

Міністерство освіти і науки України
Шосткинський інститут
Сумського державного університету
Кафедра системотехніки та інформаційних технологій

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

_____ Худолей Г.М.

«__» _____ 2021 р.

Бакалаврська робота на тему:

«Система управління технологічним процесом отримання
концентрованої азотної кислоти в присутності сірчаної кислоти»

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

Серяков А.Г.

Бакалаврант:
студент групи СУз-71Ш

Тихановський І.М.

Шостка – 2021 р.

ВСТУП

Азотну кислоту використовують в різних галузях промисловості, сільському господарстві, у медицині, фармацевтиці та інших галузях. Азотна кислота має вагомe значення у виробництві азотних добрив, нітратних засобів для обробки полів, продуктів органічного синтезу. З азотної кислоти виготовляють вибухові речовини, барвники, технічну сіль, окислювачі та очищаючі рідини, сірчану кислоту, азотовмісні речовини, ракетне паливо. Установки з азотом використовують для пожежогасіння, ліквідації вибухів, рідкий азот для заморожування.

Сучасне хімічне підприємство являє собою складну хіміко-технологічну систему, до складу якої входить велика кількість апаратів і машин, необхідних для переробки сировини в необхідний продукт за рахунок хімічних перетворень. Для отримання готового хімічного продукту використовують апарати під тиском і агрегати з високотемпературними газовими турбінами.

Хімічне виробництво вимагає застосування спеціального вибухобезпечного обладнання, трубопроводів з кислототривких матеріалів і апаратів підвищеної міцності. Всі агрегати, комунікації та матеріали повинні витримувати високий тиск, температуру і мати корозійну стійкість до впливу аміаку і газів. Цехи необхідно обладнати припливно-витяжною вентиляцією, щоб виключити отруєння отруйними парами.

Виробництво азотної кислоти пов'язане з присутністю шкідливих виробничих факторів. До них відносять: виділення токсичних і горючих газів, контакт з агресивними речовинами, кріогенними рідинами і вибухонебезпечними сумішами. Описані умови праці становлять підвищену небезпеку для персоналу і пояснюють необхідність високоавтоматизованих систем управління азотнокислотним виробництвом.

Впровадження АСУ ТП виробництва азотної кислоти забезпечує безпеку хіміко-технологічних процесів, за рахунок виключення безпосереднього контакту персоналу з токсичними речовинами, сировиною, готовою продукцією, відходами хімічного виробництва. Дистанційне керування складними технологічними процесами і операціями, знижує ризик впливу токсичних і небезпечних факторів на здоров'я персоналу.

Система автоматичного вимірювання, контролю та регулювання технологічних параметрів виключає ризик вибухонебезпечних і аварійних ситуацій на підприємстві з вини персоналу. Крім цього, за рахунок застосування сучасних високоавтоматизованих систем знижується обсяг газів, що відходять і викидів в атмосферу оксидів азоту.

У бакалаврській роботі виконана розробка автоматизації технологічним процесом отримання концентрованої азотної кислоти в присутності сірчаної кислоти, 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

Азотна (нітратна) кислота, хімічна формула HNO_3 , є безбарвною димучою рідиною з їдким запахом, легко розкладається, забарвлюючись у жовтий колір. Густина $1,53 \text{ г/см}^3$. Кипить при $86 \text{ }^\circ\text{C}$, замерзає при $-41 \text{ }^\circ\text{C}$. На повітрі HNO_3 «димить» внаслідок притягання її парами вологого повітря і утворення дрібненьких крапельок туману.

Концентрована азотна кислота і оксиди азоту за токсичністю відносяться до помірно небезпечних речовин (3-й клас безпеки по ГОСТ 12.1.007). Гранично допустима концентрація (ГДК) парів азотної кислоти і оксидів азоту в повітрі робочої зони виробничих приміщень – 2 мг/м^3 по ГОСТ 12.1.005.

Азотна (нітратна) кислота нестійка і вже під впливом сонячного світла поступово розкладається: $4\text{HNO}_3 \rightarrow 4\text{NO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$.

При нагріванні розклад її значно прискорюється. Утворюваний діоксид азоту розчиняється в HNO_3 і надає їй жовтуватого кольору. У водних розчинах нітратна кислота значно стійкіша. З водою HNO_3 змішується в будь-яких співвідношеннях.

Азотна (нітратна) кислота належить до сильних кислот, у водних розчинах вона практично повністю дисоціює: $\text{HNO}_3 \leftrightarrow \text{H}^+ + \text{NO}_3^-$.

Нітратна кислота - дуже сильний окисник. В концентрованому вигляді окиснює сірку (до H_2SO_4), фосфор (до H_3PO_4), руйнує органічні речовини. Глибина відновлення HNO_3 залежить від її концентрації і активності відновника. Концентрована HNO_3 відновлюється до NO_2 , а розведена - звичайно до NO . Нітратна кислота взаємодіє майже з усіма металами, за винятком золота, платини і деяких інших, утворюючи солі - нітрати. Так, при дії концентрованої нітратної кислоти на мідь утворюється нітрат міді, діоксид азоту і вода:



При дії ж розведеної нітратної кислоти на мідь утворюється нітрат міді, монооксид азоту (а не діоксид, як при дії концентрованої HNO_3) і вода:

Деякі речовини можуть запалюватись нітратною кислотою і горіти в ній. Так, коли шматочок розжареного вугілля вкинути в концентровану HNO_3 , він буде горіти у ній яскравим полум'ям, а скипидар спалахує при дотику з нею. Тому концентрована кислота в пожежному відношенні дуже небезпечна.

У сучасній хімічній промисловості нітратну кислоту добувають шляхом каталітичного окиснення аміаку до монооксиду азоту з наступним окисненням NO киснем повітря (метод І. І. Андрєєва) при $700 - 900 \text{ }^\circ\text{C}$ до діоксиду (гемітетраоксиду) азоту і поглинанням останнього водою. Каталізатор - платинова сітка.

Процес поглинання оксидів азоту водою проводять при надлишку кисню. Тому утворений за останньою реакцією монооксид азоту відразу перетворюється в діоксид азоту і знову вступає в процес утворення нітратної кислоти. В результаті утворюється лише нітратна кислота.

Отримати концентровану азотну кислоту перегонкою розведеної кислоти неможливо. При кипінні і перегонці розведеної азотної кислоти її можна упарити лише до вмісту 68,4% HNO_3 (азеотропна суміш), після чого склад суміші, що переганяється, не зміниться.

