера	Температура грубокореєнованого гарячого розчину поташу	Контроль, сигналізація управління	90-95 °С
5	Вихід гідротурбіни	Тиск суміші CO ₂ і гарячого розчину поташу	Контроль, сигналізація управління	0,65 МПа
6	Вихід нижньої частини регенератора	Температура глибокореєнованого гарячого розчину поташу	Контроль, сигналізація управління	119 °С
7	Куб регенератора	Тиск гарячого розчину поташу	Контроль, сигналізація	0,17 МПа
8	Вихід теплообмінника	Температура глибокореєнованого гарячого розчину поташу	Контроль, сигналізація управління	94 °С
9	Зрошення верхньої частини абсорбера	Температура глибокореєнованого гарячого розчину поташу	Контроль, сигналізація управління	60-80 °С
10	Очищення конвертованого газу	Концентрація моноокису вуглецю у повітрі	Контроль, Сигналізація, управління	12,5 % об.
11	Очищення конвертованого газу	Концентрація водню у повітрі	Контроль, Сигналізація, управління	4,08 % об.
	Очищення конвертованого газу	Концентрація метану у повітрі	Контроль, Сигналізація, управління	5,4 % об.

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

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

Оскільки процес відноситься до вибухонебезпечних, то необхідно контролювати і сигналізувати граничне значення концентрації монооксиду вуглецю, водню і метану у повітрі стадії очищення за допомогою світлової та звукової сигналізації за місцем і в операторній, оскільки перевищення допустимого значення може призвести до виникнення аварії.

.
Структурна схема автоматизації подана на рисунку 3.1.

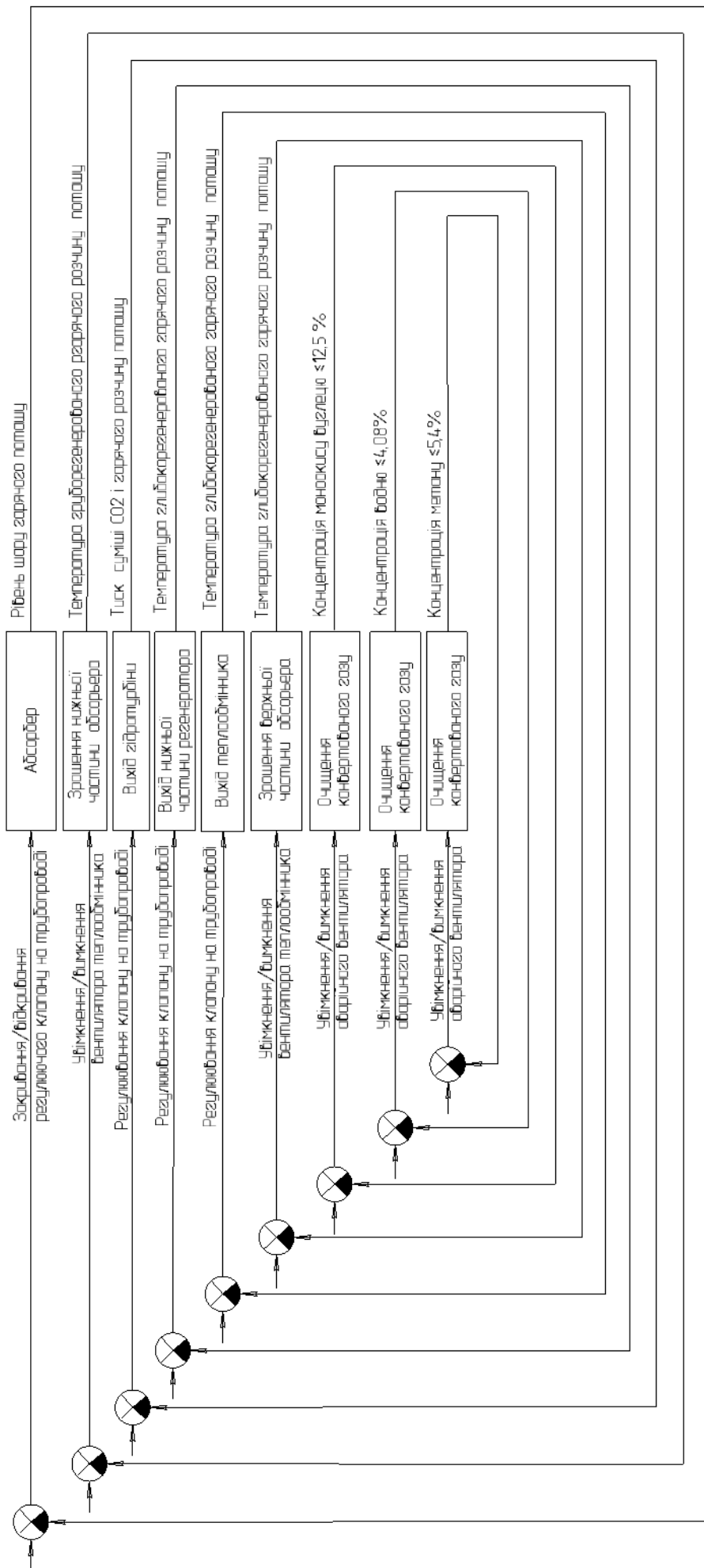


Рисунок 3.1-Структурна схема автоматизації.

4 ВИБІР КАНАЛІВ ВНЕСЕННЯ РЕГУЛЮЮЧИХ ДІЙ

4.1 Тиск конвертованого газу на вході абсорбера будемо контролювати і сигналізувати про вихід за допустимі межі за схемою, представленою на рис. 4.1.

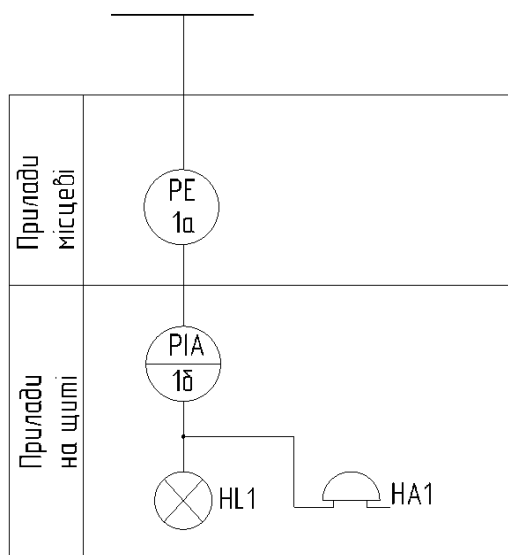


Рисунок 4.1 – Схема контролю і сигналізації тиску конвертованого газу на вході абсорбера.

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

4.2 Температуру конвертованого газу на вході абсорбера будемо контролювати і сигналізувати про вихід за допустимі межі за схемою, представленою на рис. 4.2.

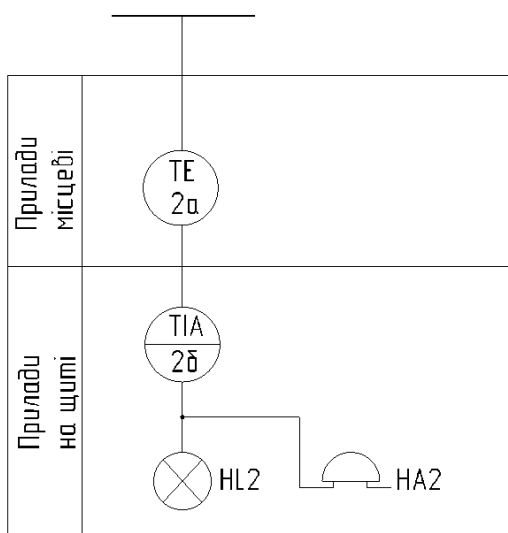


Рисунок 4.2 – Схема контролю і сигналізації температури конвертованого газу на вході абсорбера.

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

4.3 Рівень шару гарячого розчину поташу у абсорбері будемо регулювати шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана на трубопроводі подачі свіжого гарячого розчину поташу з ємності гарячого розчину поташу в адсорбер.

Канал контролю і управління рівнем шару гарячого розчину поташу в абсорбері представлений на рис. 4.3.

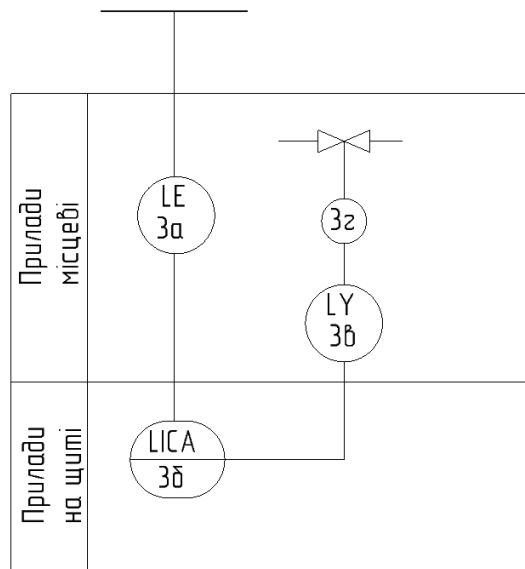


Рисунок 4.3 – Контур контролю і управління рівнем шару гарячого розчину поташу в абсорбері.

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

4.4 Температуру груборегенованого гарячого розчину поташу для зрошення нижньої секції абсорбера будемо регулювати за допомогою повітряного холодильника шляхом вмикання/вимикання його вентилятора.

Канал контролю і управління температурою груборегенованого гарячого розчину поташу для зрошення нижньої секції абсорбера представлений на рис. 4.4.

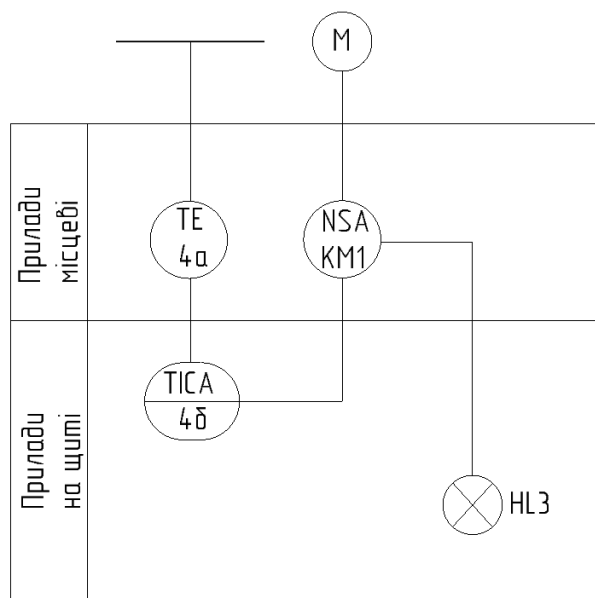


Рисунок 4.4 – Контур контролю і управління температурою груборегенованого гарячого розчину поташу для зрошення нижньої секції абсорбера.

До складу каналу управління входить датчик температури, перетворювач сигналу датчика, регулюючий пристрій, пристрій для показань, магнітний пускач, двигун вентилятора повітряного холодильника.

4.5 Тиск суміші CO₂ і гарячого розчину поташу на виході гідравлічної турбіни будемо регулювати шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана на трубопроводі суміші CO₂ і гарячого розчину поташу з адсорбера.

Канал контролю і управління тиском суміші CO₂ і гарячого розчину поташу на виході гідравлічної турбіни представлений на рис. 4.5.

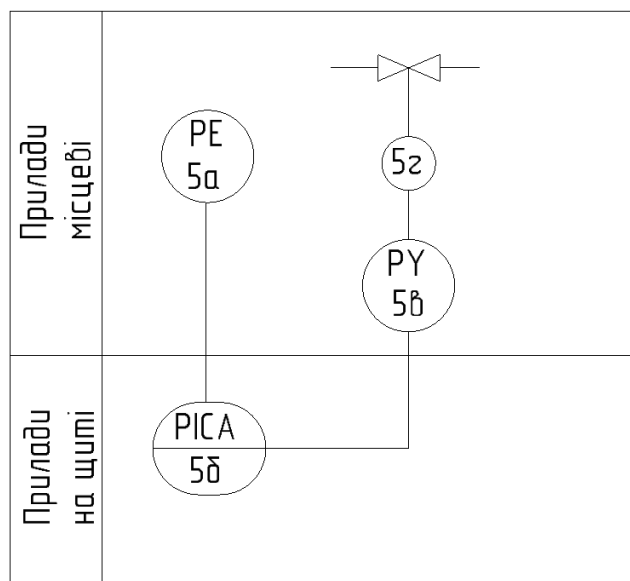


Рисунок 4.5 – Контур контролю і управління тиском суміші CO₂ і гарячого розчину поташу на виході гідравлічної турбіни.

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

4.6 Температуру глибокорегенованого гарячого розчину поташу на виході нижньої частини регенератора будемо регулювати шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана на трубопроводі теплоносія в кип'ятильник гарячого розчину поташу.

Канал контролю і управління температурою глибокорегенованого розчину гарячого розчину поташу на виході нижньої частини регенератора представлений на рис. 4.6.

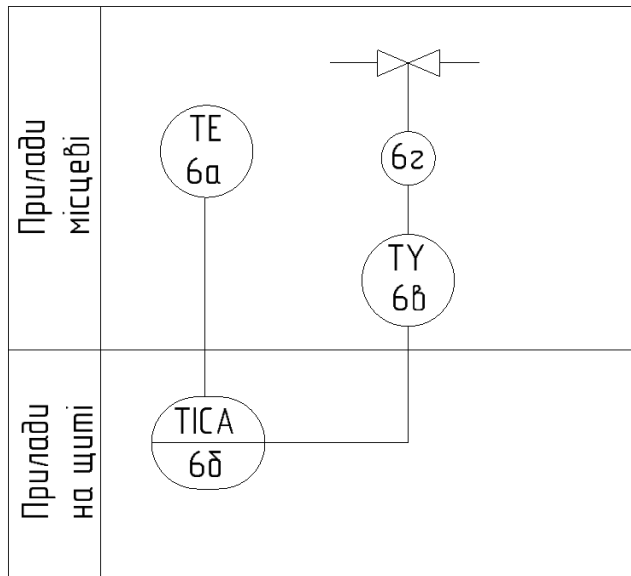


Рисунок 4.6 – Контур контролю і управління температурою глибокорегенованого розчину гарячого розчину поташу на виході нижньої частини регенератора.

До складу каналу управління входить датчик температури, перетворювач сигналу датчика, регулюючий пристрій, пристрій для показань і пристрій для, магнітний пускач, двигун вентилятора повітряного холодильника.

4.7 Тиск гарячого розчину поташу в кубі регенератора будемо контролювати і сигналізувати про вихід за допустимі межі за схемою, представленою на рис. 4.7.

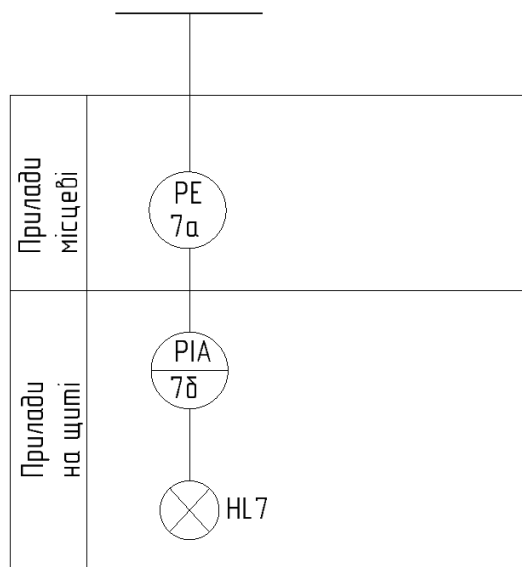


Рисунок 4.7 – Схема контролю і сигналізації тиску конвертованого газу на вході абсорбера.

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

4.8 Температуру глибокорегенованого гарячого розчину поташу на виході теплообмінника будемо регулювати шляхом зміни пропускної спроможності трубопроводу за допомогою регулюючого клапана на трубопроводі шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана на трубопроводі теплоносія в теплообмінник.

Канал контролю і управління температурою глибокорегенованого гарячого розчину поташу на виході теплообмінника представлений на рис. 4.8.

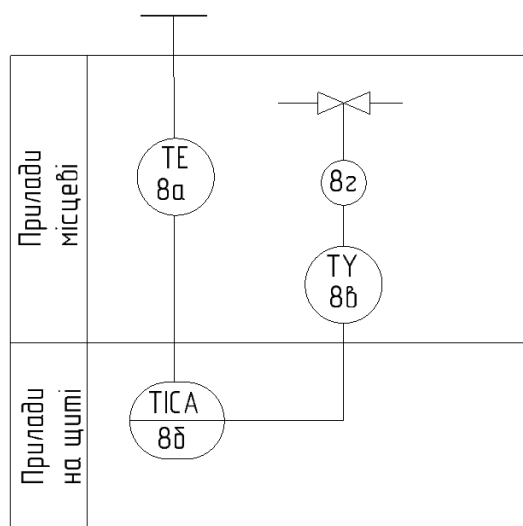


Рисунок 4.8 – Контур контролю і управління температурою глибокорегенованого гарячого розчину поташу на виході теплообмінника.

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

4.9 Температуру груборегенованого гарячого розчину поташу для зрошення верхньої секції абсорбера будемо регулювати за допомогою повітряного холодильника шляхом вмикання/вимикання його вентилятора.

Канал контролю і управління температурою груборегенованого гарячого розчину поташу для зрошення верхньої секції абсорбера представлений на рис. 4.9.

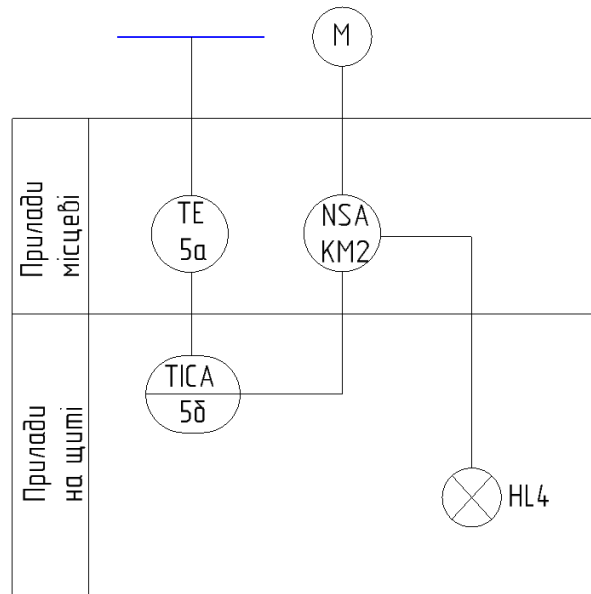


Рисунок 4.9 – Контур контролю і управління температурою груборегенованого гарячого розчину поташу для зрошення верхньої секції абсорбера.

До складу каналу управління входить датчик температури, перетворювач сигналу датчика, регулюючий пристрій, пристрій для показань, магнітний пускач, двигун вентилятора повітряного холодильника.

4.10 Для запобігання вибухонебезпечній ситуації концентрацію моноокису вуглецю, водню і метану в повітрі на стадії очищення конвертованого газу будемо регулювати шляхом відсікання подачі конвертованого газу і вмикання додаткового (аварійного) вентилятора .

Канал контролю, сигналізації і управління концентрацією моноокису вуглецю, водню і метану в повітрі представлений на рис. 4.10.