У промисловості перегонку розбавлених водних розчинів азотної кислоти здійснюють в присутності водопоглинаючих речовин (концентрована сірчана кислота, фосфорна кислота, концентровані розчини нітратів і ін.). Застосування водопоглинаючих речовин дає можливість знизити вміст водяної пари над киплячою сумішшю і збільшити вміст парів азотної кислоти, при конденсації яких виходить 98% -на HNO_3 .

Технологічна схема концентрування азотної кислоти з застосуванням сірчаної кислоти показана на рис. 1.1.

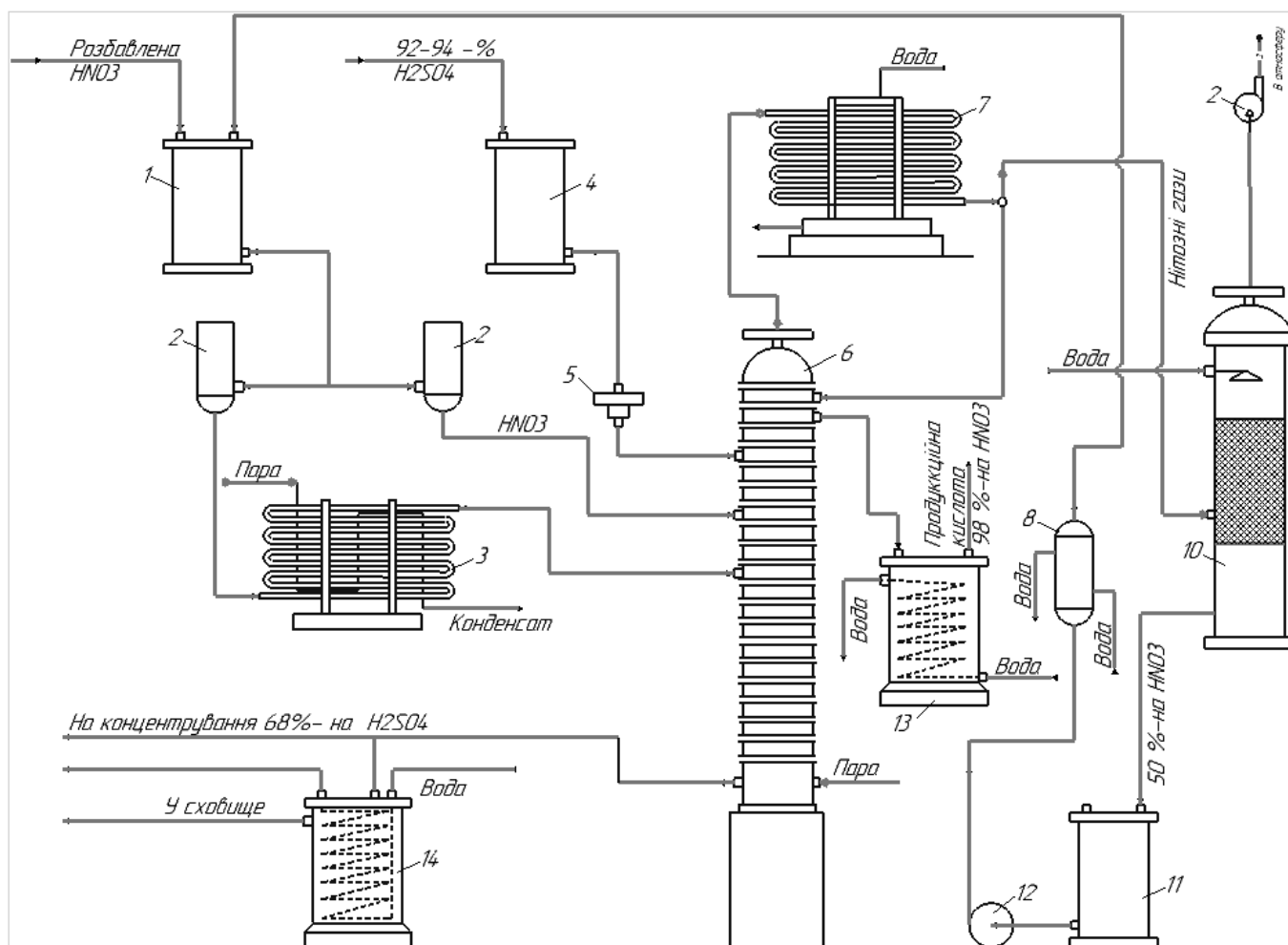


Рисунок 1.1_Технологічна схема отримання концентрованої азотної кислоти в присутності сірчаної кислоти

1, 4 - напірні баки для азотної та сірчаної кислот; 2 контрольні ліхтарі; 3 - випарник розведеної азотної кислоти; 5 - коробка для регулювання подачі кислоти; 6 - концентраційна колона; 7 - холодильник - конденсатор; 8 - холодильник кислоти, що циркулює у вежі; 9 - вентилятор; 10 - поглинальна вежа; 11 - збірник; 12- насос; 13 - холодильник концентрованої азотної кислоти; 14 - холодильник відпрацьованої сірчаної кислоти.

Розбавлена азотна кислота з напірного бака 1 подається в колону 6 через два ліхтаря 2, що включені паралельно. Один потік кислоти проходить у підігрівач 3, підігрівається до температури 125 °С і в суміші з паром подається на 10-у тарілку колони 6, інший потік без підігріву надходить на розміщені вище тарілки. Сірчана кислота з напірного бака 4 через регулятор 5 подається в верхню частину колони 6 вище введення холодного потоку азотної кислоти. У нижню частину колони вводиться гострий пар, при нагріванні яким з потрібної суміші починає випаровуватися азотна кислота. Пари азотної кислоти при температурі 70-85 °С, піднімаючись вгору, виходять через штуцер в кришці колони і надходять в холодильник-конденсатор 7. У цих парах є домішки оксидів азоту і води. У холодильнику-конденсаторі пари азотної кислоти при температурі близько 30 °С конденсуються з утворенням 98-99%-ної HNO_3 , при цьому оксиди азоту частково поглинаються цією кислотою. Концентрована азотна кислота, яка містить оксиди азоту, направляється на дві верхні тарілки і проходить їх послідовно, причому оксиди видуваються з розчину парами азотної кислоти, які надходять в конденсатор 7. Несконденсовані пари азотної кислоти і оксиди азоту, що виділилися, направляють на абсорбцію в вежу 10, що зрошується водою. Отримана 50%-на кислота надходить до збірника 11 і знову направляється на концентрування. Концентровану азотну кислоту після охолодження направляють на склад готової продукції. Відпрацьована сірчана кислота, що містить 65-85% H_2SO_4 , надходить на концентрування. При концентруванні азотної кислоти з застосуванням 92-94%-ної сірчаної кислоти витрата останньої значно скорочується при подачі на концентрування 59-60%-ної HNO_3 замість 48-50%-ної. Тому в деяких випадках вигідно проводити попереднє концентрування 50%-ної HNO_3 до 60%-ної шляхом простого упарювання. Великим недоліком концентрування азотної кислоти за допомогою сірчаної кислоти є високий вміст парів і туману H_2SO_4 у вихлопних газах після електрофільтрів (0,3-0,8 г/м³ газу).

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 отримання азотної кислоти в присутності сірчаної кислоти має істотне значення схема матеріально- інформаційних потоків (рис. 2.1).

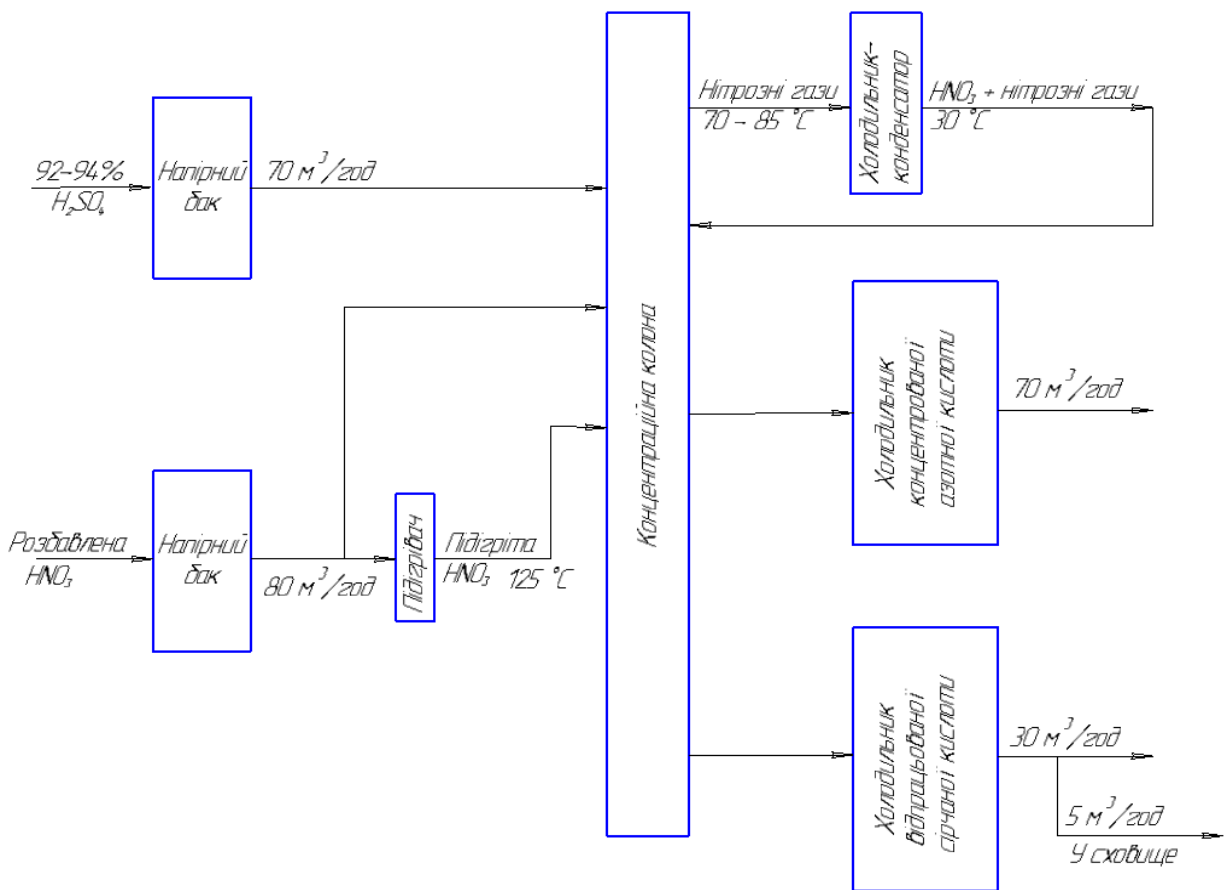


Рисунок 2.1- Схема матеріально-інформаційних потоків технологічного процесу отримання концентрованої азотної кислоти в присутності сірчаної кислоти.

3 ВИБІР ПАРАМЕТРІВ КОНТРОЛЮ, РЕГУЛЮВАННЯ ТА СИГНАЛІЗАЦІЇ

Необхідна якість азотної кислоти і екологічні характеристики процесу досягаються підтриманням необхідних режимів проведення хімічних реакцій, підтримкою параметрів технологічного процесу в заданих межах, якісними і кількісними показниками реагентів, що застосовуються в технологічному процесі.

Технологічні вимоги до системи автоматизації є основою (технічним завданням) для розробки системи автоматизації. Для цього на основі конструктивного аналізу виберемо параметри, визначимо взаємозв'язок з іншими процесами, а також визначимо шляхи усунення збурень або їх стабілізації.

Як об'єкт управління розглядається технологічний процес отримання азотної кислоти в присутності сірчаної кислоти.

Контролю підлягають практично всі параметри регулювання. Контролю підлягають ті параметри, значення яких забезпечить правильний пуск, налагодження, роботу, зупинку об'єкта управління (ОУ). Контролю підлягають ті параметри, при порушенні яких в ОУ можуть надходити впливи, які можуть призвести до порушення нормального ходу технологічного процесу, виникнення браку або передаварійної і аварійної ситуації, отруєння персоналу виробничими реагентами. До їх числа належать вхідні величини, при зміні яких в об'єкт надходять впливи. При оперативному управлінні виникає необхідність контролювати найбільш важливі вихідні величини, наприклад, кількість, якість і склад одержуваного готового продукту.

З метою отримання даних, необхідних для госпрозрахункових операцій і визначення техніко-економічних показників, слід контролювати такі теплоенергетичні показники, як кількість споживаної електроенергії, тепла, пари, конденсату і т.п.