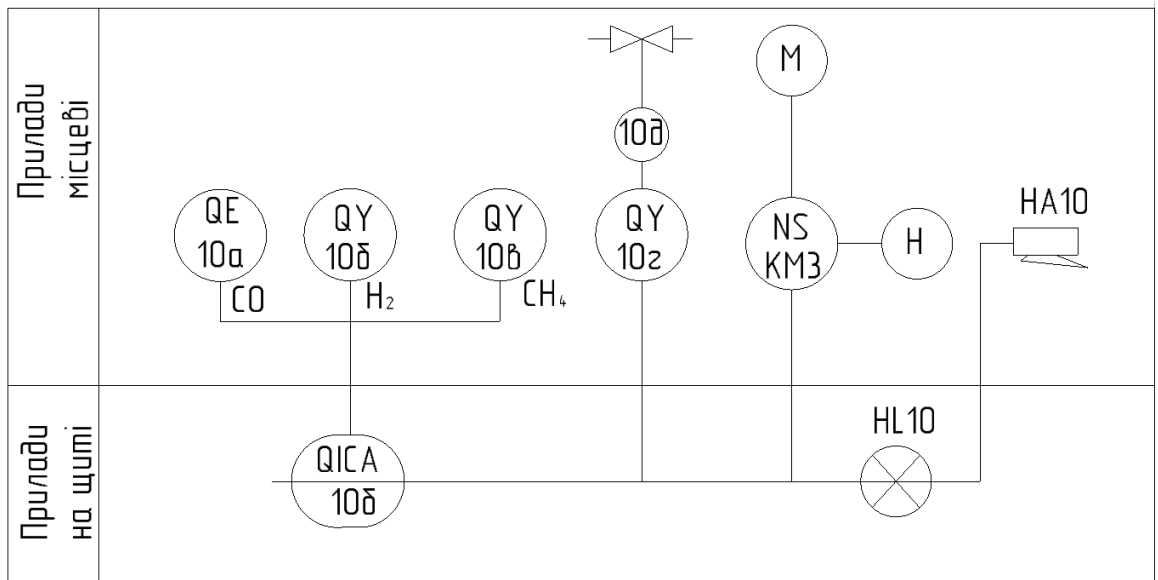


Рисунок 4.10-Контур контролю, сигналізації і управління монооксиду вуглецю, водню і метану.

До складу каналу контролю, сигналізації і управління концентрацією монооксиду вуглецю, водню і метану в повітрі входять датчики порогових значень концентрації монооксиду вуглецю, водню і метану в повітрі, перетворювач сигналу датчика, пристрій для показань, пристрій для відсікання подачі конвертованого газу, пристрій для вмикання аварійної вентиляції і пристрій для сигналізації.

5 ВИБІР ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Все електрообладнання, яке може бути задіяне на стадії очищення конвертованого газу згідно НПАОП 40.1-1.32-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок (32415) повинне відповідати категорії захисту «Вибухонепроникна оболонка та іскробезпечне електричне коло, група ІВ, клас Т5».

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 тиску

4.1.1.1 Датчик для вимірювання тиску конвертованого газу на вході абсорбера.

Застосуємо для вимірювання тиску конвертованого газу на вході абсорбера Перетворювач абсолютного, надлишкового тиску датчик тиску NIPRESS D-200[9], який повністю відповідає вимогам.

Перетворювач абсолютного, надлишкового тиску NIPRESS D-200 [9] з внутрішньою керамічною діафрагмою застосовуються для вимірювання агресивних газів, пари і рідин, не рекомендуються для вимірювання тиску середовищ, схильних до випадання осаду, кристалізації, налипання. Застосування датчиків тиску цієї моделі не пропонуються для вимірювання середовищ з яскраво вираженими динамічними навантаженнями тиску. В межах заявлених граничних значень тисків датчики тиску NIPRESS D-200 можуть бути використані в 2-х провідних системах.

Області застосування приладу:

- вимірювання абсолютного або надлишкового тиску рідин, забруднених вод, палива і масел, хімічно агресивних середовищ, газів;
- застосовується у всіх видах технологічних процесів, машин, механізмів, гідравлічних рішень, опалення та вентиляції, кліматичних установках, вимірювання в охороні навколишнього середовища, медичних технологій, лабораторній техніці, в енергетиці, харчовій промисловості і виробництві напоїв, водоочищенні і водовідведенні.

Основні особливості приладу:

- вимірювання абсолютного або надлишкового тиску;
- вимірювання в області високого тиску;

- застосування в системах управління вакуумного, надлишкового, абсолютного тиску;
- змінний діапазон вимірювання;
- корпус з нержавіючої сталі.

Специфікація приладу:

- діапазон вимірювання -1 ... 400 bar;
- похибка 0,5%;
- температура вимірюваного середовища -25 ... + 125 °С;
- температура зовнішнього середовища 25 ... + 85 °С;
- тип сенсора п'єзорезистивний;

матеріали змочуваного середовища - сенсор: кераміка, ущільнення: FKM (Viton®)

(додатково: EPDM), приєднання до процесу: нержавіюча сталь;

- вихід: 2-о дровові: 4 ... 20 мА, 3- дровові: 0 ... 10 V;
- живлення: 2-о дровові 8 ... 32 V DC, 3- дровові 14 ... 30 V DC;

навантажувальний опір: 2-о дровові $R_t \leq [(U_s - 8 \text{ V}) / 0,02 \text{ A}] \text{ Ом}$, 3- дровові $R_t > 10 \text{ кОм}$;

- електричне приєднання ISO4400, M12x1 / 4;
- клас захисту IP65 / IP67;
- електричний захист SELV Class III;
- вибухозахищене виконання;
- маса приладу ~ 0,12 кг.

5.1.1.2 Датчик для вимірювання тиску суміші CO₂ і гарячого розчину поташу на виході гідротурбіни.

Перетворювач абсолютного, надлишкового тиску NIPRESS D-200[9], який повністю відповідає вимогам. Тому, з точки зору мінімізації номенклатури обладнання і застосування, по можливості, однотипних приладів, виберемо для вимірювання тиску суміші CO₂ і гарячого розчину поташу на виході гідротурбіни перетворювач абсолютного, надлишкового тиску NIPRESS D-200[9].

5.1.1.3 Датчик для вимірювання тиску гарячого розчину поташу у кубі регенератора

Перетворювач абсолютного, надлишкового тиску NIPRESS D-200[9], який повністю відповідає вимогам. Тому, з точки зору мінімізації номенклатури обладнання і застосування, по можливості, однотипних приладів, виберемо для вимірювання тиску гарячого розчину поташу у кубі регенератора перетворювач абсолютного, надлишкового тиску NIPRESS D-200[9].

5.1.2 Вибір датчиків температури

5.1.2.1 Датчик для вимірювання температури конвертованого газу на вході абсорбера

Виберемо для вимірювання температури конвертованого газу на вході абсорбера термоопори ОВЕН ДТСхх4 з кабельним виводом ЕХІА[] у вибухозахищеному виконанні, який повністю задовольняє вимоги.

Термоопори ОВЕН ДТСхх4 з кабельним виводом ЕХІА[18] у вибухозахищеному виконанні дозволяють виконувати вимірювання температури вибухонебезпечних сумішей газів, парів, а також легкозаймистих і вибухових речовин.

Технічні характеристики.

Діапазон вимірюваних температур:

- для номінальної статичної характеристики (НСХ) 50М, 100М:

клас допуску А $-50...+100$ °С, клас допуску В, С $-50...+150$ °С;

- для номінальної статичної характеристики (НСХ) 50П, 100П:

клас допуску А $-100...+250$ °С, клас допуску В, С $-196...+250$ °С.

Умовний тиск 0,1 ... 6,3 МПа (в залежності від конструктивного виконання).

Показник теплової інерції не більше 10 ... 30 с.

Опір ізоляції не менше 100 МОм.

Кількість чутливих елементів 1 чи 2.

Схема внутрішніх з'єднань провідників 2 – дводротова, 3 – тридротова, 4 – чотиридротова.

Виконання сенсора відносно корпусу ізольований.

Довжина кабельного виведення 0,2 м – стандарт, до 20 м - на замовлення.

Тип нарізного штуцера метрична різьба, трубне різьба.

Матеріал захисної арматури сталь 12Х18Н10Т, латунь.

Ступінь захисту по ГОСТ 14254 IP54 (IP67 для моделей 314, 414, 164, 174, 294).

Маркування вибухозахисту 0ЕхІаІІС Т1 ... Т6.

Параметри іскробезпечних електричних ланцюгів $U_i = 10,2$ В; $I_i = 200$ мА; $L_i = 0,75$ мГц;
 $C_i = 2,75$ мкФ.

Гранично допустимі відхилення, що відповідають класу датчика для типу М:

клас допуску А діапазон вимірювання, °С $-50...+100$, Межі допустимих відхилень від НСХ, °С $\pm(0,15 + 0,002 \cdot |t|)$;

клас допуску В діапазон вимірювання, °С $-50...+200$, Межі допустимих відхилень від НСХ, °С $\pm(0,30 + 0,005 \cdot |t|)$;

клас допуску С діапазон вимірювання, °С -180...+200, Межі допустимих відхилень від НСХ, °С $\pm (0,60 + 0,01 \cdot |t|)$.

5.1.2.2 Датчик для вимірювання температури глибокорегенованого гарячого розчину поташу на зрошення нижньої частини абсорбера

Термоопори ОВЕН ДТСхх4 з кабельним виводом ЕХІА[18] у вибухозахищеному виконанні повністю задовольняє вимоги. Тому, з точки зору мінімізації номенклатури обладнання і застосування, по можливості, однотипних приладів, виберемо для вимірювання температури груборегенованого гарячого розчину поташу на зрошення нижньої частини абсорбера термоопори ОВЕН ДТСхх4 з кабельним виводом ЕХІА.

5.1.2.3 Датчик для вимірювання температури глибокорегенованого гарячого розчину поташу на виході нижньої частини регенератора

Термоопори ОВЕН ДТСхх4 з кабельним виводом ЕХІА[18] у вибухозахищеному виконанні повністю задовольняє вимоги. Тому, з точки зору мінімізації номенклатури обладнання і застосування, по можливості, однотипних приладів, виберемо для вимірювання температури глибокорегенованого гарячого розчину поташу на виході нижньої частини регенератора термоопори ОВЕН ДТСхх4 з кабельним виводом ЕХІА.

5.1.2.4 Датчик для вимірювання температури глибокорегенованого гарячого розчину поташу на виході теплообмінника

Термоопори ОВЕН ДТСхх4 з кабельним виводом ЕХІА[18] у вибухозахищеному виконанні повністю задовольняє вимоги. Тому, з точки зору мінімізації номенклатури обладнання і застосування, по можливості, однотипних приладів, виберемо для вимірювання температури глибокорегенованого гарячого розчину поташу на виході теплообмінника термоопори ОВЕН ДТСхх4 з кабельним виводом ЕХІА.

5.1.2.5 Датчик для вимірювання температури глибокорегенованого гарячого розчину поташу на зрошення верхньої частини абсорбера

Термоопори ОВЕН ДТСхх4 з кабельним виводом ЕХІА[10] у вибухозахищеному виконанні повністю задовольняє вимоги. Тому, з точки зору мінімізації номенклатури обладнання

і застосування, по можливості, однотипних приладів, виберемо для вимірювання температури глибокорегенованого гарячого розчину поташу на в зрошення верхньої частини абсорбера.

5.1.3 Вибір датчиків рівня рідини

5.1.3.1 Датчик для вимірювання рівня шару гарячого розчину поташу у абсорбері

Для вимірювання рівня шару гарячого розчину поташу у абсорбері застосуємо датчик Rosemount 3051L[**Ошибка! Источник ссылки не найден.**], який повністю відповідає вимогам.

Датчики призначені для вимірювання рівня рідин в закритих і відкритих резервуарах, для виробничих процесів з різними типами фланцевих з'єднань, з можливістю промивання мембран і захистом від парафінових відкладень. Датчики знайшли застосування в усіх галузях промисловості і зарекомендували себе, як надійні і якісні прилади вимірювання гідростатичного тиску (рівня), мають вибухо і іскробезпечне виконання.

Характеристики датчика:

- вимірювані середовища: рідини, у т.ч. агресивні;
- основна приведена похибка: $\pm 0,075\%$;
- перенастроювання діапазонів вимірювань: 100 : 1;
- вихідні сигнали: 4...20 мА з цифровим сигналом на базі HART протоколу;
- діапазон вимірюваних тисків: 0,00062...2,068 МПа;
- вплив вібрації: незначний;
- кліматичне виконання: від -40 до + 80 °С;
- вибухозахищене виконання.

Зміна монтажного положення не впливає на діапазон виміру. Відхилення нуля становить для датчиків:

- при вертикальному монтажі датчика 0,249 кПа;
- при горизонтальному монтажі датчика 1,243 кПа.

У будь-якому варіанті зміщення нуля може бути усунене калібруванням.

Вплив вібрації незначний, за винятком резонансних частот. При резонансних частотах вплив вібрації не перевищує $(0,1P_{max})\%$ на одиницю перевантаження (g) від 10 до 2000 Гц в будь-якому напрямку.

Змочувані деталі моделі 3051L - технологічні з'єднання на фланцях (сторона високого тиску):

- робочі мембрани, включаючи поверхню ущільнюючої прокладки, нержавіюча сталь 316 L, Hastelloy (сплав С-276) або тантал;

- подовжувачі, CF-3М (виливка з нержавіючої сталі 316 L), Hastelloy (сплав С-276), підходить до номенклатури труб сортаменту 40 і 80;

- монтажний фланець: вуглецева сталь з цинково-кобальтовим покриттям або нержавіюча сталь;

Стандартні технологічні з'єднання (сторона низького тиску):

- розділові мембрани: нержавіюча сталь 316 L, Hastelloy (сплав С-276);

- стандартні фланці і перехідники: CF-3М (виливка з нержавіючої сталі 316).

Деталі, що не піддаються впливу робочого середовища (незмочуваних):

- корпус електроніки: алюмінієвий з низьким вмістом міді або CF-3М (виливка з нержавіючої сталі 316), поліуретанове покриття, захист від пилу і вологи IP65, IP66;

- корпус сенсорного модуля Coplanar: CF-3М (виливка з нержавіючої сталі 316).

- болти: вуглецева сталь з покриттям цинк-кобальт; аустенітна нержавіюча сталь 316 L; легована сталь з цинковим покриттям; сплав К-500 (Monel).

Ущільнювальні кільця кришок Buna-N.

Вибухозахищеність Іскробезпечне електричне коло:

- 0ExiallCT5 X (-60°C ≤ Тотточ. ≤ 40°C);

- 0ExiallCT4 X (-60°C ≤ Тотточ. ≤ 70°C).

Вхідні параметри:

$U_{вх} = 30 \text{ В}; I_{вх} = 200 \text{ мА}; P_{вх} = 0,9 \text{ Вт}; C_{вх} = 0,012 \text{ мкФ}.$

5.1.5 Вибір датчиків концентрації

5.1.5.1 Вибір д метану датчиків концентрації у повітрі моноокису вуглецю, водню і метану

Виберемо для вимірювання концентрації моноокису вуглецю, водню і метану[12] стаціонарний промисловий сигналізатор ДОЗОР-С[13] у вибухозахищеному виконанні ExіbІІС, який сертифікований в Україні для використання, внесений до державних реєстрів України має необхідні технічні характеристики.

Сигналізатор-аналізатор газів "Дозор-С"[13] стаціонарний призначений для:

- безперервного і автоматичного контролю різних газів в повітрі приміщень і відкритих просторах;

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

- перетворення виміряного значення концентрації (обсягу) речовини в вихідний сигнал постійного струму (для сигналізаторів, що мають струмовий вихідний сигнал);

-перетворення виміряного значення концентрації (обсягу) речовини та стану порогових пристроїв у вихідний цифровий сигнал інтерфейсу RS 232 або RS 485 (для сигналізаторів, що мають вихідний цифровий сигнал);

- видачі сигналу для блокування зовнішніх електроланцюгів при відключенні живлення сигналізатора.

Стаціонарні газоаналізатори Дозор-С виготовляються і продаються в комплекті разом з датчиками для визначення горючих або шкідливих газів: аміаку, пропан-бутану, метану, водню, кисню, вуглекислого газу, чадного газу (окису вуглецю), хлору, оксиду і діоксиду азоту, сірководню, парів спиртів, парів нафтопродуктів, розчинників, оксиду сірки та інші. Також можливе підключення датчиків тиску, температури і вимірювання рівня рідини.

Залежно від кількості каналів виміру газоаналізатори Дозор-С, що встановлюються стаціонарно, комплектуються датчиками кількістю від 1-го до 5-ти штук. Причому у вартість газоаналізатора з певною кількістю каналів вимірювань вже включено відповідну кількість датчиків.

Комбінація датчиків газоаналізатора "Дозор-С".

Газоаналізатор Дозор-С, з кількістю вимірювальних каналів більше 1, можливо комбінувати в комплекті з іншими датчиками "Дозор":

- довибухонебезпечних концентрацій горючих газів і парів горючих рідин (метан, пропан, бутан, нефрас, бензин, пари нафтопродуктів, ефіри, розчинники, чадний газ, водень та інші);

- гранично-допустимих концентрацій (ГДК) шкідливих газів, а також їх різних комбінацій (оксиду вуглецю, діоксиду вуглецю, вуглекислого газу, аміаку, діоксиду азоту, хлору, сірководню, елегазу;

датчиками граничного рівня рідини;

датчиками температури;

датчиками тиску.

У цих газоаналізаторах організована можливість управління зовнішніми пристроями (клапанами, світлозвуковим табло і ін.) При спрацьовуванні вихідних сигналів "Поріг 1", "Поріг 2" або "Відмова".

Підтримувані гази: горючі гази: метан, пропан-бутан, гексан (пари бензину, спирти), окис вуглецю, водень, аміак, сірководень; шкідливі гази: вуглекислий газ, хлор, оксид азоту, діоксид азоту, сірчистий газ, елегаз (гексафторид сірки).

Лінія прилад/датчик: до 1200м.

Технічні характеристики газоаналізатора "Дозор-С"[13].

Кількість вимірювальних каналів від 1 до 5.

Ступінь захисту корпусу БЖС по ГОСТ 14254.1.1.2 IP 65.

Рівень звукового тиску сигналізатора на відстані 1 м від сигналізатора не менше 65 дБ.

Середнє напрацювання на відмову сигналізатора не менше 35000 год.

Критерій відмови сигнал "ВІДМОВА".

Повний середній термін служби сигналізатора не менше 12 років.

Діапазон робочих температур від -40 до +50 °С.

Живлення:

- Основне ~ 220 В; ± 220В; ± 24В;

- Резервне ± 24В, ~ 220В, ± 12В.

Вихідні сигнали:

- управління виконавчими пристроями - "сухий" контакт реле 2 А, 220 В;

- струмовий вихід 0...5, або 4...20 мА;

- цифровий вихід RS 232 або RS 485.

Лінія зв'язку БЖС-ВП 3-х-дротова, заводо захищеність до 1200 м.

Можливість комбінувати декілька датчиків (до 5) в одному приладі дозволяє використати стаціонарний газоаналізатор Дозор-С для вимірювання НКМР монооксиду вуглецю, водню і метану. Це здешевить затрати на створення і експлуатацію системи.

Враховуючи наявність релейних виходів, можна не тільки сигналізувати про досягнення шкідливих або довибухових концентрацій газів в повітрі робочої зони, а й вмикати обладнання для попередження аварійних ситуацій.