Для нормального проведення хімічних реакцій окиснення необхідно:

- контролювати і регулювати температуру 125 °С парів азотної кислоти на виході підігрівача;
- контролювати і регулювати температуру 70-85 °С парів азотної кислоти у концентраційній колоні;
- контролювати і регулювати температуру 30 °С конденсації азотної кислоти у холодильнику – конденсаторі.

Сигналізації підлягають всі параметри, зміна яких може призвести до аварії або серйозного порушення технологічного процесу. До них відносяться, наприклад, концентрація вибухонебезпечних речовин в повітрі виробничих приміщень, рівень рідин або сипучих в різного роду ємностях та апаратах, тиск або температура і т.д. Якщо до відхилення регульованих або контрольованих величин пред'являється жорсткі вимоги, то вони одночасно є і такими, про які

сигналізують. Як правило, сигналізуються параметри регулювання в багатоконтурних САР, зупинка обладнання (що призводить до аварії або в моменти, які не передбачені технологічним регламентом, внаслідок помилкових команд або відмов), досягнення граничних значень параметрів і т. і.

В таблиці 3.1 наведені номінальні значення технологічних параметрів, які завдають істотні збурюючі впливи на об'єкт управління при протіканні технологічного процесу і їх значення.

Таблиця 3.1_ Перелік параметрів, які впливають на хід технологічного процесу отримання азотної кислоти в присутності сірчаної кислоти.

№ п.п.	Точка технологічної схеми	Параметр	Функція	Величина
1	Вихід напірного баку азотної кислоти	Витрата азотної кислоти на виробництво	Контроль, сигналізація, реєстрація	80 м ³ /год.
2	Вихід напірного баку сірчаної кислоти	Витрата сірчаної кислоти на виробництво	Контроль, сигналізація, реєстрація	70 м ³ /год.
3	Вихід підігрівача азотної кислоти	Температура азотної кислоти	Контроль, сигналізація, управління	125 °С
4	Концентраційна колона	Температура парів азотної кислоти	Контроль, сигналізація, управління	70-85 °С
5	Холодильник - конденсатор	Температура конденсації азотної кислоти	Контроль, сигналізація, управління	30 °С
6	Вихід холодильника концентрованої азотної кислоти	Витрата концентрованої азотної кислоти	Контроль, сигналізація, реєстрація	70 м ³ /год.
7	Вихід концентраційної колони	Витрата відпрацьованої сірчаної кислоти	Контроль, сигналізація, реєстрація	30 м ³ /год.
8	Вихід холодильника відпрацьованої сірчаної кислоти	Витрата відпрацьованої сірчаної кислоти у сховище	Контроль, сигналізація, реєстрація	5 м ³ /год.

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

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

Для аналізу ефективності технологічного процесу отримання азотної кислоти в присутності сірчаної кислоти необхідно:

- контролювати і реєструвати витрату азотної кислоти на виробництво на виході напірного баку азотної кислоти;

- контролювати і реєструвати витрату сірчаної кислоти на виробництво на виході напірного баку сірчаної кислоти;

- контролювати і реєструвати витрату концентрованої азотної кислоти на виході холодильника концентрованої азотної кислоти;

- контролювати і реєструвати витрату відпрацьованої сірчаної кислоти на виході концентраційної колони;

- контролювати і реєструвати витрату відпрацьованої сірчаної кислоти у сховище на виході холодильника відпрацьованої сірчаної кислоти.

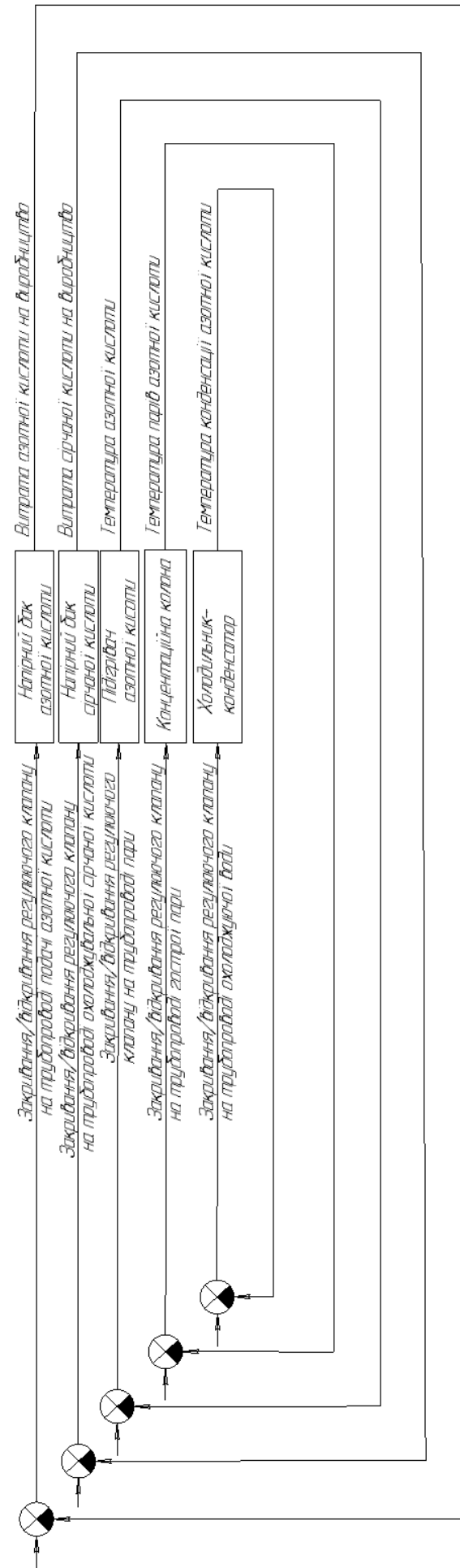


Рисунок 3.1-Структурна схема автоматизації.

4 ВИБІР КАНАЛІВ ВНЕСЕННЯ РЕГУЛЮЮЧИХ ДІЙ

4.1 Витрату 80 м³/год. азотної кислоти на виробництво на виході напірного баку азотної кислоти будемо контролювати, сигналізувати про вихід за допустимі межі, реєструвати і регулювати шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана на трубопроводі азотної кислоти з напірного баку азотної кислоти.

Канал контролю і управління витратою азотної кислоти на виході на виході напірного баку азотної кислоти представлений на рис. 4.1.