5.2 Вибір регулюючих органів

5.2.1 Канал контролю і управління рівнем шару гарячого розчину поташу у абсорбері

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

Для управління рівнем шару гарячого розчину поташу у абсорбері застосуємо вибухозахищений клапан Schubert & Salzer Control Systems GmbH з електроприводом серії 8037[14] для зупинки/для регулювання, який повністю задовольняє вимоги для зміни поперечного перетину трубопроводу подачі свіжого гарячого розчину поташу в адсорбер з ємності гарячого розчину поташу.

Цей компактний клапан з електродвигуном використовується в широкому спектрі завдань управління технологічними процесами. Особливо він відрізняється дуже коротким дизайном.

Більшість середовищ, таких як пар, рідини, газу і т. і., можна відмінно контролювати з його допомогою. Ця недорога версія являє собою реальну альтернативу пневматичним приводам.

Характеристики.

Номинальний розмір 1/2 "- 10".

Номинальний тиск PN 1,6 - 10,0 МПа.

Температура середовища Корпус з вуглецевої сталі -10 °С ... + 300 °С.

Корпус з нержавіючої сталі -60 °С ... + 350 °С.

Технічні характеристики приводу.

Живлення 24 ... 230 V AC/DC.

Зворотній зв'язок 4 - 20 mA або 0 - 10 V.

Вибухозахист (газ) II 2G Ex de [ia] IIC T6 / T5.

Захист від вибуху (пил) II 2D Ex tD [iaD] A21 IP66 T80 °С.

Клас захисту IP 66.

Температура навколишнього середовища -20 ... + 40 °С при T6/ -20 ... + 50 °С при T5.

Режим роботи S3/50% ED (Макс. 600 перемикачів циклу/год.).

Гістерезис $\pm 1,5\%$.

5.2.2 Канал контролю і управління температурою груборегенерованого гарячого розчину поташу для зрошення нижньої секції абсорбера

Для подачі груборегенерованого гарячого розчину поташу для зрошення нижньої секції абсорбера з верхньої частини регенератора застосуємо вибухозахищений клапан Schubert & Salzer Control Systems GmbH з електроприводом серії 8037[14] з для зупинки/для регулювання, який повністю задовольняє вимоги.

Для управління температурою груборегенерованого гарячого розчину поташу для зрошення нижньої секції абсорбера застосуємо пускач вибухозахищений типу ССА-Х-М[15], за допомогою якого вмикається/вимикається вентилятор який продуває ололоджуюче повітря через теплообмінник типу повітря/рідина.

Пускач вибухозахищений типу ССА-Х-М[16] призначений для дистанційного керування електродвигуном в мережах змінного струму електроустановок хімічної, газової, нафтової та інших галузей промисловості, в місцях з потенційно вибуховою атмосферою.

Для прямого вводу кабелів або проводів в Exd оболонку пускача застосовуються спеціально розроблені Exd вводи для прямого введення з ущільненням з santoprene серії fl, fal, fald.

Це дозволяє відмовитися від ввідної комутаційної коробки.

Вихідний струм комутації залежить від двигуна вентилятора.

5.2.3 Канал контролю і управління тиском суміші CO₂ і гарячого розчину поташу на виході гідравлічної турбіни

Для управління тиском суміші CO₂ і гарячого розчину поташу на виході гідравлічної турбіни застосуємо вибухозахищений клапан Schubert & Salzer Control Systems GmbH з електроприводом серії 8037[14] для зупинки/для регулювання, який повністю задовольняє вимоги, для зміни поперечного перетину трубопроводу шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана на трубопроводі суміші CO₂ і гарячого розчину поташу з адсорбера.

5.2.4 Канал контролю і управління температурою глибокорегенованого гарячого розчину поташу на виході нижньої частини регенератора

Для управління температурою глибокорегенованого гарячого розчину поташу на виході з нижньої частини регенератора застосуємо вибухозахищений клапан Schubert & Salzer Control Systems GmbH з електроприводом серії 8037[14] з електричним приводом для зупинки/для регулювання, який повністю задовольняє вимоги, для зміни поперечного перетину трубопроводу шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана на трубопроводі глибокорегенованого гарячого розчину поташу на виході з нижньої частини регенератора.

5.2.5 Канал контролю і управління температурою глибокорегенованого гарячого розчину поташу на виході теплообмінника

Для подачі глибокорегенованого гарячого розчину поташу для зрошення нижньої секції абсорбера з верхньої частини регенератора через теплообмінник і повітряний холодильник застосуємо вибухозахищений клапан Schubert & Salzer Control Systems GmbH з електроприводом серії 8037[14] з для зупинки/для регулювання, який повністю задовольняє вимоги.

Для управління температурою глибокорегенованого гарячого розчину поташу на виході теплообмінника застосуємо вибухозахищений клапан Schubert & Salzer Control Systems GmbH з електроприводом серії 8037[14] для зупинки/для регулювання, який повністю задовольняє вимоги, для зміни поперечного перетину трубопроводу шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана на трубопроводі подачі теплоносія в теплообмінник гарячого розчину поташу.

5.2.6 Канал контролю і управління температурою груборегенованого гарячого розчину поташу для зрошення верхньої секції абсорбера

Для управління температурою груборегенованого гарячого розчину поташу для зрошення верхньої секції абсорбера застосуємо пускач вибухозахищений типу ССА-Х-М[15], за допомогою якого вмикається/вимикається вентилятор який продуває ололоджуюче повітря через теплообмінник типу повітря/рідина.

Для прямого вводу кабелів або проводів в Exd оболонку пускача застосовуються спеціально розроблені Exd вводи для прямого введення з ущільненням з santoprene серії fl, fal, fald.

Це дозволяє відмовитися від ввідної комутаційної коробки.

Вихідний струм комутації залежить від двигуна вентилятора.

5.2.7 Канал контролю, сигналізації і управління концентрацією водню у повітрі робочої зони

Концентрація не повинна перебільшувати допустимого значення НКМП. Для цього необхідно збільшити повітрообмін в робочій зоні виробництва за рахунок вмикання додаткової (аварійної) вентиляції. Вентилятор, який видуває повітря з робочої зони виробництва може бути розміщений поза вибухонебезпечною зоною, тому до магнітного пускача, який вмикає/вимикає двигун вентилятора, немає необхідності пред'являти вимоги підвищеної вибухозахищеності. Тому для вмикання/вимикання і захисту цього двигуна застосовуємо пускач типу ПМА - X1 X2 X3 X4 X5 X6 X7 [17] - нереверсивний, закритий, з тепловим реле, дистанційне керування, з електричним блокуванням, захист IP54.

Буквенно-цифрові позначення типу пускача.

X1 - цифра, що позначає виконання пускача по номінальному струму:

0 - 6,3 А;

3 - 40 А;

4 - 63 А;

5 - 100 А;

6 - 160 А.

X2 - цифра, яка вказує виконання пускача за призначенням і наявності теплового реле:

1 - без реле, нереверсивні;

2 - з реле, нереверсивні;

3 - без реле, реверсивні з електричним блокуванням;

4 - з реле, реверсивні з електричним блокуванням;

5 - без реле, реверсивні з електричним і механічним блокуваннями;

6 - з реле, реверсивні з електричним і механічним блокуваннями.

X3 - цифра, що позначає виконання пускача за ступенем захисту по ГОСТ 14254-80:

0 - IP00;

1 - IP40;

2 - IP54.

X4 - цифра, яка вказує виконання пускача по роду струму ланцюга управління, напрузі головного ланцюга:

0 - змінний, 380 В;

1 - постійний, 380 В;

2 - змінний, 660 В;

3 - постійний, 660В.

X5 - букви, що позначають кліматичне виконання по ГОСТ 15150-69.

X6 - цифра, що позначає категорію розміщення по ГОСТ 15150-69.

X7 - буква, що позначає клас зносостійкості пускача: А, Б або В, дистанційне керування.

Виконання пускача по номінальному струму, по роду струму ланцюга управління, напрузі головного ланцюга, кліматичне виконання, категорія розміщення, клас зносостійкості пускача визначаються виходячи із типу і потужності двигуна, режиму роботи вентилятора, кліматичної зони.

5.3 вибір сигналізуючих пристроїв

5.1.1 Канал контролю, сигналізації і управління концентрацією монооксиду вуглецю, водню і метану у повітрі стадії очищення конвертованого газу.

Для світлової і звукової сигналізації, сповіщення персоналу у каналі контролю, сигналізації і управління концентрацією монооксиду вуглецю, водню і метану у повітрі стадії очищення конвертованого газу застосуємо оповіщувач світлозвуковий "Тортила"[16], вибухозахищений.

Версія популярного світлозвукового оповіщувача "Тортила" (табл. 5.1) для роботи у вибухонебезпечних зонах. Є сертифікат ДВСЦ ВО.

Оповіщувач має тип захисту від вибуху "Іскробезпечний електричний ланцюг" – ЕхІВІВ. Корпус оповіщувача виготовлений з пластику спеціального складу. Оповіщувач треба встановлювати в умовах, за яких відсутня електризація оболонки тертям або електрична індукція.

Таблиця 5.1_ Основні характеристики світлозвукового оповіщувача "Тортила"[16]

№ з.п.	Параметри	С-05С-12/24 Ех
1	Напруга живлення, В	= (від 9 до 27)
2	Струм не більше, мА	80
3	Рівень звукового тиску не менше, дБ	95
4	Розміри, мм	145 x 91 x 52

Продовження таблиці 5.1

№ з.п.	Параметри	C-05C-12/24 Ex
5	Маса не більше, кг	0.2
6	Ступінь захисту оболонки	IP54
7	Діапазон робочих температур, °C	від -25 до +55
8	Максимальні вхідні параметри іскробезпечних електричних ланцюгів, не більше:	
9	вхідна напруга U_i , В;	32,0
10	вхідний струм I_i , мА;	150,0
11	вхідна потужність P_i , Вт;	4,8
12	внутрішня ємність C_i ;	≈ 0
13	внутрішня індуктивність L_i .	≈ 0

5.4 вибір контролера

Відповідно до обраних датчиків і типів каналів управління зробимо вибір контролера. Оскільки закон управління на даному етапі невідомий, на функціональному рівні необхідно вибрати за вимогами вхідних і вихідних сигналів контролер, який реалізує П-, ПІ-, ПД і ПІД-закони управління. Дані про вхідні сигнали наведені в табл. 5.2.

Таблиця 5.2_ Вхідні сигнали управляючої системи

№ п.п.	Параметр управління	Сигнал	Величина
1	Тиск конвертованого газу	Аналоговий/Дискретний	4...20 мА/HART, FOUNDATION fieldbus
2	Температура конвертованого газу	Аналоговий	0...20 мА
3	Рівень шару гарячого поташу у абсорбері	Аналоговий	4...20 мА/HART
4	Температура груборегенованого гарячого розчину поташу	Аналоговий	0...20 мА
5	Тиск суміші CO ₂ і гарячого розчину поташу	Аналоговий	0...20 мА
6	Температура глибокорегенованого гарячого розчину поташу	Аналоговий	0...20 мА
7	Тиск гарячого розчину поташу	Аналоговий/Дискретний	4...20 мА/HART, FOUNDATION fieldbus

Продовження таблиці 5.2

№ п.п.	Параметр управління	Сигнал	Величина
8	Температура глибокорегенованого гарячого розчину поташу	Аналоговий	0...20 мА
9	Температура глибокорегенованого гарячого розчину поташу	Аналоговий	0...20 мА
10	Концентрація моноокису вуглецю у повітрі	Аналоговий	0...20 мА
11	Концентрація водню у повітрі	Аналоговий	0...20 мА
12	Тиск	Аналоговий	0...20 мА
13	Концентрація метану у повітрі	Аналоговий	0...20 мА

Дані про вихідні сигнали наведені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3_ Вихідні сигнали управляючої системи

№ п.п.	Параметр впливу	Сигнал
1	Витрата	Аналоговий
2	Вмикання/вимикання двигуна	Дискретний
3	Витрата	Аналоговий
4	Витрата	Аналоговий
5	Витрата	Аналоговий
6	Вмикання/вимикання двигуна	Дискретний
7	Вмикання/вимикання двигуна	Дискретний
8	Вмикання/вимикання клапана	Дискретний
9	Сигналізація	Дискретний
10	Вмикання/вимикання двигуна	Дискретний

На підставі даних таблиць 5.2 і 5.3 можна скласти вимоги до контролера і вибрати його на функціональному рівні. Вимоги за кількістю вхідних і вихідних сигналів наведені в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4_ Вхідні і вихідні сигнали управляючої системи

Сигнал	Вид	Кількість
Вхідний	Аналоговий	11
Вхідний	Аналоговий/Дискретний	2
Вихідний	Аналоговий	4
Вихідний	Дискретний	15

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

Із поширених для управління технологічним процесом можливе, серед інших, використання таких мікропроцесорних програмованих контролерів, як «Матрикс» фірми Segnetics, СЕРИЯ NLS фірми RealLab!. Порівняємо їх технічні характеристики.

Matrix[18] - універсальні модульні ПЛК Segnetics, вільно програмований контролер, призначений для автоматизації інженерних систем життєзабезпечення будівель, управління різними технологічними процесами і окремим обладнанням.

ПЛК побудований на базі ARM-процесора з частотою 1 ГГц, під керуванням ОС Linux і програмується за допомогою інструментальних засобів Segnetics: SMLogix, SMArt, SMConstructor та інших. Операційна система дозволяє запускати власні програми, написані на загальнодоступних мовах (C / C ++, java, python, php, js і інші) і користуватися всіма вбудованими засобами доступу і управління периферією.

Контролер містить широкий набір каналів введення-виведення, слот SD-карти, дисплей і клавіатуру. Також має просунуті комунікаційні можливості, серед яких: шина SystemBus і бездротовий 3G-модем. Вони можуть бути додатково розширені установкою одного з варіантів опціональних мережевих модулів.

Особливості універсальних модульних ПЛК Segnetics серії Matrix[18].

- Безліч комбінацій I / O на борту.
- Високошвидкісна системна шина.
- Гнучка конфігурація комунікаційних портів.
- Вбудований модем.
- Вбудований архіватор.
- Дисплей та візуалізація.

Технічні характеристики універсальних модульних ПЛК Segnetics серії Matrix наведені у табл. 5.5.

Таблиця 5.5_ Технічні характеристики універсальних модульних ПЛК Segnetics серії Matrix[18]

Параметр	Значення
Розміри	
ШхВхГ	140x110x55 мм
Вага	360 г
Кріплення	DIN-рейка, тип: TH35/7.5/15
Умови використання	

Продовження таблиці 5.5

Параметр	Значення
Температура	0...55 °С (без заморожування)
Вологість	до 90% (без конденсації)
Живлення	
Номинальна напруга	~/=24 В
Робочий діапазон	=16...48 В або ~18...36 В
Максимально допустима напруга	60 В
Споживана потужність	до 5,4 Вт
Живлення від USB захист	Для конфігурації і поновлення ПЗ Змінний запобіжник 2А, клас: III
Інтерфейси	
RS-485 (COM1)	Гальванічно ізольований роз'єм: клемна колодка (протокол Modbus-RTU)
RS-485 (COM2)	Гальванічно неізольований роз'єм: клемна колодка (протокол Modbus-RTU або System Bus) (до 244 FMR))
Роз'єм Ext	підключення модулів MRL
USB-device	USB 2.0, Раз'єм: типу Micro-B
Слот карт пам'яті **	MicroSD, до 32 Гб
GSM 3G модем **	SIM-карти: стандарт MicroSIM, Діапазони: GSM/GPRS/EDGE+ UMTS/HSPA до 7,2 Мбіт/с повідомлення SMS
HDMI **	1080p, TrueColor
Слот мережевих карт з додатковими інтерфейсами	Ethernet LAN 100 Мбіт/с, USB Host 2.0, RS-485 Modbus, RS-232, CAN Bus, M-Bus
Обчислювальна підсистема	
Процесор	TI SITARA AM3354 с ядром Cortex-A8, 1 ГГц
графічний прискорювач	PowerVR SGX (1,6GFlops, OpenGL ES 2.0)
вбудована пам'ять	4 GB, eMMC Flash
Оперативна пам'ять	256 Mb, DDR3
Операційна система	Linux Debian + автоматичний режим Suspend
HMI	
Графічний дисплей	TFT, кольоровий «TrueColor», діагональ 2.4" Роздільна здатність дисплея 320 x 240 крапок
Клавіатура	6 кнопок
Годинник реального часу	Змінна батарея CR1632
Звукова сигналізація	Однотональна
Світлодіодна індикація	4 індикатора: стану, обміну, користувацький до 32 індикаторів стану I/O*
Дискретні входи	
Кількість	до 32, підтримка функції рахункових входів
Номинальна напруга	~/=24 В
Гальванічна ізоляція	Групова, по 8 входів в групі
Дискретні виходи	
Опторелейні (opto)	До 12(комбінований тип захисту) До 8 (комбінований тип захисту) До 12 (без захисту)
Симісторні (triac)	До 8 (комбінований тип захисту)
Релейные (relay)	До 12 (без захисту)

Продовження таблиці 5.5

Параметр	Значення
Аналогові входи	
Кількість	До 8 універсальних
Підтримка типів температурних датчиків (задається програмно)	RTD, NTC або конфігурується користувачем
Режими роботи (задається програмно)	Вимірювання температури: дозвіл 0,1 °С, Вимірювання сигналу: 0-10 В: роздільна здатність 3 мВ, Вимірювання сигналу: 4 ... 20 мА: роздільна здатність 6 мкА Режим дискретного входу
Тип захисту	Комбінований, до 36 В
Аналогові виходи	
Кількість	до 4 виходів 0...10 В
Максимально допустимий струм навантаження	5 мА
Тип захисту	Комбінований, до 36 В

Segnetics FMR Modbus[20]-модуль введення/виведення призначений в якості модуля розширення введення/виведення сигналів для контролерів автоматизації інженерних систем будівель, технологічних процесів і окремого обладнання з використанням різних протоколів в якості Slave пристрою.

До складу одного модуля розширення Segnetics (Сегнетікс), в залежності від модифікації, може входити до: 24 дискретних виходів, 32 дискретних входів, 16 аналогових входів і 4 аналогових виходів.

FMR-1010-10-0 Modbus-модуль вводу/вивода[21]; 16аналог.вх.(універс., 12 бит); 8вых.(реле 5А); COM1 (RS-485, Modbus RTU); COM2 (RS-485, ModbusRTU, сист.шина MRBus II); порт расш.MRL; конфігурація по USB; =/~24В

FMR-1020-10-0 Modbus-модуль введення/виведення[22]; 8вх.(PNP/NPN/актив.)/8вих.(6 реле 5А, 2 оптореле 200мА); 8 аналог.вх.(універс., 12біт)/2 аналог.вих.(0..10В); COM1(RS-485, ModbusRTU); COM2(RS-485, ModbusRTU, сист.шина MRBus II); порт розш.MRL; конфігурація по USB; =/~24В.

FMR-1021-10-0 Modbus-модуль введення/виведення[23]; 8вх.(PNP/NPN/актив.)/6вих.(5 реле 5А, 1 оптореле 200мА); 8 аналог.вх.(універс., 12біт)/4 аналог.вих.(0..10В); COM1(RS-485, ModbusRTU); COM2(RS-485, ModbusRTU, сист.шина MRBus II); порт розш.MRL; конфігурація по USB; =/~24В.

FMR-3022-10-0 Modbus-модуль введення/виведення[24]; 16вх.(PNP/NPN/актив.)/12вих.(12 реле 5А); COM1(RS-485, ModbusRTU); COM2(RS-485, ModbusRTU, сист.шина MRBus II); порт розш.MRL; конфігурація по USB; =/~24В.

FMR-3030-10-0 Modbus-модуль дискр.вывода[25]; 24вых. (реле 5A); COM1(RS-485, ModbusRTU); COM2(RS-485, ModbusRTU, сист.шина MRBus II); порт расш.MRL; USB device (конф. модуля); конфигурация по USB; =/~24В.

FMR-2222-10-0 Modbus-модуль дискр.ввода[26]; 32вых. (PNP/NPN/актив.); COM1(RS-485, ModbusRTU); COM2 (RS-485, ModbusRTU, сист.шина MRBus II); порт расшир.MRL (сист.шина MRBus II); конфигурация по USB; =/~24В.

Особливості Modbus-модуля введення/виведення FMR.[20]

Висока гнучкість при організації підсистеми введення/виведення (I/O): універсальні модулі введення/виведення FMR призначені для нарощування каналів в системах автоматизованого управління та збору даних. Модулі розширення працюють з контролерами будь-якого виробника за допомогою протоколу Modbus-RTU з підключенням до порту RS-485. Доступно 6 модифікацій модулів, що дозволяють підібрати поєднання дискретних та аналогових I/O, що оптимально підходить під поставлену задачу. Каскадне підключення модулів FMR один до одного багаторазово збільшує загальну ємність системи введення/виведення. Всього в мережу можна зібрати до 341 модулів FMR, забезпечивши до 10912 каналів.

Гнучка масштабованість: модулі FMR забезпечують високу гнучкість при розвитку проекту та необхідності підключення нових датчиків або виконавчих пристроїв. Маючи велику кількість цифрових і аналогових I/O вони легко підключаються до будь-якого контролера через порт RS-485. До одного Master-пристрою можна підключити до 341 модуля FMR, забезпечивши більш 10 000 каналів I/O. Адресація нових каналів абсолютно прозора для системи управління, не вимагає додаткових обчислювальних ресурсів і здійснюється базовим модулем FMR.

Висока надійність: модуль оснащений захищеним джерелом живлення з широким вхідним діапазоном живлячих напруг, стійкими до перевантажень входами, виходами і портами зв'язку. При виникненні аварійних ситуацій, що призводять до втрати зв'язку модуля з керуючим контролером або модулів підключених один до одного, для збереження контролю над станом об'єкта FMR здатний переходити в безпечний режим роботи. Додатковий захист мережевих даних забезпечить екрановане підключення.

Зручність і простота: лицьова панель модуля обладнана світлодіодами, що інформують користувача про режим роботи входів/виходів і стані модуля. Мережева адреса COM1 зручно задається за допомогою п'ятипозиційного DIP-перемикача, розташованого під кришкою системного відсіку. Всі настройки, необхідні для роботи FMR-модулів, зібрані в утиліті FMR-Configurator.

FMR Configurator: настройка модуля проводиться через порт USB. Для конфігурації призначена утиліта FMR Configurator для ПК. У режимі настройки живлення проводиться від USB.

Налаштування: за допомогою конфігуратора можна налаштувати параметри мережевих підключень. Для аналогових входів можна вибрати типи аналогових датчиків, які будуть до них підключені. Крім того, при необхідності будь-який аналоговий вхід можна перевести в дискретний режим роботи. Для кожного виходу (DO, AO) налаштовуються параметри безпечного стану. Всі перетворення можна робити, як для кожного каналу індивідуально, так і для виділеної для групи каналів.

Налагодження: важливою функцією конфігуратора, крім настройки, є режим налагодження. Програма конфігурації дозволяє виробляти налагодження роботи системи, модуля і всіх пристроїв, підключених до нього по системній шині. Цей режим незамінний, коли потрібно перевірити роботу датчиків, виконавчих пристроїв на об'єкті. Після закінчення налагодження конфігурація системи може бути збережена в файл. Оновлення ПЗ FMR-модуля також проводиться за допомогою конфігуратора.

Технічні характеристики модуля введення/виведення FMR наведені у табл. 5.6.

Таблиця 5.6_ Технічні характеристики модуля введення/виведення FMR[20]

Параметр	Значення
Дискретні входи	
Кількість і тип	в залежності від конфігурації до 32 гальванічески ізольованих входів з підтримкою функції рахункових входів
Тип гальванічної ізоляції	групова, по 8 входів у групі
Гальванічна міцність ізоляції	1 кВ
Номінальна напруга живлення входів	24 В постійного або змінного струму
Максимально допустима напруга на вході	60 В
Дискретні виходи	
Кількість і тип	в залежності від конфігурації до: 12 опторелейних виходів 12 релейних виходів
Аналогові входи	
Кількість і тип	в залежності від конфігурації до: 16 універсальних аналогових входів
Режими роботи	задається програмно: вимір температурних датчиків: 2-дротова або 3-провідна схема підключення вхідних сигналів 0 ... 10 В вхід сигналу 4 ... 20 мА
Підтримка температурних датчиків	задається програмно: Pt50, Pt100, Pt500, Pt1000 NTC2.2k, NTC4.7k, NTC10k вільний датчик

Продовження таблиці 5.6

Параметр	Значення
Ефективна роздільна здатність при вимірі датчиків температури	0,1 °C
Діапазон вимірювання напруги	0...10 В
Ефективна роздільна здатність при вимірі напруги	3 мВ
Максимально допустима напруга на вході	±36 В
Діапазон вимірювання струму	0...24 мА
Ефективна роздільна здатність при вимірі струму	6 мкА
Максимально допустимий струм	±80 мА
Тип захисту	захист від перевищення допустимого струму обмежувальний супресор
Аналогові виходи	
Кількість і тип	в залежності від конфігурації до: 8 аналогових виходів сигналу 0-10 В
Ефективна роздільна здатність	12 мВ
Діапазон вихідних напруг	0...10 В
Максимально допустимий струм навантаження виходів	5 мА
Максимально допустима напруга на виході	±36 В
Тип захисту	електронний захист від перевищення допустимого струму обмежувальний супресор
Живлення	
Номінальна напруга живлення	24 В постійного або змінного струму
Робочий діапазон напруг живлення	=16...48 В ~18...36 В
максимально допустима напруга на вході	60 В
Тип вбудованого випрямляча напруги	однополуперіодний
Тип захисту	обмежувальний супресор від перевищення допустимої напруги змінний запобіжник 2 А
Споживана потужність	не більше 6,4 Вт (без модулів розширення) не більше 14 Вт (з модулями розширення)

Продовження таблиці 5.6

Параметр	Значення
Клас захисту від ураження електричним струмом	III
Можливість роботи від USB	для конфігурації модуля та оновлення програмного забезпечення
Комутовані навантаження	в залежності від типу виходу: для опторелейних: до $6 U$ або до $\sim 24V$ 200 мА макс. для релейних: до 400 В діючого значення ~ 5 А макс.
Гальванічна міцність ізоляції	1 кВ
Тип захисту	для опторелейних виходів - обмежувальний супресор і самовідновлюється запобіжник для релейних виходів - відсутня
НМІ	
Світлодіодна індикація	індикатор стану приладу два індикатора обміну по інтерфейсах зв'язку до 32 індикаторів стану I / O
Інтерфейси	
COM1	інтерфейс RS-485, 4800 ... 115200 біт / с гальванічна ізоляція 0,5 кВ відключаємий «термінатор» 120 Ом протокол Modbus-RTU роз'єм - клемна колодка
Параметр	Значення
COM2	інтерфейс RS-485, 4800 ... 115200 біт/с 1 Мбіт/с в режимі системної шини без гальванічної ізоляції відключаємий «термінатор» 120 Ом протокол Modbus-RTU роз'єм - клемна колодка
Порт розширення MRL	порт розширення для підключення модулів MRL підключення через кабель CB-MRL
USB-Device	стандарт USB 2,0 роз'єм «MicroUSB тип B»

Модулі MRL[19] призначені для розширення набору дискретних і аналогових входів. Модулі працюють в складі шини MTBus і підключаються до порту розширення MRL контролерів Matrix або модулів FMR. Модулі можуть бути з'єднані послідовно один з одним.

Великий вибір модифікацій модулів дозволяє підібрати оптимальний набір входів і виходів системи.

Особливості модуля розширення MRL[19].

- Високопродуктивне обчислювальний ядро на базі 32-бітного контролера Cortex®.

- Продумана компоновка входів/виходів дозволяє підібрати оптимальну конфігурацію обладнання для різних систем автоматизації.
- Ізольовані уніполярні цифрові входи з функцією підрахунку імпульсів.
- Конфігуровані, стійкі до перевантажень, аналогові входи високого дозволу з підтримкою режимів вимірювання напруги, струму, і основних типів температурних датчиків.
- Стійкі до перевантажень аналогові виходи 0...10 В.
- Ізольовані дискретні виходи різних типів.

Технічні характеристики модуля MRL наведені у табл. 5.7.

Таблиця 5.7_ Технічні характеристики модуля MRL[19]

Параметр		Значення
Розміри		
ШхВхГ		52,5 x 110 x 55 мм
Вага		236 г
Кріплення		DIN-рейка, тип: TH35/7.5/15 (EN 50022)
Умови використання		
Температура		-40...+70 °С (без заморожування)
Вологість		до 90% (без конденсації)
Атмосфера		Без корозійних газів, без провідного пилу
Стійкість до удару		Прискорення 147 м/с ² , Час дії імпульсу 11 мс
Живлення		
Джерело живлення		Шина MTBus
Параметр		Значення
Споживана потужність		Не більше 2,76 Вт
Клас захисту від ураження електричним струмом		ІІІ
Інтерфейси		
Лівий порт MTBus	Порт підключення MRL до головного пристрою або до попереднього MRL в лінійці	
Правий порт MTBus	Порт підключення до наступного MRL в лінійці (Підключення через кабель MRL.2034-001)	
НМІ		
Світлодіодна індикація	Індикатор стану приладу Індикатор обміну по системній шині MTBus	
Дискретні входи		
Кількість і тип	Залежно від конфігурації до 16 гальванічески ізольованих входів з підтримкою функції рахункових входів	
Номінальна напруга	24 В AC/DC	
Електрична міцність ізоляції	1 кВ	

Продовження таблиці 5.7

Параметр	Значення
Гальванічна ізоляція	Групова, по 8 входів в групі
Максимально допустима напруга на вході	60 В
Дискретні виходи	
Кількість і тип	Залежно від конфігурації до: 6 опторелейних виходів; 4 симісторних виходи з автоматичним контролем переходу через нуль; 12 релейних виходів
Комутовані навантаження	Залежно від типу виходу: Для опторелейних - до = 36 В або ~ 24 В, 200 мА макс. Для симісторних - до ~ 270 В, 1 А макс. Для релейних - до ~ 400 В, 5А макс.
Електрична міцність ізоляції	1 кВ
Тип захисту	Для опторелейних виходів - обмежувальний супресор і самовідновлюється запобіжник. Для симісторних - снаберная ланцюг і обмежувальний супресор Для релейних виходів - відсутня
Аналогові входи	
Кількість і тип	Залежно від конфігурації до 16 гальванічески ізольованих входів з підтримкою функції рахункових входів
Режими роботи	Здається програмно: Вимірювання температурних датчиків: 2-дротова або 3-провідна схема підключення Вхід сигналу 0 ... 10 В Вхід сигналу 4 ... 20 мА
Підтримка температурних датчиків	Типи: Pt, Cu, Ni, МСП, ТСМ (Діапазони: 50, 100, 500, 1000) Тип: NTC (Діапазони: 1.8К, 10.0К, 30.0К) А також призначені для користувача датчики
Ефективна роздільна здатність при вимірі датчиків температури	0,1 °С
Діапазон вимірювання напруги	0...10 В
Ефективна роздільна здатність при вимірі напруги	3 мВ
Максимально допустима напруга на вході	±36 В
Діапазон вимірювання струму	0...24 мА
Ефективна роздільна здатність при вимірі струму	6 мкА
Максимально допустимий струм	±80 мА
Тип захисту	захист від перевищення допустимого струму обмежувальний супресор
Аналогові виходи	
Кількість і тип	в залежності від конфігурації до: 4 аналогових виходів сигналу 0-10 В
Ефективна роздільна здатність	12 мВ
Діапазон вихідних напруг	0...10 В

Продовження таблиці 5.7

Параметр	Значення
Максимально допустимий струм навантаження виходів	5 мА
Максимально допустима напруга на виході	±36 В
Тип захисту	електронний захист від перевищення допустимого струму обмежувальний супресор

Високопродуктивний програмований логічний контролер NLScon-CE-I[28].

Характеризуються високою обчислювальною потужністю і широким функціоналом для побудови потужних систем розподіленого управління, а також збору, зберігання, обробки і передачі інформації.

Поставляється з флеш-картою MicroSD об'ємом 4 ГБ і шинним роз'ємом для інтерфейсу RS-485 і живлення.

Основне призначення ПЛК для управління модулями вводу-виводу на шині RS-485, серій NLS, NL, NL-Ex.

Основні технічні характеристики наведені у табл. 5.8

Таблиця 5.8_ Технічні характеристики програмованого логічного контролера NLScon-CE-I[28]

Параметр	Значення
Габарити (В x Ш x Г)	109x22,5x113 мм
Кріплення	кріплення на дин-рейку
Температурний діапазон	-40...+70 °С
Процесор	NVIDIA© Tegra 2 (2 ядра Cortex A9, частота 1 ГГц)
ОЗП	256 Мбайт
Флеш-карта	до 128 Гбайт SDXC
Системна флеш-пам'ять	512 Мбайт
ОС	ОС РВ Windows Embedded Compact 7
Програмування	програмується за допомогою безкоштовної системи CoDeSys 3.5 (Шість мов МЕК 61131-3), а також на С ++, Visual Basic, С #
Середовище виконання	встановлене середовище виконання CoDeSys 3.5
комунікаційний інтерфейс	Modbus RTU (Master/Slave), Modbus TCP

Продовження таблиці 5.8

Параметр	Значення
Ethernet	один порт Ethernet 10/100Base-T з гальванічною розв'язкою
RS-485	два порти RS-485 з індивідуальною гальванічною розв'язкою (протоколи Modbus RTU, DCON)
USB	один порт USB для флеш-диска, принтера
Звук	двоканальний звуковий вихід
Таймер	сторожовий таймер
Годинник реального часу	незалежний годинник реального часу
«Гаряча» заміна:	Є можливість «гарячої» заміни
Канали	максимальне число каналів при підключенні модулів введення-виведення досягає 8000 шт.
Напруга живлення	напруга живлення від 10 до 30 В
Підключення:	слотова конструкція, шинний роз'єм для інтерфейсу RS-485 і живлення

Модулі введення-виведення RealLab! серій NLS, NL и NL-Ex [29] забезпечують введення-виведення, перетворення дискретних і аналогових сигналів, рахунок імпульсів, вимірювання частоти, а також виконання інших функцій, необхідних для побудови систем розподіленого управління в жорстких умовах експлуатації.

Модулі з'єднуються за допомогою промислової мережі на основі інтерфейсу RS-485 і призначені для роботи спільно з контролерами RealLab! і будь-якими іншими ПЛК, сумісними з протоколами обміну DCON і Modbus RTU.

Універсальний модуль аналогового введення NLS-8AI[30] призначений для вимірювання напруги або струму

Технічні характеристики модуля аналогового введення NLS-8AI наведені у табл. 5.9.

Таблиця 5.9_ Технічні характеристики модуля аналогового введення NLS-8AI[30]

Параметр	Значення
Габарити (В x Ш x Г):	109x22,5x113 мм
Кріплення	кріплення на дин-рейку
Температурний діапазон	-40...+70 °С

Продовження таблиці 5.9

Параметр	Значення
Підключення	16 одиночних або 8 диференціальних каналів аналогового введення з програмно встановлюваними діапазонами ± 150 мВ, ± 500 мВ, ± 1 В, ± 5 В, ± 10 В, ± 20 мА
Розрядність	16 разрядів
Діапазони вимірювань	незалежна установка діапазонів вимірювань для кожного каналу (тільки для режиму ASCII)
Гальванічна ізоляція	напруга гальванічної ізоляції 2500 В
Види захисту	11 видів захисту: від перенапруги і струмового перевантаження по входу, виходу, інтерфейсу, від перегріву, статичної електрики і ін.
Смуга пропускання	13,1 Гц
Похибка вимірювань	основна похибка вимірювання не гірше $\pm 0,2\%$
Коефіцієнт завади	коефіцієнт ослаблення завади загального вигляду з частотою 50 Гц - не менше 100 дБ
Інтерфейс підключення	інтерфейс RS-485
Протоколи:RS-485	протокол за змовчуванням - DCON (ADAM-сумісний) і MODBUS RTU (вмикається програмно)

Модуль введення аналогових сигналів струму NLS-8AI-I[31] призначений для вимірювання тільки струму ± 20 мА.

Технічні характеристики модуля введення аналогових сигналів струму NLS-8AI-I наведені у табл. 5.10.

Таблиця 5.10_ Технічні характеристики модуля введення аналогових сигналів струму NLS-8AI-I[31]

Параметр	Значення
Габарити (В x Ш x Г):	109x22,5x113 мм
Кріплення	кріплення на дин-рейку
Температурний діапазон	-40...+70 °С
Підключення	має 8 одиночних каналів з вбудованими шунтами 124 Ома

Продовження таблиці 5.10

Параметр	Значення
Розрядність	16 разрядів
Діапазони вимірювань	незалежна установка діапазонів вимірювань для кожного каналу (тільки для режиму ASCII)
Гальванічна ізоляція	напруга гальванічної ізоляції 2500 В
Види захисту	11 видів захисту: від перенапруги і струмового перевантаження по входу, виходу, інтерфейсу, від перегріву, статичної електрики і ін.
Смуга пропускання	13,1 Гц
Похибка вимірювань	основна похибка вимірювання не гірше $\pm 0,2\%$
Коефіцієнт завади	коефіцієнт ослаблення завади загального вигляду з частотою 50 Гц - не менше 100 дБ
Інтерфейс підключення	інтерфейс RS-485
Протоколи: RS-485	протокол за змовчуванням - DCON (ADAM-сумісний) і MODBUS RTU (вмикається програмно)

Модуль аналогового введення сигналів термопар NLS-8TI[32] для вимірювання сигналів термопар

Технічні характеристики модуля аналогового введення сигналів термопар NLS-8TI наведені у табл. 5.11.