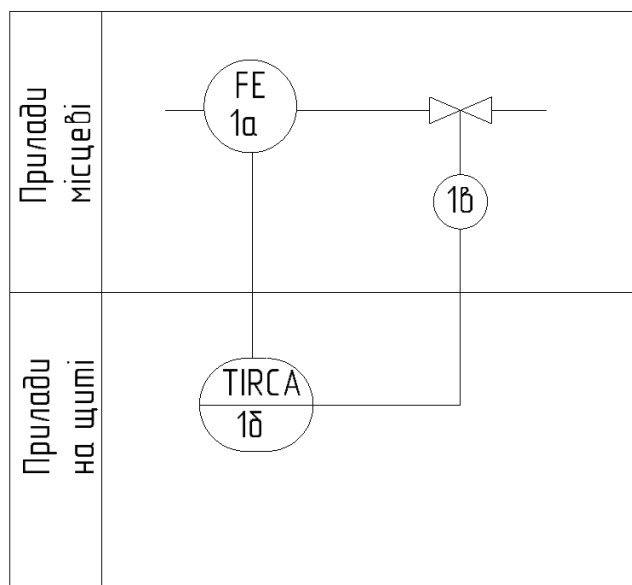


Рисунок 4.1 – Контур контролю, реєстрації і управління витратою азотної кислоти на виробництво на виході напірного баку азотної кислоти.

До складу каналу контролю, управління і реєстрації входить датчик витрати, перетворювач сигналу датчика, пристрій для показань і пристрої для реєстрації, регулятор, перетворювач сигналу регулятора, виконавчий механізм, виконавчий орган.

4.2 Витрату 70 м³/год. сірчаної кислоти на виробництво на виході напірного баку сірчаної кислоти будемо контролювати, сигналізувати про вихід за допустимі межі, реєструвати і регулювати шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана на трубопроводі сірчаної кислоти з напірного баку сірчаної кислоти.

Канал контролю і управління витратою сірчаної кислоти на виході на виході напірного баку азотної кислоти представлений на рис. 4.2.

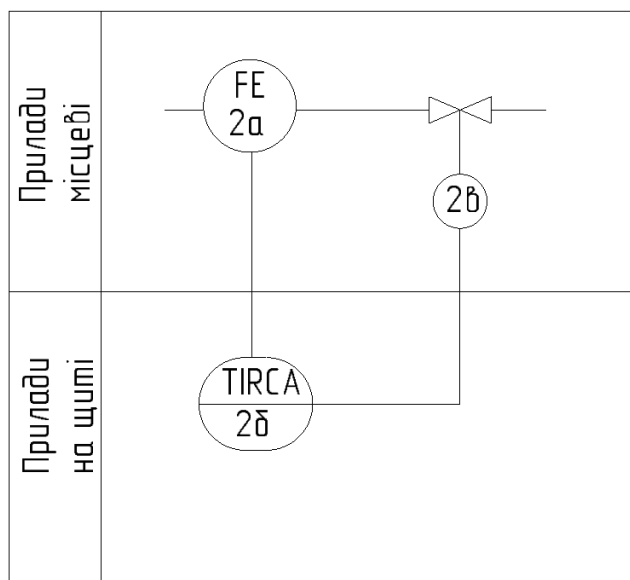


Рисунок 4.2 – Контур контролю, реєстрації і управління витратою сірчаної кислоти на виробництво на виході напірного баку сірчаної кислоти.

До складу каналу контролю, управління і реєстрації входить датчик витрати, перетворювач сигналу датчика, пристрій для показань і пристрої для реєстрації, регулятор, перетворювач сигналу регулятора, виконавчий механізм, виконавчий орган.

4.3 Температуру 125 °С азотної кислоти на виході підігрівача будемо контролювати, сигналізувати про вихід за допустимі межі і регулювати шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана на трубопроводі пари на вхід підігрівача.

Канал контролю і управління температурою 125 °С парів азотної кислоти на виході підігрівача представлений на рис. 4.3.

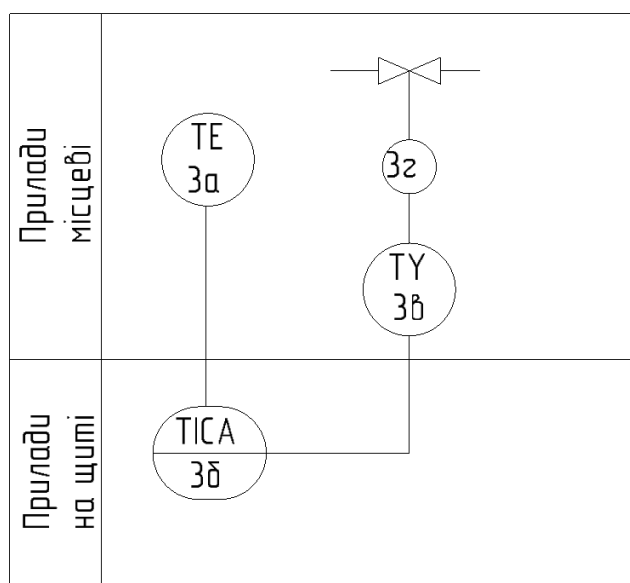


Рисунок 4.3 – Контур контролю і управління температурою 125 °С парів азотної кислоти на виході підігрівача.

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

4.4 Температуру 70-85 °С парів азотної кислоти у концентраційній колоні будемо контролювати, сигналізувати про вихід за допустимі межі і регулювати шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана на трубопроводі гострої пари в абсорбційну колону.

Канал контролю і управління температурою 70-85 °С парів азотної кислоти у концентраційній колоні представлений на рис. 4.4.

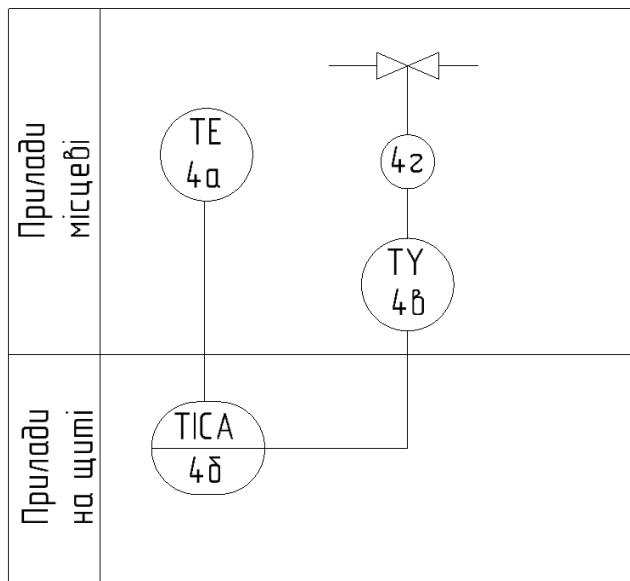


Рисунок 4.4 – Контур контролю і управління температурою 70-85 °С парів азотної кислоти у концентраційній колоні.

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

4.5 Температуру 30 °С конденсації азотної кислоти у холодильнику- конденсаторі будемо контролювати, сигналізувати про вихід за допустимі межі і регулювати шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана на трубопроводі охолоджуючої води на вхід холодильника-конденсатора.

Канал контролю і управління температурою 30 °С конденсації азотної кислоти у холодильнику- конденсаторі представлений на рис. 4.5.

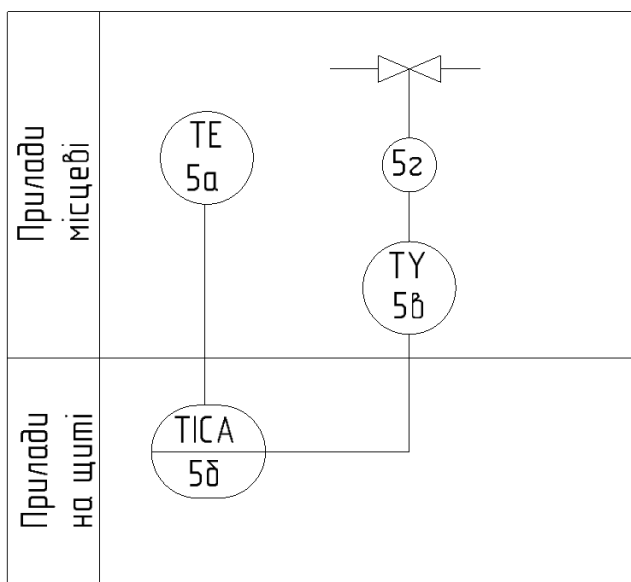


Рисунок 4.5 – Контур контролю і управління температурою 30 °С конденсації азотної кислоти у холодильнику- конденсаторі.

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

4.6 Витрату 70 м³/год. концентрованої азотної кислоти на виході холодильника концентрованої азотної кислоти будемо контролювати, сигналізувати про вихід за допустимі межі і реєструвати за схемою, представленою на рис. 4.6.

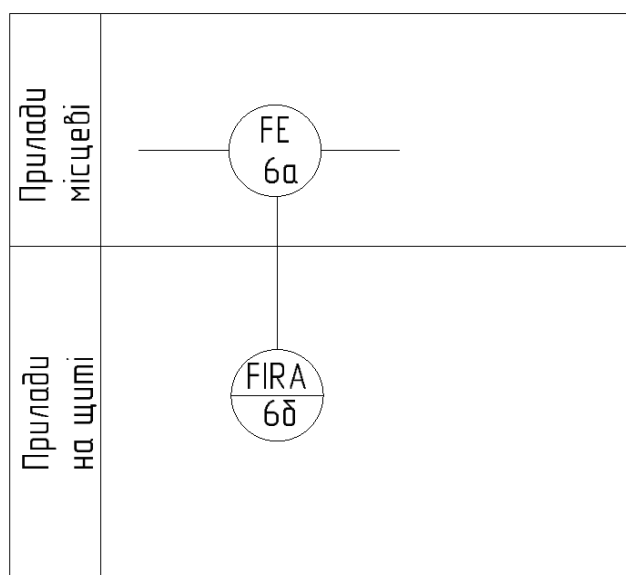


Рисунок 4.6 – Схема контролю, сигналізації і реєстрації витрати концентрованої азотної кислоти на виході холодильника концентрованої азотної кислоти.

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

4.7 Витрату 30 м³/год. відпрацьованої сірчаної кислоти на виході концентраційної колони будемо контролювати, сигналізувати про вихід за допустимі межі і реєструвати за схемою, представленою на рис. 4.7.

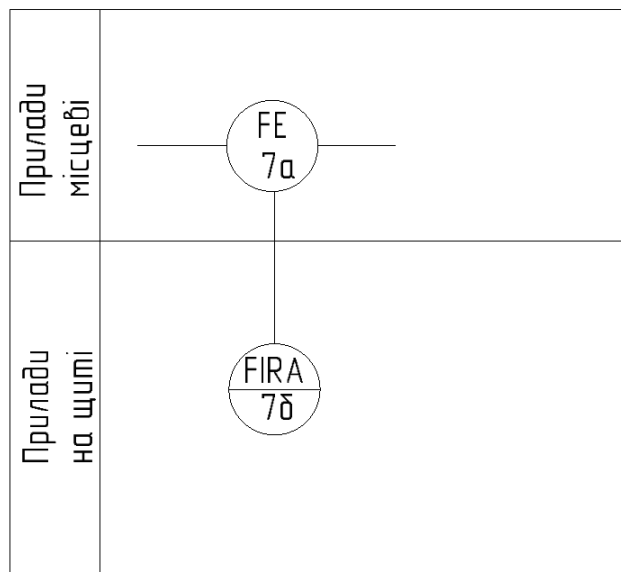


Рисунок 4.7 – Схема контролю, сигналізації і реєстрації витрати відпрацьованої сірчаної кислоти на виході концентраційної колони.

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

4.8 Витрату 5 м³/год. відпрацьованої сірчаної кислоти у сховище на виході холодильника відпрацьованої сірчаної кислоти будемо контролювати, сигналізувати про вихід за допустимі межі і реєструвати за схемою, представленою на рис. 4.8.

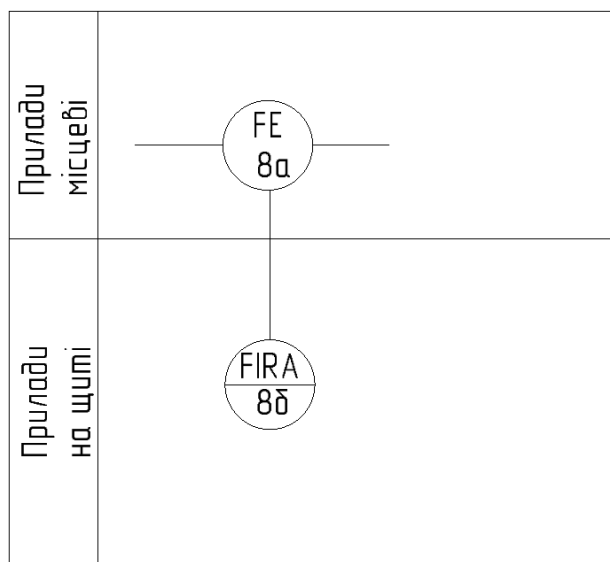


Рисунок 4.8 – Схема контролю, сигналізації і реєстрації витрати відпрацьованої сірчаної кислоти у сховище на виході холодильника відпрацьованої сірчаної кислоти.