Таблиця 5.11_ Технічні характеристики модуля введення аналогових сигналів струму NLS-8AI-I[32]

Параметр	Значення
Габарити (В x Ш x Г):	109x22,5x113 мм
Кріплення	кріплення на дин-рейку
Температурний діапазон	-40...+70 °С
Підключення	8 диференціальних каналів аналогового введення сигналів термопар типів К (ТХА), J (ТЖК), В (ТПР), L (ТХК), Е (ТХКн), S (ТПП 10%), R (ТПП 13%), N (ТНН), Т (ТМК), напруги з програмно встановлюваними діапазонами ± 15 мВ, ± 50 мВ, ± 100 мВ, ± 500 мВ, ± 1 В, $\pm 2,5$ В

Продовження таблиці 5.11

Параметр	Значення
Розрядність	16 разрядів
Контроль датчика:	апаратна діагностика обриву датчика
Діапазони та типи термопар	незалежна установка діапазонів вимірювань для кожного каналу (тільки для режиму ASCII)
Гальванічна ізоляція	напруга гальванічної ізоляції 2500 В
Види захисту	11 видів захисту: від перенапруги і струмового перевантаження по входу, виходу, інтерфейсу, від перегріву, статичної електрики і ін.
Смуга пропускання	13,1 Гц
Похибка вимірювань	основна похибка вимірювання не гірше $\pm 0,1\%$
Коефіцієнт завади	коефіцієнт ослаблення завади загального вигляду з частотою 50 Гц - не менше 100 дБ
Інтерфейс підключення	інтерфейс RS-485
Протоколи:RS-485	протокол за змовчуванням - DCON (ADAM-сумісний) і MODBUS RTU (вмикається програмно)
Конструкція	слотова конструкція, шинний роз'єм для інтерфейсу RS-485 і живлення

Модуль аналогового введення сигналів термоопорів NLS-4RTD[33] для вимірювання температури за допомогою датчиків TCM, ТСП, ТСН і стабілізації температури

Технічні характеристики модуля аналогового введення сигналів термопар NLS-8TI наведені у табл. 5.12.

Таблиця 5.12_ Технічні характеристики модуля аналогового введення сигналів термоопорів NLS-4RTD[33]

Параметр	Значення
Габарити (В x Ш x Г):	109x22,5x113 мм
Кріплення	кріплення на дин-рейку
Температурний діапазон	-40...+70 °С
Підключення	4 диференціальних канали аналогового введення для терморезистивних перетворювачів TCM, ТСП, ТСН

Продовження таблиці 5.12

Параметр	Значення
Схеми підключень	4 датчики по 4-х, 3-х або 2-х провідній схемі підключення
Розрядність	16 разрядів
Контроль датчика:	апаратна діагностика обриву і к.з. датчика
Діапазони вимірювань	незалежна установка діапазонів вимірювань для кожного каналу (тільки для режиму ASCII)
Гальванічна ізоляція	напруга гальванічної ізоляції 2500 В
Види захисту	11 видів захисту: від перенапруги і струмового перевантаження по входу, виходу, інтерфейсу, від перегріву, статичної електрики і ін.
Смуга пропускання	13,1 Гц
Похибка вимірювань	основна похибка вимірювання не гірше $\pm 0,2\%$
Коефіцієнт завади	коефіцієнт ослаблення завади загального вигляду з частотою 50 Гц - не менше 100 дБ
Інтерфейс підключення	інтерфейс RS-485
Протоколи:RS-485	протокол за змовчуванням - DCON (ADAM-сумісний) і MODBUS RTU (вмикається програмно)
Конструкція	слотова конструкція, шинний роз'єм для інтерфейсу RS-485 і живлення

Модуль дискретного введення NLS-16DI[35] призначений для дискретного введення

Технічні характеристики модуля дискретного введення NLS-16DI наведені у табл. 5.13.

Таблиця 5.13_ Технічні характеристики модуля дискретного введення NLS-16DI[35]

Параметр	Значення
Габарити (В x Ш x Г):	109x22,5x113 мм
Кріплення	кріплення на дин-рейку
Температурний діапазон	-40...+70 °С
Підключення	16 каналів дискретного введення з груповою ізоляцією
Схеми підключень	4 датчики по 4-х, 3-х або 2-х провідній схемі підключення

Продовження таблиці 5.13

Параметр	Значення
Розрядність	16 разрядів
Дисплей:	світлодіодний дисплей
Контроль датчика:	апаратна діагностика обриву і к.з. датчика
Гальванічна ізоляція	напруга гальванічної ізоляції 2500 В
Види захисту	11 видів захисту: від перенапруги і струмового перевантаження по входу, виходу, інтерфейсу, від перегріву, статичної електрики і ін.
Смуга пропускання	13,1 Гц
Похибка вимірювань	основна похибка вимірювання не гірше $\pm 0,2\%$
Коефіцієнт завади	коефіцієнт ослаблення завади загального вигляду з частотою 50 Гц - не менше 100 дБ
Струм споживання	знижений струм споживання по входах (менше 2 мА)
Рівень логічного нуля	не більше 2 В
Рівень логічної одиниці:	3...30 В
Інтерфейс підключення	інтерфейс RS-485
Протоколи:RS-485	протокол за змовчуванням - DCON (ADAM-сумісний) і MODBUS RTU (вмикається програмно)
Конструкція	слотова конструкція, шинний роз'єм для інтерфейсу RS-485 і живлення

Модуль дискретного виводу NLS-16DO[36] призначений для виведення дискретних сигналів.

Технічні характеристики модуля дискретного виводу NLS-16DO наведені у табл. 5.14.

Таблиця 5.14_ Технічні характеристики модуля дискретного виводу NLS-16DO[36]

Параметр	Значення
Габарити (В x Ш x Г):	109x22,5x113 мм
Кріплення	кріплення на дин-рейку
Температурний діапазон	-40...+70 °С
Підключення	16 каналів дискретного виводу з інтелектуальними ключами 35В, 0,75 А

Продовження таблиці 5.14

Параметр	Значення
Розрядність	16 разрядів
Гальванічна ізоляція	напруга гальванічної ізоляції 3,7 кВ
Види захисту	11 видів захисту: від перенапруги і струмового перевантаження по входу, виходу, інтерфейсу, від перегріву, статичної електрики і ін.
Інтерфейс підключення	інтерфейс RS-485
Протоколи:RS-485	протокол за змовчуванням - DCON (ADAM-сумісний) і MODBUS RTU (вмикається програмно)
Конструкція	слотова конструкція, шинний роз'єм для інтерфейсу RS-485 і живлення

Порівнявши характеристики обладнання Segnetics і RealLab!, виберемо програмований логічний контролер NLScon-CE-I фірми Segnetics, який повністю відповідає вимогам і надає можливість для подальшої модернізації системи управління.

6 ВИБІР ТОПОЛОГІЇ СИСТЕМИ І РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ

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

Як правило, структура відображає концепцію центрального стратегічного управління і розподіленого оперативного (диспетчерського) і є моделлю інтегрованої автоматизованої системи управління.

Сучасні системи управління складними об'єктами промислової технології будуються за ієрархічним принципом. Це означає, що система управління такими об'єктами розчленовується на ряд систем, які стоять на різних рівнях підпорядкування. Система вищого рангу, орієнтуючись на загальний (глобальний) критерій управління, видає команди на включення або відключення окремих локальних об'єктів, а також здійснює вибір локальних критеріїв управління цими об'єктами. Локальні системи управління здійснюють підтримку заданих оптимальних режимів як в пускових, так і в нормальних експлуатаційних умовах. Будучи нижнім ієрархічним рівнем автоматичних систем управління промисловими об'єктами локальні системи здійснюють функції вимірювання, контролю та регулювання основних технологічних параметрів, що характеризують стан технологічного процесу. Кількість регульованих параметрів в окремо взятій локальній системі управління невелике і становить один або два параметри. Із загальної кількості систем управління сучасним виробництвом локальні системи складають близько 80%. Якість роботи локальних систем управління багато в чому визначає стабільність і якість вихідного продукту, а отже і рентабельність виробництва.

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

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

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.

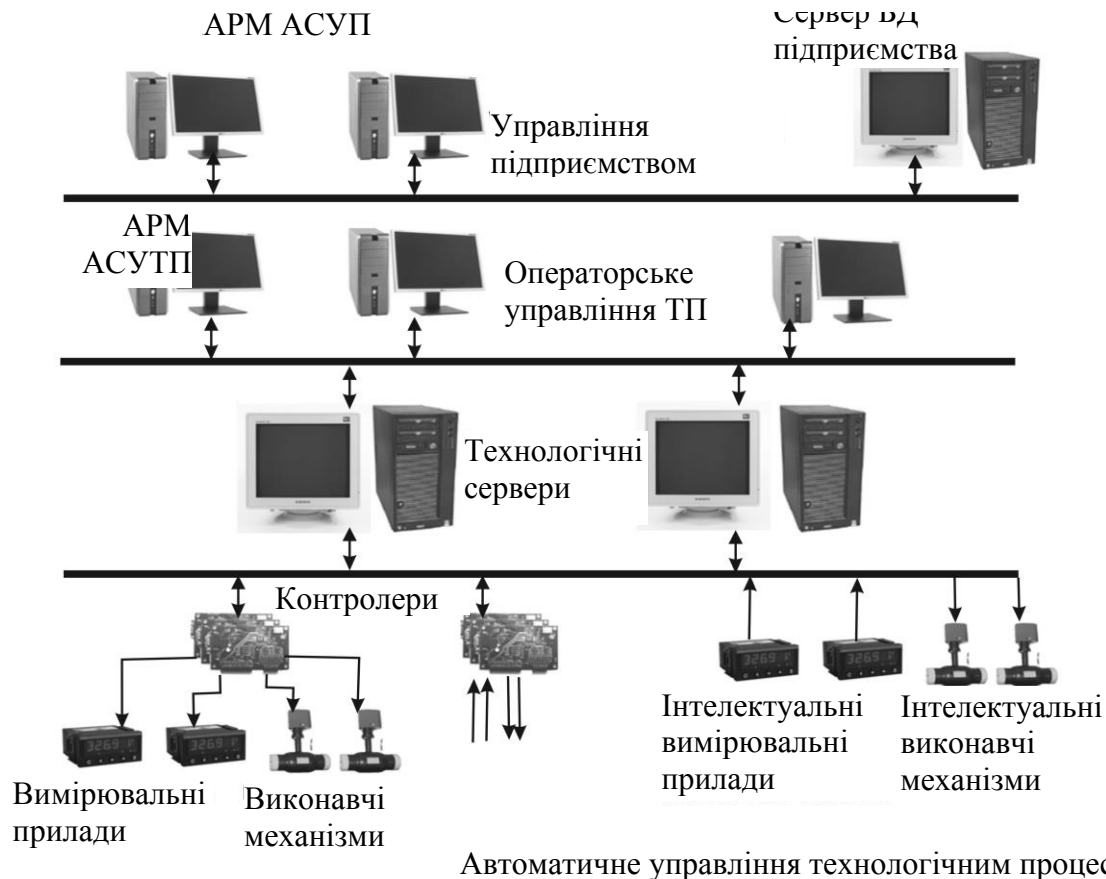


Рисунок 6.1 - Узагальнена структурна схема тривірневої автоматизованої системи управління сучасного виробництва

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 технологічної апаратурою;

2) відображення інформації про поточні параметри технологічного процесу на екрані монітора у вигляді графічних мнемосхем;

3) відображення графіків поточних значень технологічних параметрів в реальному часі за заданий інтервал;

4) виявлення критичних (аварійних) ситуацій;

5) виведення на екран монітора технологічних та аварійних повідомлень;

6) архівування історії зміни параметрів технологічного процесу;

7) операторське управління технологічним процесом;

8) надання даних про параметри технологічного процесу для їх використання в системах управління підприємством.

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

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

7 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

7.1 Побудова математичної моделі системи управління

Для розрахунку виберемо управління підтримкою рівня шару гарячого розчину поташу у абсорбері, оскільки він має значний вплив на процес очищення конвертованого газу.

Технологічна схема системи управління рівнем шару гарячого розчину поташу у абсорбері наведена на рис. 6.1.

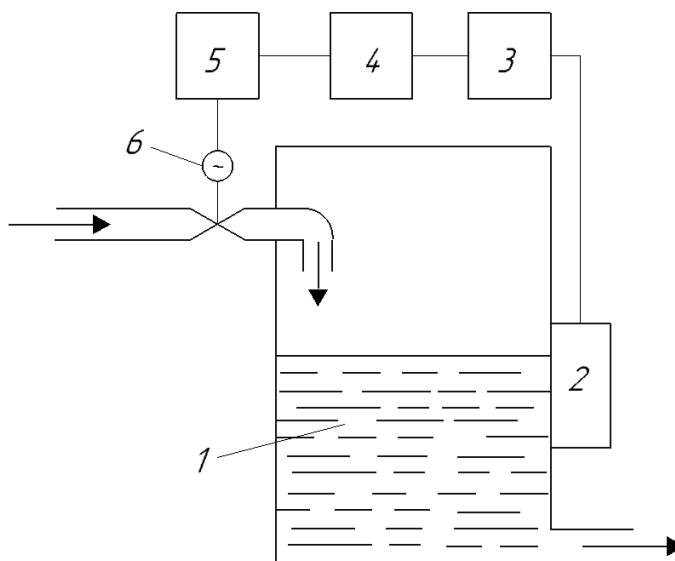


Рисунок 7.1 – Технологічна схема об'єкта регулювання.

Система регулювання рівня шару гарячого розчину поташу у абсорбері включає в себе об'єкт регулювання 1, датчик рівня 2, регулятор 3, попередній підсилювач напруги 4, підсилювач потужності 5, виконавчий механізм 6. Технологічні параметри об'єкта управління представлені в таблиці 7.1.

Система автоматичного регулювання забезпечує підтримку рівня в заданих межах при дії збурюючих впливів.

Вихідним параметром об'єкта управління є рівень шару гарячого розчину поташу у абсорбері. Керуючим впливом є витрата гарячого розчину поташу, що проходить через виконавчий механізм.

Це класична система управління зі зворотним зв'язком. Для забезпечення роботи такої системи необхідно вимірювати регульований параметр, порівняти його із заданим значенням, визначити величину помилки і її знак; розрахувати за обраним алгоритмом управління керуючий вплив; подати керуючий вплив через виконавчий механізм на об'єкт управління [39].

Чутливий елемент датчика перетворює вимірювану величину в величину, зручну для дистанційної передачі і подальшого використання. Основними метрологічними

характеристиками датчиків є чутливість і інерційність. Чутливість датчика визначається залежністю зміни вихідної величини датчика від вхідних, інерційність - постійною часу і запізненням, тобто динамічними властивостями.

На практиці прагнуть того, щоб постійна часу датчика була набагато меншою постійної часу регулювання, тобто щоб датчики були малоінерційними, в іншому випадку характеристики датчика можуть істотно впливати на стійкість і якісні показники системи управління.

Вибраний датчик Rosemount 3051L вимірює рівень шляхом вимірювання тиску гідростатичного стовпа рідини $P = \rho \cdot g \cdot H$ на пружну мембрану з тензодатчиком. Даний датчик працює в системах контролю рівня рідин і має стандартний вихідний сигнал 4...20 мА і напругу живлення постійним струмом 30 В. ; $I_{вх} = 200$ мА; $P_{вх} = 0,9$ Вт. Будова датчика наведена на рис. 7.2.

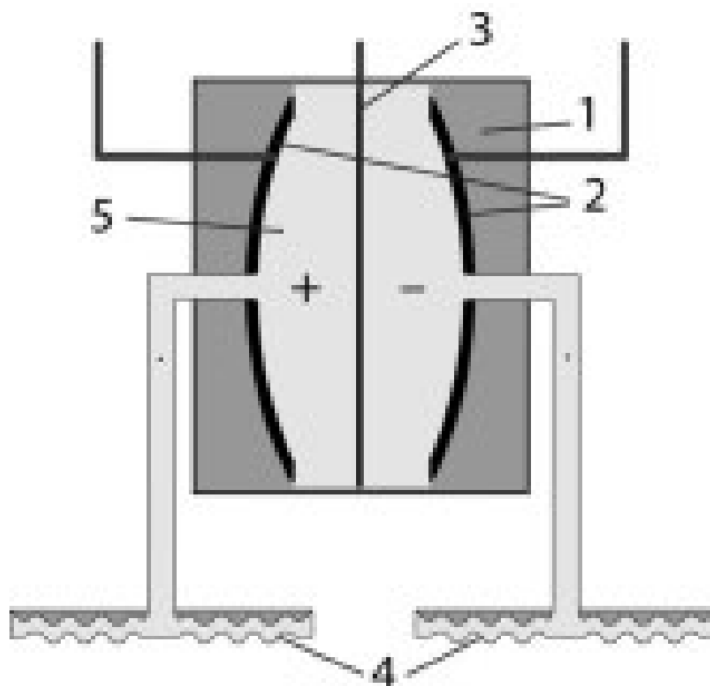


Рисунок 7.2 – Рис.1. Конструкція емнісного сенсора датчика Rosemount 3051L:

1 капсульний захист; 2 пластини конденсатора; 3 сенсорна мембрана; 4 розділові мембрани; 5 заповнююча рідина.

У датчиках на базі емнісного сенсора тиск процесу через розділові мембрани (мембрану в датчиках надлишкового тиску) і рідину, що заповнює, передається на вимірювальну мембрану, розташовану між пластинами конденсатора. Під впливом вимірюваного тиску мембрана прогинається і в результаті змінюється електрична ємність осередків, утворених сенсорною мембраною і пластинами конденсатора.

У датчиках з тензорезистивним сенсором вимірюваний тиск через розділову мембрану і заповнюючу рідину передається на вимірювальну мембрану, вигин якої викликає зміну опору в колі мосту Вінстона.

Генерується електричний сигнал, який нормується і коригується електронним блоком і у вигляді аналогового сигналу 5...20 мА або перетвореного цифрового 1...5 В постійного струму (зі зміною за лінійним законом або за законом квадратного кореня) передається на мікроконтролер. Для датчика $U_{вх} = 30$ В; $I_{вх} = 200$ мА; $P_{вх} = 0,9$ Вт; $C_{вх} = 0,012$ мкФ.

У якості регулятора використовується мікроконтролер NLScon-CE-I. В ньому інтегрований мікроелектронний процесор, підсилювач напруги і підсилювач потужності, а також програмований здавач величини регульованого параметру.

Виконавчий механізм призначений для безпосереднього впливу на об'єкт регулювання. Він повинен забезпечити передачу керуючого впливу на об'єкт управління з якомога меншими спотвореннями.

Функціональна схема автоматичного регулювання рівня барботажного шару, що включає елементи, задіяні в системі, представлена на рис. 7.3. Всі елементи узгоджені за типом сигналів, діапазонами їх змін та потужності.

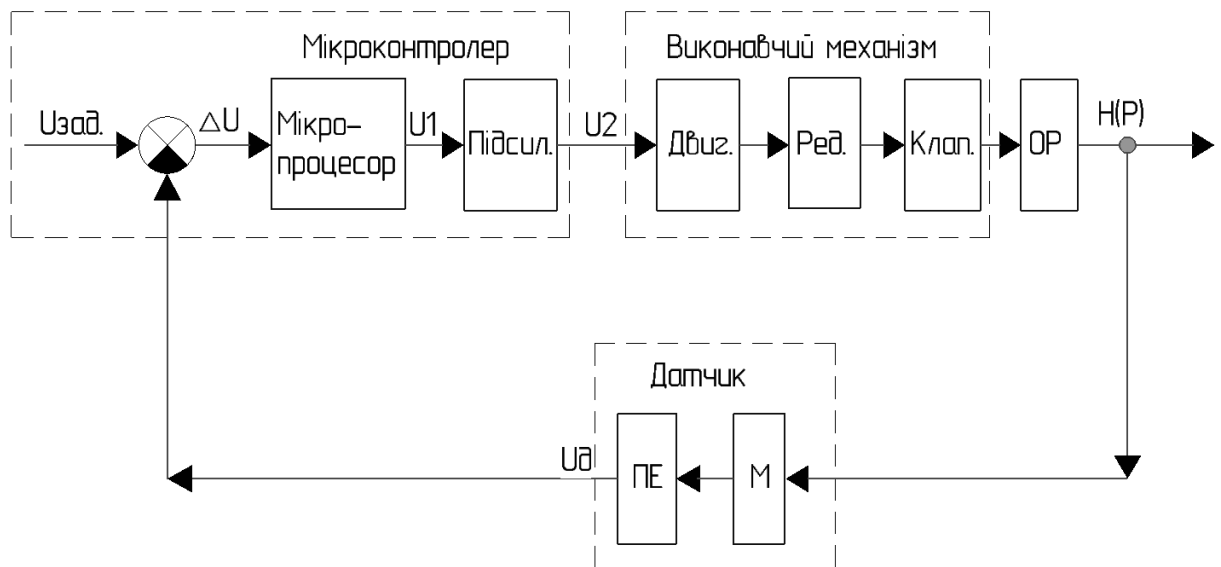


Рисунок 7.3 – Функціональна схема автоматичного регулювання рівня барботажного шару.

Мікроконтролер – регулятор; Підсил. – підсилювач; Двиг. – двигун; Ред – редуктор; Клап. – клапан; ОР - об'єкт регулювання; Датчик – ланка зворотного зв'язку; М – мембрана; ПЕ - п'єзоелемент.

Закон зміни величини, що регулюється, і значення рівня задаються в регуляторі. При зміні рівня барботажного шару в абсорбері змінюється вихідний сигнал датчика. В регуляторі відбувається порівняння цього сигналу із заданим і з'являється сигнал неузгодження. У залежності від величини, напряму і швидкості зміни неузгодження мікропроцесор розраховує за вибраним законом значення управляючого впливу і видає його на підсилювач. Посилений сигнал поступає на виконавчий механізм, який змінює положення клапана, тим самим змінюючи витрату, і регулює рівень.

7.1.1 Побудова математичних моделей елементів

Для динамічного синтезу системи побудуємо математичні моделі елементів системи управління.

7.1.1.1 Модель елемента зворотного зв'язку

В зворотному зв'язку маємо датчик рівня. Датчик складається з двох елементів: мембрани і п'єзоелемента.

Передавальна функція датчика описується виразом [47]:

$$W_d(p) = \frac{k}{(Tp + 1)},$$

Коефіцієнт передачі датчика визначимо по статичній характеристиці:

$$k = \frac{\Delta I}{\Delta P} = \frac{20 \cdot 10^{-3}}{2,4} = 8,3 \cdot 10^{-3} \frac{A}{\text{кгс/см}^2},$$

де ΔI - тах вихідний струмовий сигнал,

ΔP - тах тиск.

Постійна часу буде визначатися як постійна часу мембрани за формулою:

$$T_M = f/c,$$

де $f = 101 \cdot 10^{-8}$ - коефіцієнт в'язкого тертя;

$$c = \frac{2 \cdot E \cdot h^3 \cdot (1 + \alpha)(3 + \alpha)}{3 \cdot (1 - \mu^2/\alpha^2) \cdot R^4 \cdot \left(1 - \left(\frac{\alpha + 1}{\alpha - 1} \cdot \rho\right)^4\right)} - \text{жорсткість мембрани};$$

$R = 30$ - робочий радіус мембрани, мм;

$h = 0,35$ - товщина мембрани, мм;

$E = 2,1 \cdot 10^{11}$ - модуль пружності матеріалу, Па;

$\rho = 0,2$ - відносний радіус жорсткого центру, мм;

$\alpha = 3,64$.

Підставивши значення в формулу, отримаємо:

$$c = \frac{2 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 0,35^3 \cdot (1 + 3,64)(3 + 3,64)}{3 \cdot (1 - 0,3^2/3,64^2) \cdot 30^4 \cdot \left(1 - \left(\frac{3,64 + 1}{3,64 - 1} \cdot 0,2\right)^4\right)} = 2,3 \cdot 10^5$$

Тоді отримаємо:

$$T_M = f/c = \frac{101 \cdot 10^{-8}}{2,3 \cdot 10^5} = 4,3 \cdot 10^{-12}$$

Передавальна функція датчика буде:

$$W_D(p) = \frac{k}{(Tp + 1)} = \frac{8,3 \cdot 10^{-3}}{(4,3 \cdot 10^{-12} p + 1)}$$

7.1.1.2 Підсилювач описується диференціальним рівнянням 1 порядку:

$$T_2 \frac{dU_2}{dt} + U_2 = k_2 U_1,$$

де U_1 - вхідна напруга підсилювача;

U_2 - вихідна напруга підсилювача;

k - коефіцієнт посилення підсилювача.

Тоді передатна функція підсилювача має вигляд аперіодичної ланки 1 порядку:

$$W_{\text{підс}}(p) = \frac{U_2(p)}{U_1(p)} = \frac{K}{Np + 1}$$

Коефіцієнт посилення підсилювача вибираємо з умови узгодження вихідного сигналу мікропроцесора 5 В з вихідною напругою підсилювача, що дорівнює 220 В.

$$k = \frac{220}{5} = 44$$

Час перехідного процесу підсилювального елемента в ПЛК ОВЕН63 складає $t_{\text{пер}} = 0,004$ с. Для ланки 1 порядку час перехідного процесу пов'язаний з постійною часу наступною залежністю:

$$t_{\text{пер}} = (3 \div 4)T \approx 4T$$

За цією формулою постійна часу підсилювального елемента дорівнює:

$$T = \frac{t_{\text{пер}}}{4} = \frac{0,004}{4} = 0,001 \text{ с}$$

Тоді передавальна функція підсилювального елемента має вигляд:

$$W_{\text{підс}}(p) = \frac{k}{Tp + 1} = \frac{44}{0,0001p + 1} = 44.$$

7.1.1.3 Виконавчий механізм

Виконавчим механізмом є механізм електричний однооборотний, який має три ланки. Двигун.

Потужність двигуна ($P_{\text{дв}}$) – 45 Вт.

Напруга живлення ($U_{\text{ж}}$) - 220В.

Число полюсів (n) – 12.

Момент навантаження на валу ($M_{\text{н}}$) – 45 Нм.

Робоча напруга 15... 30 В змінного струму / 50... 60 Гц / 12... 48 В постійного струму
100... 240 В змінного струму / 50... 60 Гц / 100... 350 В постійного струму.

Вхід -0 ... 10 В/-4 ... 20 мА/-0 ... 20 мА.

Вихід -0 ... 10 В/-4 ... 20 мА/-0 ... 20 мА.

Нагрівальний резистор 10 Вт.

Передавальна функція двигуна визначається виразом:

$$W_{дв}(p) = \frac{k}{p(Tp + 1)}$$

$$k = \frac{P_{дв} \cdot n}{M_{н}} = 0,14 \frac{45 \cdot 12}{45} = 1,05$$

$$T = \frac{P_{дв}}{n \cdot U_{ж}} = 3,3 \frac{45}{12 \cdot 220} = 0,031$$

$$W_{дв}(p) = \frac{k}{p(Tp + 1)} = \frac{1,05}{p(0,031p + 1)}$$

Редуктор.

Передавальною функцією редуктора є величина, зворотна його передавальному числу (i).

$$W_{ред}(p) = \frac{1}{i} = k$$

За паспортними даними передавальне число редуктора = 416,7

$$W_{ред}(p) = \frac{1}{416,7} = 2,4 \cdot 10^{-3}$$

Клапан.

Передавальна функція клапана розраховується за формулою:

$$W_{кл}(p) = k$$

Коефіцієнт передачі k знайдемо за статичною характеристикою:

$$k = \frac{\Delta L}{\Delta \omega} = \frac{0,5}{0,25} = 2(\text{м/рад})$$

$$W_{кл}(p) = 2$$

Передавальна функція виконавчого механізму буде виглядати наступним чином:

$$W_{вм}(p) = W_{дв}(p) \cdot W_{ред}(p) \cdot W_{кл}(p)$$

$$W_{вм}(p) = \frac{1,05 \cdot 2 \cdot 2,4 \cdot 10^{-3}}{p(0,031p + 1)} = \frac{5,04 \cdot 10^{-3}}{p(0,031p + 1)}$$

7.1.1.4 Об'єкт регулювання рівень шару гарячого розчину поташу у абсорбері (ємність з рідиною).

Графічна модель об'єкта регулювання наведена на рис. 7.4.

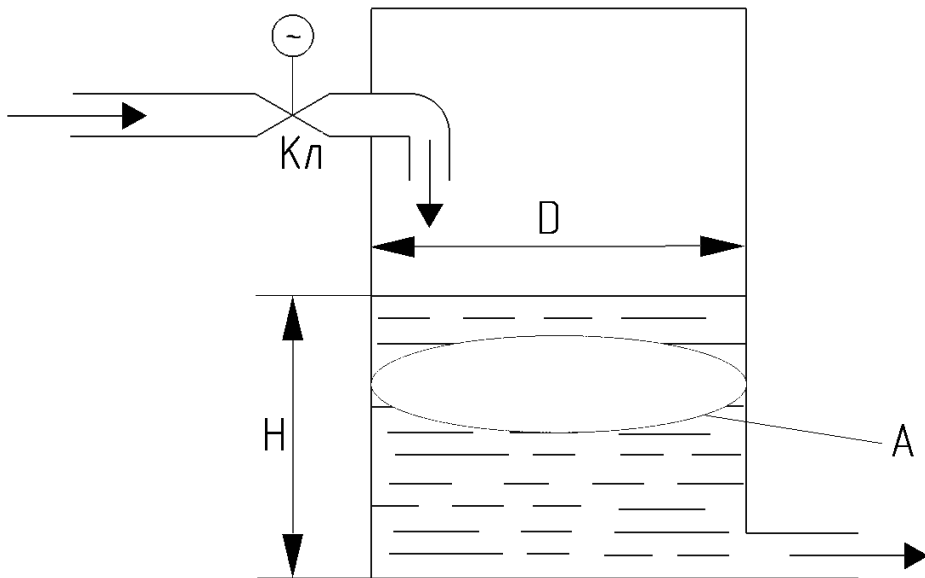


Рисунок 7.4 - Графічна модель об'єкта регулювання

Об'єкт регулювання є стійкою ланкою першого порядку, і його передавальну функцію знайдемо по формулі:

$$W_{OP}(p) = \frac{k}{Tp + 1}$$

Коефіцієнт передачі дорівнює:

$$k_{33} = \frac{1}{2}$$

Постійну часу об'єкта регулювання знайдемо за формулою:

$$T = \frac{T_\varepsilon}{k_{33}}$$

$$T_\varepsilon = \frac{A \cdot L_0}{F_0} = \frac{12.5 \cdot 0.1}{0.041} = 30.45$$

- час розгону ОР,

де $A = \pi \cdot R^2 = 3.14 \cdot 2^2 = 12.5$ - площа горизонтального перерізу ОР;

L_0, F_0 - значення відповідних величин при рівноважному стані ОР.

$$k_{33} = \frac{1}{2}$$

$$T = \frac{30.45}{(1/2)} = 61 \text{ с (1 хв.)}$$

Отримаємо передавальну функцію:

$$W_{OP}(p) = \frac{k}{Tp + 1} = \frac{2}{61p + 1}$$

7.1.1.4 Мікропроцесор

Розглянемо мікропроцесор, як імпульсний елемент системи - RISC-процесор NVIDIA© Tegra 2 (2 ядра Cortex A9, частота 1 ГГц) і розрахуємо його дискретність по відношенню до об'єкта регулювання.

Один такт програми виконується за $1/10^9$ частоти мікропроцесора, відповідно за 1 хвилину обробляється $6 \cdot 10^{10}$ тактів програми.

Припустимо, що для прийняття рішення мікропроцесора необхідно 10^3 тактів програми, тоді дискретність мікропроцесора дорівнює $6 \cdot 10^3$ тактів за хвилину, а період дискретності $T=0,012 \cdot 10^{-3}$ хвилини, що зводить до нуля дискретність мікроконтролера за часом, так як найбільша постійна часу в системі приблизно дорівнює 1 хв.

Тому робимо висновок, що мікропроцесор не вносить завад і затримок в розглянуту систему, і його передавальну функцію приймаємо за одиницю.

7.1.2 Структурна схема системи

Структурна схема автоматичного регулювання рівня в ємності, що включає передавальні функції елементів, представлена на рисунку 7.5. Всі передавальні функції елементів узгоджені за типом сигналів, діапазонами їх зміни і потужності.

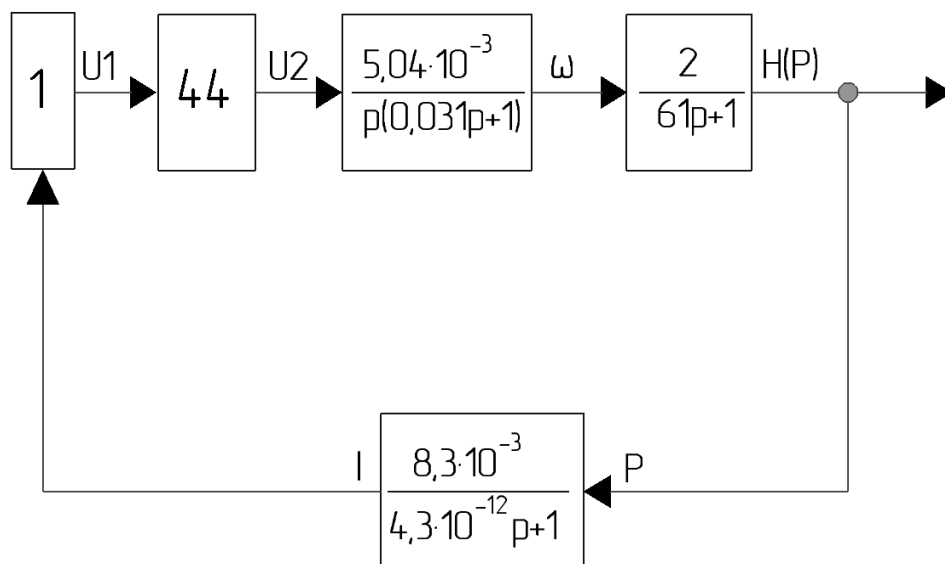


Рисунок 7.5 - Структурна схема системи

7.2 Аналіз системи

7.2.1 Розрахунок системи на стійкість

Всі розрахунки системи зроблені в програмі MathCad 2016.

Передавальна характеристика розімкнутої системи дорівнює:

$$W_p(p) = \frac{0,445}{p \cdot (0,031p + 1)(61p + 1)}$$

Оскільки постійна часу $T_1 = 0,031$ набагато менше $T_2 = 61$, то нею нехтуємо і отримуємо передавальну функцію:

$$W_p(p) = \frac{0,445}{p \cdot (61p + 1)}$$

Отримаємо передавальну характеристику замкнутої системи:

$$W_3(p) = \frac{0,445 \cdot (43p + 1 \cdot 10^{13})}{(2,62 \cdot 10^3 p^3 + 6,1 \cdot 10^{14} p^2 + 1 \cdot 10^{13} + 3,69 \cdot 10^{12})}$$

Підставимо замість p $j\omega$, отримаємо:

Знайдемо реальну і уявну частини:

$$U(\omega) := \operatorname{Re}(W(j\omega))$$

$$V(\omega) := \operatorname{Im}(W(j\omega))$$

Побудуємо годограф Найквіста (рис. 7.6).

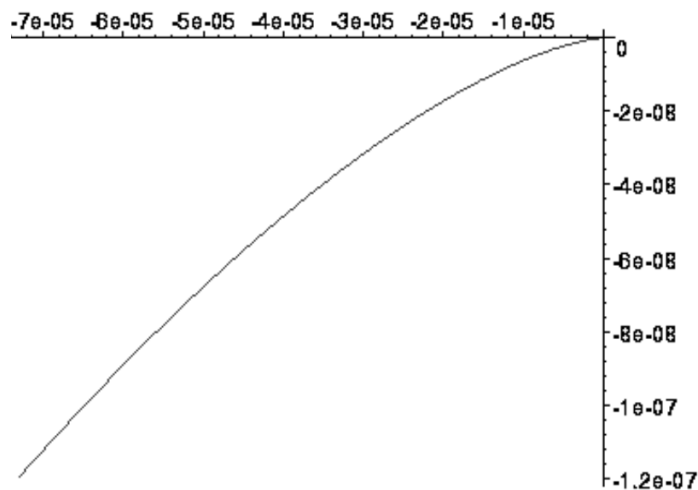


Рисунок 7.6 - Годограф Найквіста

Годограф Найквіста захоплює точку $(-1, j0)$, відповідно система стійка.

7.2.2 Побудова ЛАЧХ і ЛФЧХ системи [48].

Для побудови ЛАЧХ розімкнутої системи застосуємо формулу:

$$A(\omega) := \sqrt{U(\omega)^2 + V(\omega)^2}$$

Побудуємо ЛАЧХ і ЛФЧХ системи (рис. 7.7).

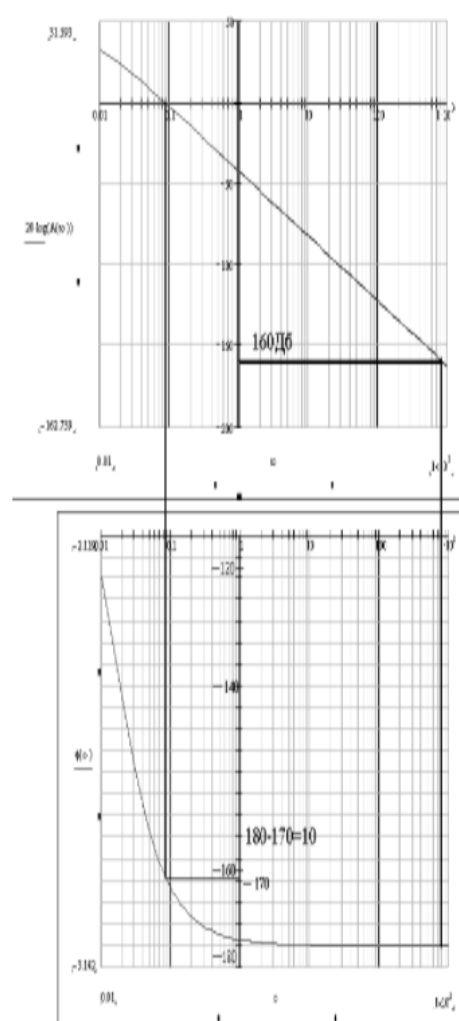


Рисунок 7.7 - ЛАЧХ і ЛФЧХ

За отриманими характеристиками визначаємо запас по амплітуді і запас по фазі. Запас стійкості по амплітуді знаходять по ординаті ЛАЧХ в точці перетину ЛФЧХ з прямою (-180°). Запас стійкості по фазі визначається перевищенням над прямою (-180°) на частоті зрізу ω_z .

Запас по фазі отримали 10°. Такий запас по фазі нас не задовольняє, тому що він повинен перевищувати (30-40)°.

Запас по амплітуді отримали більше 160 Дб.

7.2.3 Побудова перехідного процесу системи

За передавальною функцією замкнутої системи

$$W(p) = \frac{0,445 \cdot (43p + 1 \cdot 10^{13})}{(2,62 \cdot 10^3 + 6,1 \cdot 10^{14}p^2 + 1 \cdot 10^{13}p + 3,69 \cdot 10^{12})}$$

побудуємо перехідний процес системи (рис. 7.8).