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

5 ВИБІР ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

5.1 Вибір датчиків

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

5.1.1 Вибір датчиків витрати

5.1.4.1 Датчик для вимірювання витрати азотної кислоти на виробництво на виході напірного баку азотної кислоти

Є особливі вимоги середовища вимірювання – витрата 80 м³/год., хімічно агресивне середовище.

Вихровий витратомір KOBOLD DVH[9] призначений для вимірювання витрати рідин і газів в технологічних процесах.

Зовнішній вигляд витратоміра KOBOLD DVH поданий на рис. 5.1.



Рисунок 5.1 - Зовнішній вигляд витратоміра KOBOLD DVH

Діапазон вимірів:

рідини 0,2 - 5 ... 32 - 970 м³/год.;

Газ 3 28 ... 549 - 9034 нм³/год. (20 ° C, 0 баррел);

пари 3 - 18 ... 500 - 5797 кг / год (0 баррел).

Точність:

рідини ± 0,7% від вимір. Величини;

газ / пар ± 1% від вимір. Величини.

Макс. тиск: PN 16, 40, 100.

Макс. температура: 260 °C (400 ° C).

Приєднання: ANSI ½ ... 8", фланець DN15 ... DN200, міжфланець.

Матеріал: неірж. сталь, хастелой.

1 (3) аналогові виходи, 1 (3) контакти, цифровий дисплей.

Вибухозахищеність II 2G Ex d IIB + H2 T6 GbII 2 D, Ex tb IIB T85°C Db.

Опція: Датчик температури/тиску.

Витратоміри Rosemount 3051SFC, 3095MFC[10] на базі діафрагм Rosemount серії 405

Зовнішній вигляд витратоміра Rosemount на базі компактної вимірювальної діафрагми Rosemount™ 3051SFC поданий на рис. 5.2.



Рисунок 5.2 - Зовнішній вигляд витратоміра Rosemount на базі компактної вимірювальної діафрагми Rosemount™ 3051SFC

Вимірювані середовища: газ, пар, рідини.

Параметри вимірюваного середовища:

- надлишковий тиск в трубопроводі до 10 МПа;

- температура: -40 ... 232 °C (інтегральний монтаж датчика);

-100 ... 454 °C (віддалений монтаж датчика);

- температура навколишнього середовища: -40 ... 85 ° C (без РКІ); -51 ... 85 ° C (опція);

Ду трубопроводу 15 ... 200 мм (для діафрагми Rosemount 405P); 50 ... 200 мм (для стабілізуючої діафрагми Rosemount 405C).

Межі вимірювань витрати розраховуються для конкретного техпроцесу у спецпрограмі Rosemount Toolkit.

Вихідні сигнали: 4-20 мА / HART, FOUNDATION fieldbus.

Динамічний діапазон 1: 5, 1: 8, 1: 14 (в залежності від виконання датчика).

Межі основної відносної похибки вимірювань витрати до ± 0,7%.

Наявність вибухонебезпечного виконання: Exia, Exd.

Переваги:

- інтегральна конструкція витратоміра виключає потребу в імпульсних лініях і додаткових пристроях, скорочується кількість потенційних місць витоків середовища;
- мінімальна довжина прямолінійних ділянок трубопроводу 2Du до і 2Du після місця установки витратоміра на базі діафрагми Rosemount 405C (стабілізуючої) значно спрощує монтаж і скорочує витрати;
- багатопараметричний перетворювач 3095MV в складі витратомірів 3095MFC забезпечує обчислення миттєвої масової витрати рідини, пара, газу, об'ємної витрати газу зведеного до стандартних умов.

Витратоміри ЭМИС-МАГ 270[11] призначені для вимірювань об'ємної витрати електропровідних рідин в прямому і зворотному напрямку потоку, в тому числі агресивних рідин, двокомпонентних і забруднених рідин (з включенням твердих частинок або суспензій) з мінімальною питомою електропровідністю $5 \cdot 10^{-4}$ См/м.

Зовнішній вигляд витратоміра ЭМИС-МАГ 270 поданий на рис. 5.3.



Рисунок 5.3 - Зовнішній вигляд витратоміра ЭМИС-МАГ 270.

Витратоміри EM-270 можуть використовуватися для технологічного та комерційного обліку в системах автоматичного контролю і управління технологічними процесами в енергетиці, хімічній, паперовій та інших галузях промисловості. Витратоміри можуть використовуватися для вимірювання параметрів зворотного потоку з видачою сигналу напрямку потоку.

Витратоміри призначені для роботи у агресивних і вибухонебезпечних умовах. Витратоміри вибухонебезпечного виконання ЭМИС-МАГ 270-Ex мають комбінований вид вибухозахисту:

- вхідний «Вибухонепроникна оболонка» по ГОСТ Р 51330.1;
- вихідний «Іскробезпечне електричне коло» рівня «ia» по ГОСТ Р 51330.10.

Технічні характеристики.

Типорозмір 15 - 3000 мм.

Динамічний діапазон вимірювання витрати 1: 100.

Похибка вимірювання витрати 0,5%.

Робочий тиск вимірюваного середовища до 32 МПа.

Температура вимірюваного середовища від мінус 40 °С до плюс 100 °С.

Мінімальна питома електропровідність вимірюваного середовища $5 \cdot 10^{-4}$ См/м.

Вихідні сигнали імпульсний; частотний; аналоговий струмовий 4-20 мА; цифровий сигнал стандарту ModbusRTU; цифровий сигнал стандарту HART.

Напруга живлення 24 В постійного струму; 220 В змінного струму.

Вибухозахист ExiaIIС (ГЗ-Г4) X – первинний перетворювач; 1Exd [Ia] IICT4X – електронний перетворювач.

Атмосферний тиск від 84,0 до 106,7 кПа.

Температура навколишнього середовища від мінус 40°С до плюс 75 °С (первинний перетворювач); від мінус 40°С до плюс 50 °С (електронний перетворювач).