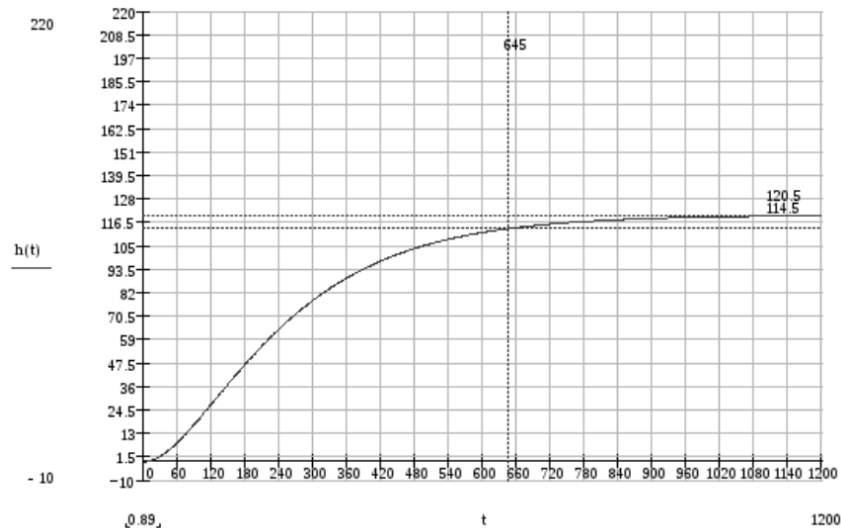


Рисунок 7.8 - перехідний процес системи

За перехідним процесом бачимо, що час регулювання $t_p = 645$ с, перерегулювання $\sigma = 0\%$, що не задовольняє вимогам за дуже великим часом регулювання.

7.3 Синтез системи

7.3.1 Розрахунок і вибір параметрів регулятора

7.3.1.1 Розрахунок налаштування П-регулятора

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

$$W_n(p) = k_n \text{ коливальність}$$

Розрахунок регулятора проведемо методом визначення оптимальних параметрів за показником коливальності (метод В.Я. Ротача) [39].

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 $W_{oy}(\omega)$:

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

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

$$W_p(\omega) = k_p$$

Побудуємо амплітудофазочастотну характеристику розімкнутої системи $W(\omega) = W_n(\omega) \cdot W_{oo}(\omega)$, 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. 7.9.

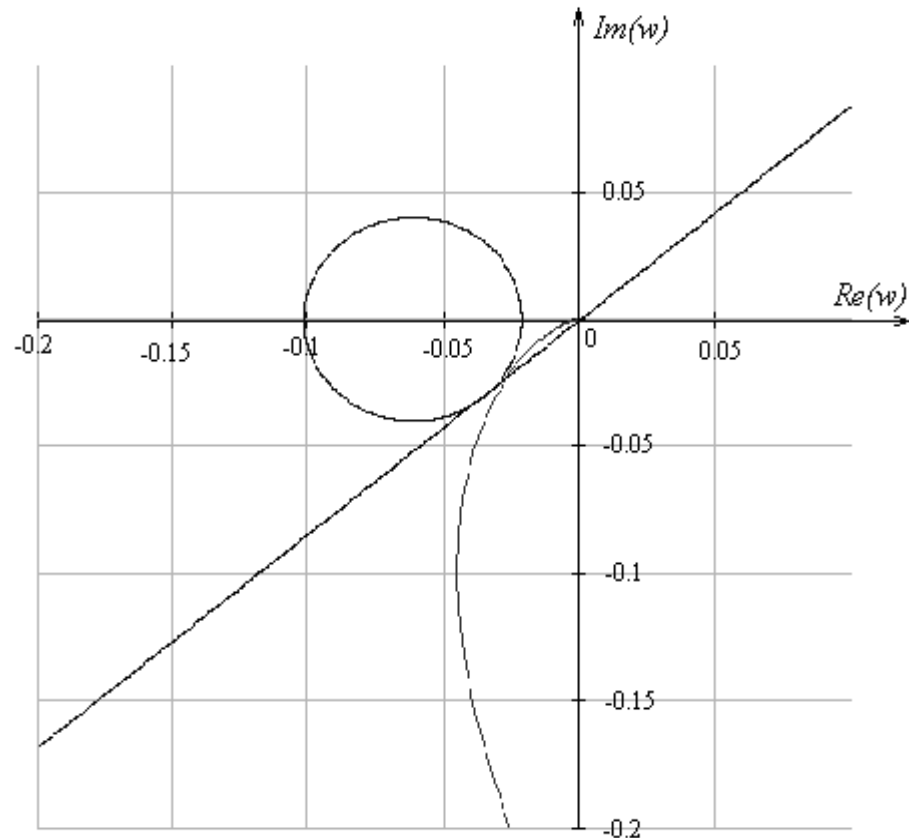


Рисунок 7.9 – АФЧХ розімкнутої системи і заборонена область

Величину коефіцієнта передачі П-регулятора визначаємо з виразу

$$k_p = \frac{M}{M^2 - 1} \cdot \frac{1}{r_{z.o.}} \quad (7.1)$$

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. 7.10.

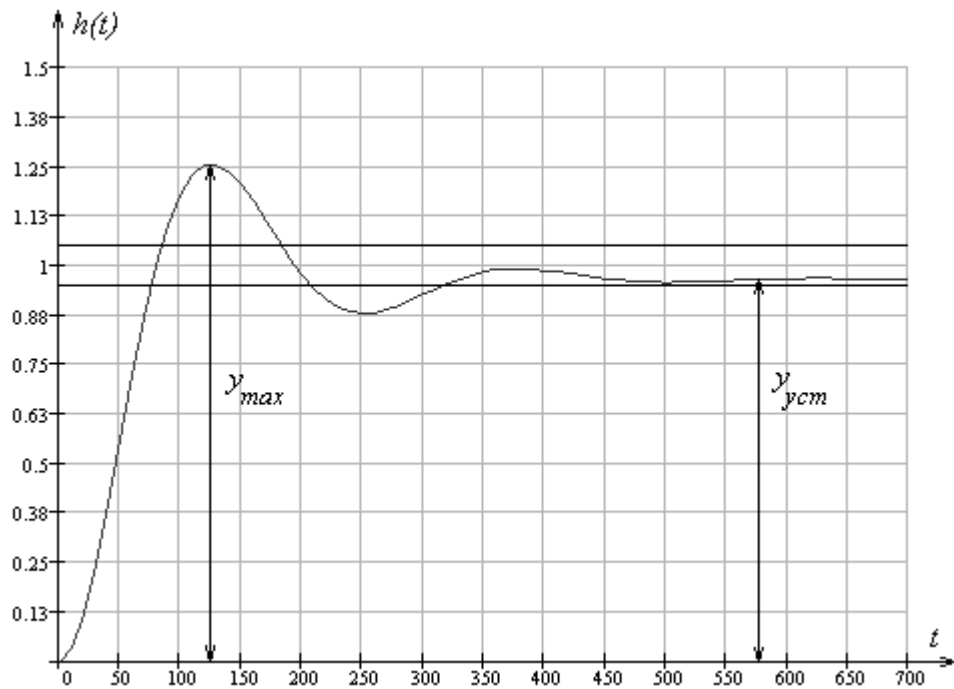


Рисунок 7.10 – Перехідна характеристика замкнутої системи при $k_n = 27.585$

Прямі показники якості, відповідно до отриманого графіка, такі:

- перерегулювання $\sigma = \frac{y_{\max} - y_{уст}}{y_{уст}} \cdot 100\% = \frac{1.25 - 1}{1} \cdot 100\% = 25\%$; (7.2)
- час перехідного процесу $t_p = 318$ c ;
- статична похибка 3% .

7.3.1.2 Розрахунок налаштувань ПІ-регулятора

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

$$W_p(p) = k_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_i p}\right) \quad (7.3)$$

де k_p - коефіцієнт передачі (посилення) регулятора;

T_i - час іздрому.

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

$$W_p(\omega) = k_p + \frac{1}{T_i \cdot j \cdot \omega} \quad (7.4)$$

Побудуємо сімейство АФЧХ розімкнутої системи $W(\omega) = W_p(\omega) \cdot W_{oy}(\omega)$ для різних значень часу іздрому 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 7.11.

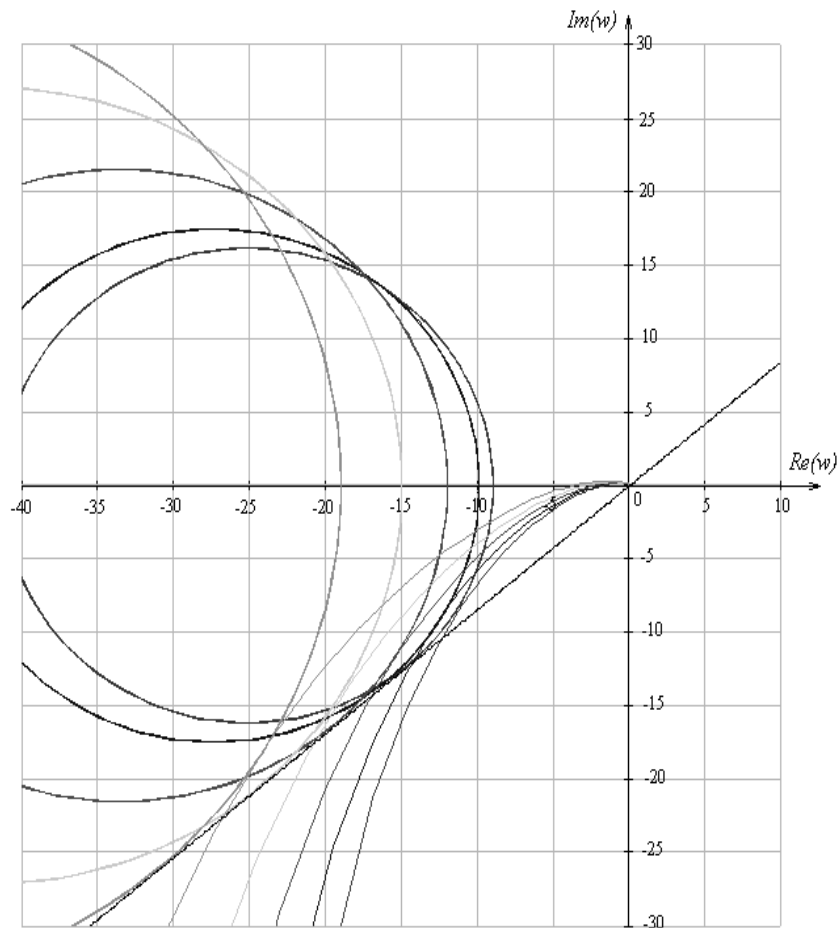


Рисунок 7.11 – Сімейство АФЧХ розімкнутої системи

Величини коефіцієнта посилення ПІ -регулятора визначаємо за формулою (7.1) 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 будуюмо графік залежності $k_p(T_i)$, поданий на рис. 7.12.

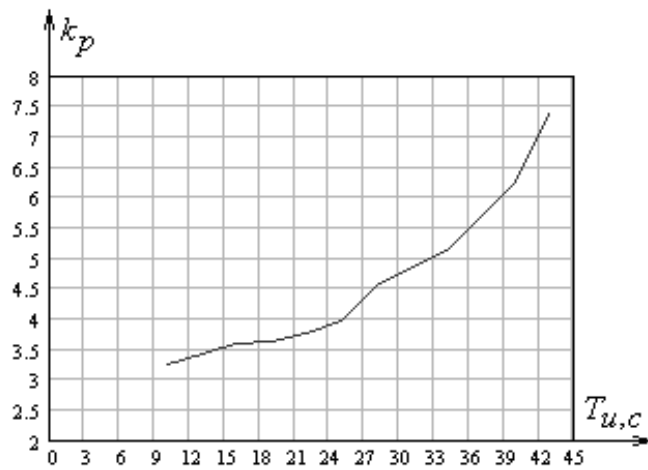


Рисунок 7.12 – Межа області заданого М

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. 7.13.

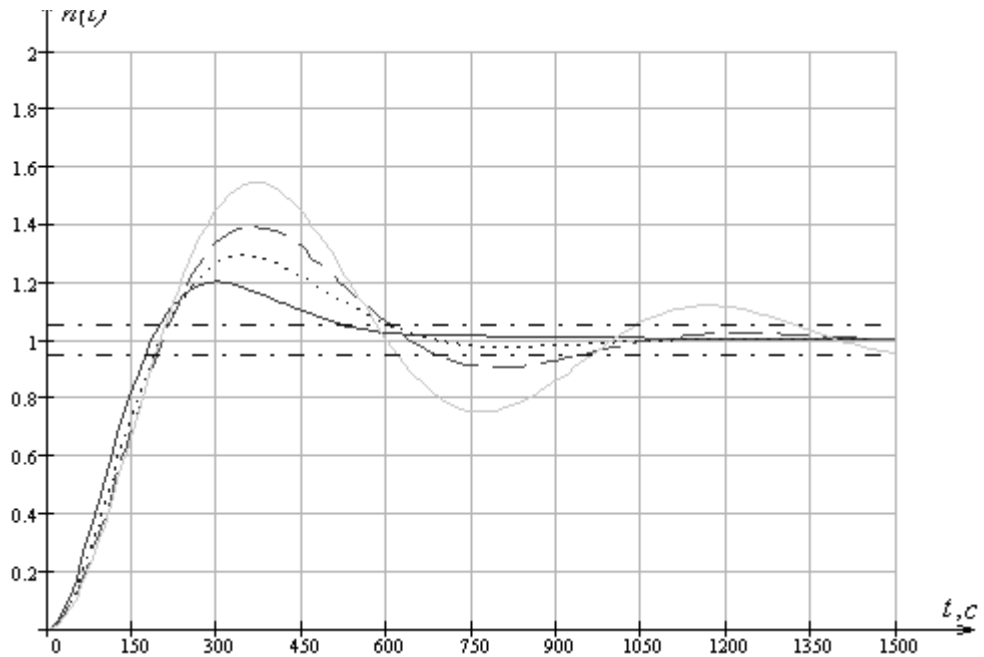
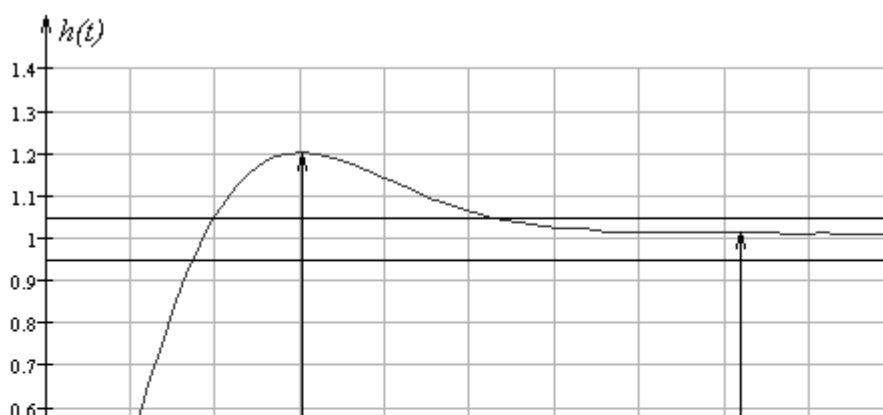


Рисунок 7.13 – Перехідні характеристики САУ для заданого М при різних значеннях часу ізодрому

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. 7.14.



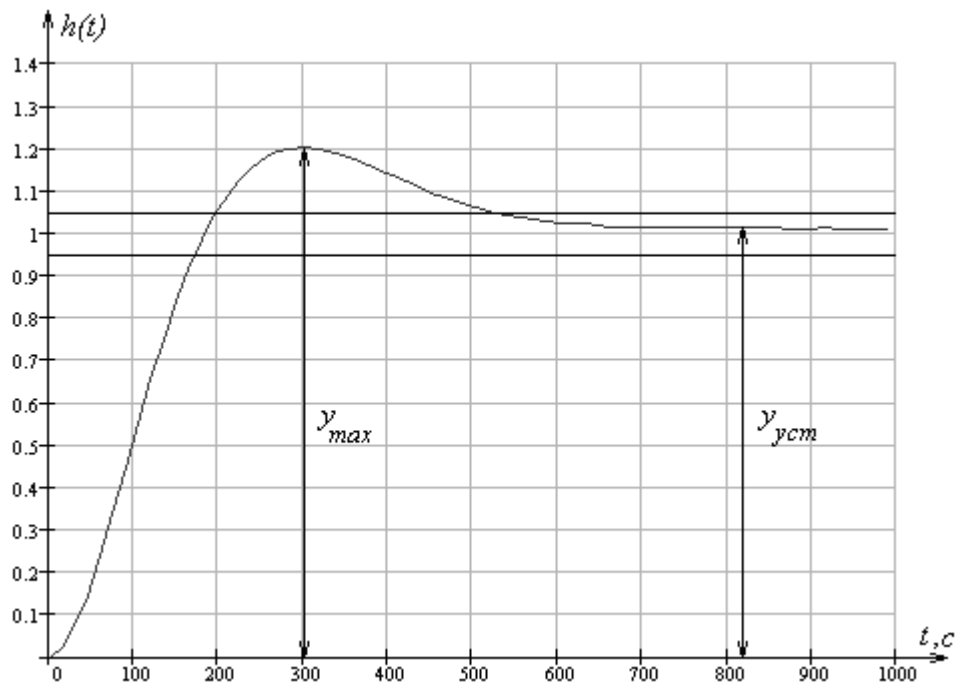


Рисунок 7.14 – Перехідна характеристика замкнутої системи при $k_p = 7,39 T_u = 43 c$

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 $t_p = 540 c$.

7.3.1.3 Розрахунок налаштувань ПІД-регулятора

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

$$W_{нид}(p) = k \cdot \left(1 + \frac{1}{T_u \cdot p} + T_d \cdot p \right) \quad (7.5)$$

де k - коефіцієнт передачі (посилення) регулятора;

T_u - час ізодрому;

T_d - постійна часу диференціювання (час передування).

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

$$W_{нид}(\omega) = k + \frac{1}{T_u \cdot j \cdot \omega} + \alpha \cdot T_u \cdot j \cdot \omega \quad (7.6)$$

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

$$\frac{T_d}{T_u} < 0.25 \quad (7.7)$$

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

Побудуємо сімейство АФЧХ розімкнутої системи $W(\omega) = W_{\text{нуд}}(\omega) \cdot W_{\text{об}}(\omega)$ для різних значень часу іздрому 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. 7.15.

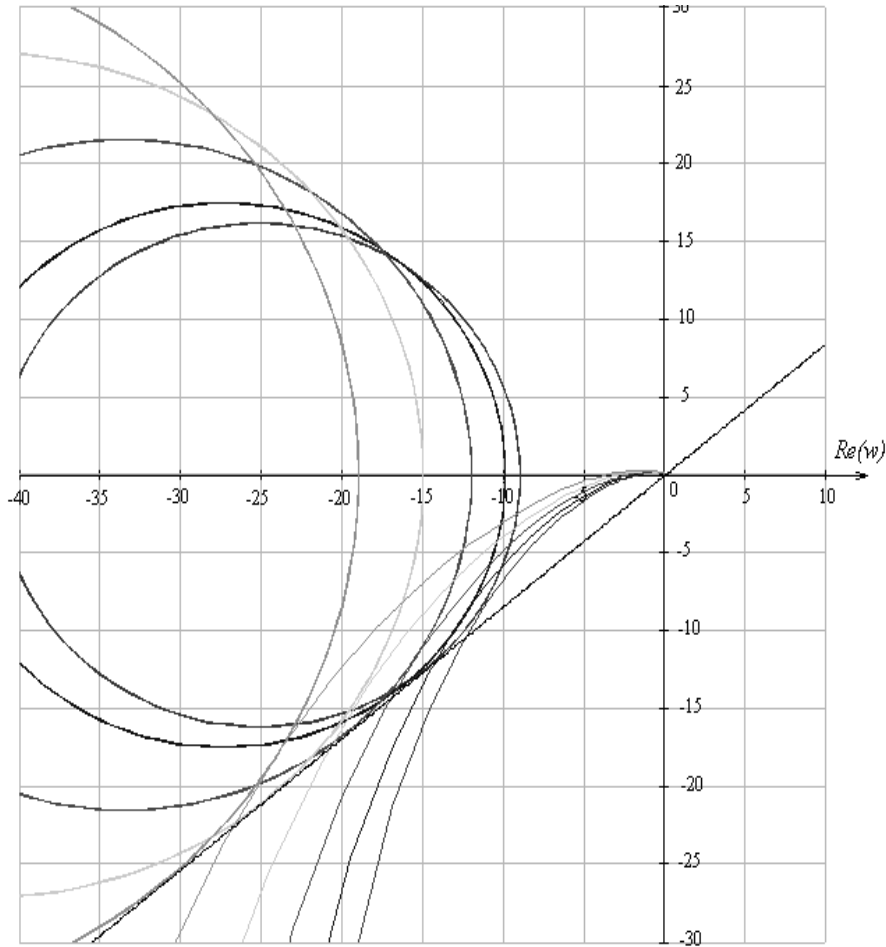


Рисунок 7.15 – Сімейство АФЧХ розімкнутої системи

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_d	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. 7.16.

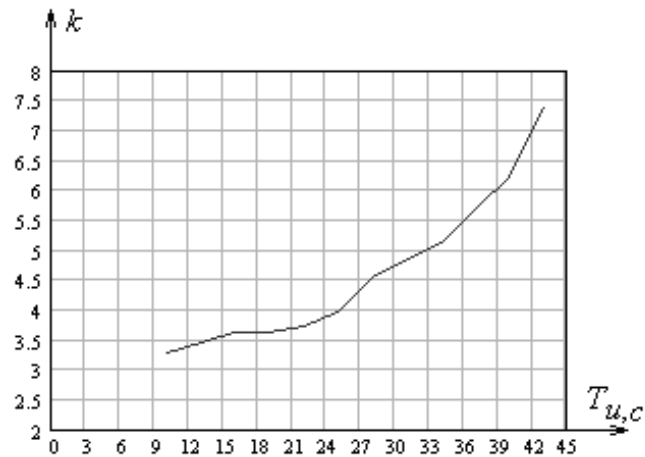


Рисунок 7.16 – Межа області заданого М

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. 7.17.

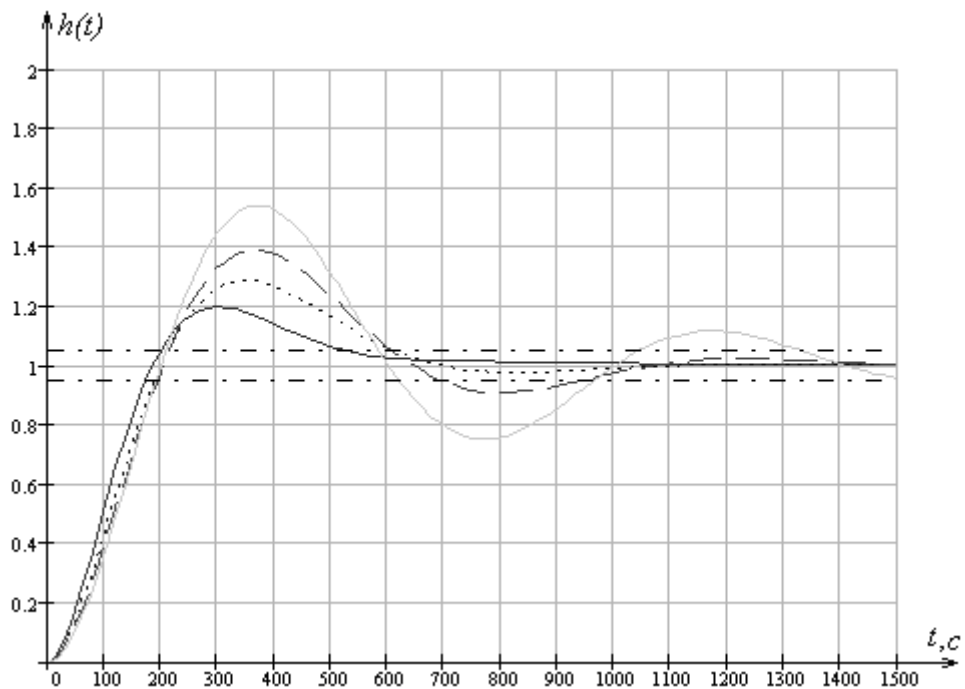


Рисунок 7.17 – Перехідні характеристики САУ для заданого М при різних значеннях часу ізодрому

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. 7.18.

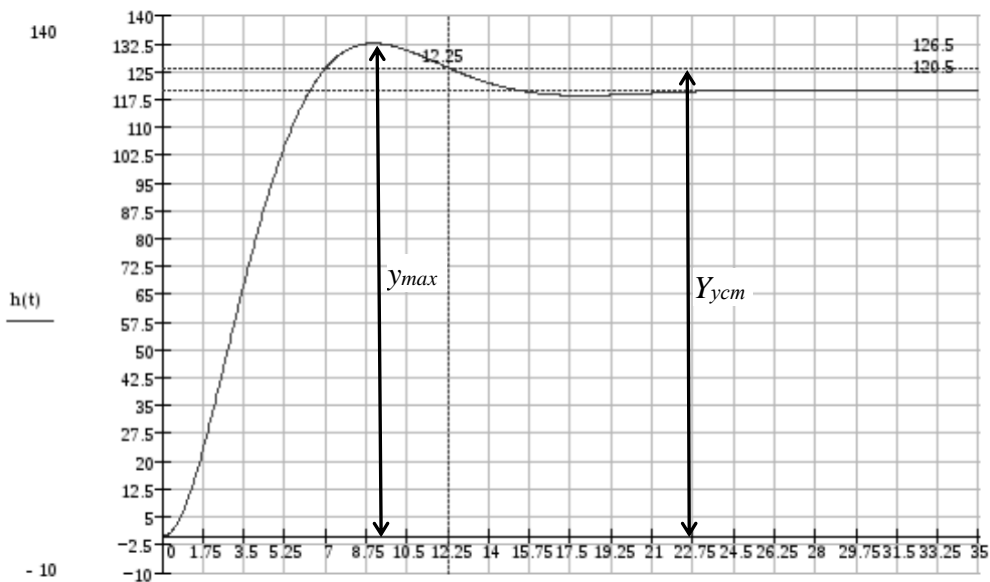


Рисунок 7.18 – Перехідна характеристика замкнутої системи при $k_p = 7,41 T_u = 43 c$

Прямі показники якості, відповідно до отриманого графіку, такі:

- Перерегулювання
$$\sigma = \frac{y_{\max} - y_{уст}}{y_{уст}} \cdot 100 \% = \frac{132,5 - 120,5}{120,5} = 11\%$$
 ;
- час перехідного процесу $t_p=12,25 c$.

Порівнюючи отримані результати, бачимо, що П-регулятор дає статичну помилку, а також перерегулювання 25%, що не задовольняє заданим умовам. ПІ-регулятор і ПІД-регулятор дають результати, які відрізняються незначно. Оскільки ПІД-регулятор більш чутливий до завад і складніший в реалізації, то для управління рівень шару гарячого розчину поташу у абсорбері будемо використовувати ПІ -регулятор.

8 АЛГОРИТМ РОБОТИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

Перед запуском процесу проводиться попередня перевірка готовності до роботи. Перевіряється працездатність і справність двигунів і виконавчих механізмів. Проводиться опитування всіх датчиків і установка параметрів регулювання. Потім система переходить в режим очікування команди оператора. Після підтвердження оператором готовності система починає цикл виконання стадій технологічного процесу очищення конвертованого газу і регенерації гарячого розчину поташу.

Алгоритм управління технологічним процесом очищення конвертованого газу гарячим розчином поташу дає уявлення про послідовності реалізованих дій. Технологічний процес очищення конвертованого газу гарячим розчином поташу є безперервним від початку його запуску до вимикання оператором в разі відсутності технологічних збоїв і аварійних ситуацій.

На першій стадії проводиться очищення конвертованого газу гарячим розчином поташу; на другій стадії проводиться регенерація насиченого гарячого розчину поташу з виділенням з нього двоокису вуглецю. Кожна стадія є окремою підпрограмою.

Підпрограма очищення конвертованого газу гарячим розчином поташу. Спочатку проводиться відкриття клапану подачі гарячого розчину поташу в абсорбер для створення барботажного шару. Потім проводиться опитування датчики рівня, тиску, температури, концентрації, після чого отримані дані обробляються. Підпрограма опитування датчиків заключається в знятті показань і запису даних в масив даних. Підпрограма обробки даних полягає в порівнянні масиву отриманих даних з масивом граничних значень регулюємих параметрів. У разі виходу i -того параметра за встановлені межі система видає керуючий вплив, що полягає у вмиканні відповідного виконавчого механізму.

Потім відкривається клапан подачі конвертованого газу в абсорбер. Проводиться опитування датчиків тиску і температури. Якщо тиск і температура конвертованого газу на вході абсорбера в нормі, то протягом 60 хвилин відбувається продувка газу через шар гарячого розчину поташу в абсорбер і, відповідно, очищення газу. Інакше система переходить на виконання підпрограми «Технологічний збій», що заключається закриванні клапана подачі конвертованого газу на вхід абсорбера і вмиканні сигналізації «Технологічний збій». Після приведення параметрів тиску і температури до норми описані дії повторюються знову. Далі система переходить до виконання підпрограми наступної стадії.

Після 60 хвилин очищення насичений гарячий розчин поташу через нижній спуск абсорбера виводиться на регенерацію. Для цього відкривається клапан на нижньому спуску і відкриваються клапани подачі насиченого гарячого розчину поташу через гідравлічну турбіну на верхню частину регенератора. В регенераторі з насиченого гарячого розчину поташу

вивільняється двоокис вуглецю і у вигляді парогазової суміші виходить через верх регенератора на сепаратор, з якого двоокис вуглецю стравлюється в атмосферу, а конденсат стікає у нижню частину регенератора. В нижній частини регенератора гарячий розчин поташу рециркулює через кип'ятильник і його температура підвищується.

Відібраний з верхньої частини регенератора груборегенерований гарячий розчин поташу через теплообмінник і повітряний холодильник поступає у нижню частину абсорбера, а відібраний з нижньої частини регенератора глибокорегенерований поступає на верхню частину абсорбера.

Опитування датчика рівня. Проводиться запис показання датчика. Потім порівнюється отримане значення з заданим. Якщо показання датчика не відповідають нормі, то виконується ПІ-регулювання і видається необхідна керуючий вплив. При регулюванні відбувається стабілізація параметра на заданому рівні.

Підпрограма ПІ-регулювання. На початку підпрограми відбувається обнулення початкових значень інтеграла і помилок. Потім зчитується значення керованого параметра і обчислюється відхилення від норми (неузгодженість). Потім обчислюються пропорційна і інтегральна складові керуючого впливу. Потім видається керуючий вплив. Для подальшого процесу необхідно перевизначення змінних і узгодження швидкодії.

У разі виникнення аварійної ситуації система закриває клапани подачі гарячого розчину поташу, конвертованого газу, вмикає аварійну вентиляцію, зупиняє насоси і вмикає аварійну сигналізацію.

ВИСНОВОК

В роботі виконана розробка системи управління технологічним процесом очищення конвертованого газу від CO_2 гарячим розчином поташу. Виконано аналіз технологічного процесу, обрані канали управління, виконаний вибір засобів автоматизації, а саме, датчиків, виконавчих механізмів, засобів сигналізації і контролера. Також були розроблені функціональна схема автоматизації, схема зовнішніх з'єднань і алгоритм роботи системи, модель об'єкта управління – рівня шару гарячого розчину поташу в абсорбері, отримана аналітично його передатна функція.

Проведені розрахунки контуру управління рівнем шару гарячого розчину поташу в абсорбері. Обраний закон регулювання та визначені оптимальні параметри регулятора.

Література

1. А. М.Кутепов , Т. И. Бондарева , М. Г. Беренгартен Общая химическая технология, М.: «Высшая школа». 1990, 520 с.
2. Process Control of Technological Processes [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.ispatguru.com/process-control-of-technological-processes/?utm_source=rss&utm_medium=rss&utm_campaign=process-control-of-technological-processes
3. Deciding Upon Control-System Technology [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ethanolproducer.com/articles/1456/deciding-upon-control-system-technology>
4. В.А. Голубятников, В.В. Шувалов Автоматизация производственных процессов в химической промышленности, – М.: Химия, 1972. – 248с.
5. Проектування систем автоматизації: Навч пос. / М.С. Пушкар, С.М. Проценко, 2013.- 268 с.
6. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: Справ пос. / А.С. Ключев Б.В. Глазов, А.Х. Дубровский, А.А. Ключев; под ред. А.С. Ключева – М.: Энергоатомиздат, 1990.-464 с.
7. A Guide to the Automation Body of Knowledge (2nd Edition) Trevathan, Vernon L. (2006) https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpAGABKE07/viewerType:toc//root_slug:guide-automation-body?b-cat-name=Process%20Design%2C%20Control%20%26%20Automation&b-cat-slug=process-design-control-automation&b-cat-id=197&b-order-by=name&b-sort-by=ascending&b-filter-by=all-content
8. Автоматизація виробничих процесів: Підручник. / І.В. Ельперін, О.М. Пупена, В.М. Сідлецький, С.М. Швед. — К.: Видавництво Ліра-К, 2015— 340 с.
9. Преобразователи абсолютного, избыточного давления, датчики давления NIPRESS D / <https://nivelco.com.ua/nipress-d.html>
10. ДТСхх4. Термосопротивления с кабельным выводом / <https://owen.ua/ru/datchiki/dtsxx4-termosoprotivlenija-s-kabelnym-vyvodom>.
11. Преобразователь гидростатического давления (уровня) Rosemount 3051L / <https://rashodomery.pro/upload/iblock/786/7869c8ca1c914251433e88558d0c4f12.pdf>
12. МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ ВЗРЫВООПАСНЫЕ СРЕДЫ. Газоанализаторы. Требования к эксплуатационным характеристикам газоанализаторов горючих газов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200107435>

13. Сигнализаторы-анализаторы газов, горючих газов и паров горючих жидкостей "ДОЗОР-С" / <https://www.orion.com.ua/index.php/ru/>.
14. Универсальный седельный клапан <http://avtoban.su/schubert>
15. Взрывозащищенный пускатель ССА-Х-М
<https://harkov.flagma.ua/uk/vzryvozashchishchenny-puskatel-cca-x-m-o1584332.html>
16. Оповісчувач світлозвуків "Тортила", вибухозахищений
<https://senko.com.ua/ua/products/opovishchuvach-svitlozvukovyy-tortyla-vybuhozahyshchenny>
17. Пускатель електромагнітний ПМА / <https://www.electrotochka.com.ua/pma-0100-din-380v>.
18. Matrix - универсальные модульные ПЛК Segnetics
https://kipservis.ru/segnetics/plc_matrix.htm
19. MRL: модули расширения для Matrix/FMR Segnetics
https://kipservis.ru/segnetics/expansion_module_mrl.htm
20. Segnetics FMR Modbus-модуль ввода/вывода
https://kipservis.ru/segnetics/module_fmr_modbus.htm
21. FMR-1010-10-0 Modbus-модуль введения/выведения
https://kipservis.ru/segnetics/module_fmr_modbus.htm#d4272305
22. FMR-1020-10-0 Modbus-модуль введения/выведения
https://kipservis.ru/segnetics/module_fmr_modbus.htm#d4272305
23. FMR-1021-10-0 Modbus-модуль введения/выведения
https://kipservis.ru/segnetics/module_fmr_modbus.htm#d4272305
24. FMR-3022-10-0 Modbus-модуль введения/выведения
https://kipservis.ru/segnetics/module_fmr_modbus.htm#d4272305
25. FMR-3030-10-0 Modbus-модуль дискр.вывода
https://kipservis.ru/segnetics/module_fmr_modbus.htm#d4272305
26. FMR-2222-10-0 Modbus-модуль дискр.ввода
https://kipservis.ru/segnetics/module_fmr_modbus.htm#d4272305
27. ПЛК (промышленные контроллеры) <https://www.reallab.ru/catalog/plc/>
28. Програмований логічний контролер NLScon-CE-I
https://www.reallab.ru/catalog/plc/nlscon-ce-i/?gclid=CjwKCAjw2ZaGBhBoEiwA8pfP_npNt7jgzfE2PDCMNOtbT11e6q2pYKQgLkUxJMBkIkroeLKkSIbyhoCXioQAvD_BwE
29. Модули ввода-вывода <https://www.reallab.ru/catalog/io/>

30. Универсальный модуль аналогового ввода NLS-8AI <https://www.reallab.ru/catalog/io/nls-8ai/>
31. Модуль ввода аналоговых сигналов тока NLS-8AI-I <https://www.reallab.ru/catalog/io/nls-8ai-i/>
32. Модуль аналогового ввода сигналов термопар NLS-8TI <https://www.reallab.ru/catalog/io/nls-8ti/>
33. Модуль аналогового ввода сигналов термосопротивлений NLS-4RTD <https://www.reallab.ru/catalog/io/nls-4rtd/>
34. Модуль аналогового вывода NLS-4AO <https://www.reallab.ru/catalog/io/nls-4ao/>
35. Модуль дискретного ввода NLS-16DI <https://www.reallab.ru/catalog/io/nls-16di/>
36. Модуль дискретного вывода NLS-16DO <https://www.reallab.ru/catalog/io/nls-16do/>
37. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. 2-е изд., испр. — М.: Физматлит, 2001. — 320 с. — ISBN 5-9221-0120-X.
38. Зарубин В.С. Математическое моделирование в технике. Учеб. для вузов / Под ред. В.С. Зарубина, А.П. Крищенко. - 2-е изд., стереотип. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. - 496 с. - (Сер. Математика в техническом университете; Вып. XXI, заключительный). - ISBN 5-7038-1435-9 (Вып. XXI, заключительный), ISBN 5-7038-1270-4.
39. Худолей Г.М. Конспект лекцій і практик з ТАУ, 2015.
40. Advanced PID Control Åström, Karl J.; Hägglund, Tore (2006) https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpAPIDC001/viewerType:toc//root_slug:advanced-pid-control?b-cat-name=Process%20Design%2C%20Control%20%26%20Automation&b-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
41. Методические указания по оформлению курсовых и дипломных проектов. Инструктивные материалы. Для студентов специальности 6.091401 "Компьютеризованные системы управления и автоматике". - Сумы.: СумГУ, 1998. – 77 с.
42. Інструктивні вказівки до виконання курсових і дипломних проектів / укладачі : В. Д. Черв'яков, О.Ю. Журавльов, І.В. Щокотова. – Суми : Сумський державний університет, 2013. – 69с.
43. ДСТУ Б А.2.4-3:2009 Національний стандарт України. Правила виконання робочої документації автоматизації технологічних процесів.