Відносна вологість довкілля, не більше до 90% (без конденсації вологи, при температурі 35 °С).

Стійкість до впливу зовнішнього магнітного поля до 400 А/м, 55 Гц.

Стійкість до вібрації виконання V3 по ГОСТ Р 52931 (амплітуда зміщення 0,35 мм, амплітуда прискорення 49 м/с²).

Захист від пилу і вологи IP65.

Інтервал між перевірками 4 роки.

Термін служби не менше 15 років.

Витратомір оснащується матричних рідкокристалічним індикатором, має три рядки.

Кількість знакоміць -14 в одному рядку.

Індикатор відображає такі дані:

- миттєву об'ємну витрату, л/год. або м³/год.;
- накопичений об'єм в прямому напрямку, л або м³;
- накопичений об'єм в зворотному напрямку, л або м³;
- різниця накопичених об'ємів у прямому і зворотному напрямках, л або м³;
- напрямок потоку;
- орієнтовна швидкість потоку;
- діагностичні повідомлення.

Розглянувши характеристики наведених датчиків, виберемо для вимірювання витрати азотної кислоти на виробництво на виході напірного баку азотної кислоти витратомір ЭМИС-

МАГ 270-Ех у виконанні для агресивного середовища, оскільки параметри всіх наведених датчиків задовольняють вимоги до вимірювання параметру процесу. При цьому має великий динамічний діапазон вимірювання витрати, тому він може бути застосований для вимірювання витрати азотної кислоти на виробництво на виході напірного баку азотної кислоти, а також для вимірювання витрати в інших точках технологічного процесу: сірчаної кислоти на виробництво на виході напірного баку сірчаної кислоти (70 м³/год.), концентрованої азотної кислоти на виході холодильника концентрованої азотної кислоти, відпрацьованої сірчаної кислоти на виході концентраційної колони (30 м³/год.), відпрацьованої сірчаної кислоти у сховище на виході холодильника відпрацьованої сірчаної кислоти (5 м³/год.), що забезпечить спрощення гуртового обслуговування в процесі експлуатації. До того ж бренд ЭМИС має досить розгалужену мережу представництв виробника.

5.1.2 Вибір датчиків температури

У більшості пристроїв використовуються датчики, засновані на двох технологіях. [12, 13, 14, 15, 16] Вибір між ними визначається конкретними вимогами до технологічного процесу і його умовами.

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

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

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

5.1.2.1 Датчик в каналі вимірювання температури азотної кислоти на виході підігрівача азотної кислоти

Є особливі вимоги середовища вимірювання – температура 125 °С, хімічно агресивне середовище.

Термоопори ОВЕН ДТСхх4 з кабельним виводом [12] розроблені для безперервного вимірювання показників температури різних робочих середовищ (пар, газ, вода, сипучі матеріали, хімічні реагенти і т.п.), які не мають руйнівного впливу на матеріал корпусу датчика.

Зовнішній вигляд термоопору ОВЕН ДТСхх4 з кабельним виводом поданий на рис. 5.4.



Рисунок 5.4 - Зовнішній вигляд термоопору ОВЕН ДТСхх4 з кабельним виводом.

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, трубна різьба.

Матеріал захисної арматури сталь 12Х18Н10Т, латунь.

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

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

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 $\pm(0,60 + 0,01 \cdot |t|)$.

Термоперетворювачі опору вибухозахищені з вихідним струмовим сигналом ТСМУ 014 [13] призначені для вимірювання температури рідких і газоподібних хімічно неагресивних середовищ, а також агресивних середовищ, які не руйнують захисну арматуру ТО, в тому числі у вибухонебезпечних зонах, і видачі інформації про температуру в вигляді вихідного струмового сигналу 4 ... 20 мА. Зовнішній вигляд термоперетворювача опору вибухозахищеного з вихідним струмовим сигналом ТСМУ 014 наведений на рис. 5.5.



Рисунок 5.5 - Зовнішній вигляд термоперетворювача опору з вихідним струмовим сигналом ТСМУ 014.

ТО мають:

- вибухобезпечний рівень вибухозахисту;
- вид вибухозахисту «Вибухонепроникна оболонка» по ГОСТ Р 51330.1;
- маркування вибухозахисту 1ExdIICT4 по ГОСТ Р 51330.0.

ТО можуть застосовуватися у вибухонебезпечних зонах, в яких можливе утворення вибухонебезпечних сумішей категорій ПА, ПВ, ПС груп Т1, Т2, Т3, Т4 згідно з ГОСТ Р 51330.19, відповідно до глави 7.3 ПУЕ та іншими нормативними документами, що визначають застосовність електроустаткування у вибухонебезпечних зонах.

ТО складаються з ЧЕ, захисної арматури, клемної головки та ДЖ, встановленого в клемній голівці.

Технічні характеристики.

Діапазон вимірюваних температур, °С:

ТСМУ 014.54 від мінус 0 до +100, ТСМУ 014.55 від 0 до +180.

Верхня межа діапазону вимірюваних температур, °С +180.

Вихідний струмовий сигнал, мА 4 ... 20; на замовлення споживача можливе виготовлення ТЗ з вихідним струмовим сигналом 0 - 5 мА.

Залежність вихідного струмового сигналу від вимірюваної температури лінійна.

Основна приведена похибка,%, не більше $\pm 0,25$.

Додаткова наведена похибка, викликана зміною температури навколишнього середовища,%/°С, не більше $\pm 0,01$.

Діапазон температури навколишнього середовища в зоні клемної головки, °С від мінус 60 до +70.

Показник теплової інерції, певний при коефіцієнті тепловіддачі практично рівному нескінченності, с, не більше, для ТО з діаметром захисної арматури:

- 10 мм 15;

- 10 мм з переходом на $\varnothing 8$ мм на відстані 60 мм; 9;

- 8 мм 5 мм; 6 мм 6.

Схема підключення ТО до лінії споживача 2-одротова.

Напруга живлення, В від 9 до 34.

Споживана потужність, Вт, не більше 0,8.

Опір навантаження, кОм, не більше $(U_{\text{факт.}}-9)/20$.

Кількість каналів вимірювання 1.

Довжина занурюваної частини захисної арматури, мм від 60 до 3150, (Для групи FX по ГОСТ 12997- до 400 мм; для групи GX по ГОСТ 12997- до 120 мм).

Діаметр занурюваної частини захисної арматури, мм 5; 6; 8; 10.

Тип штуцера:

- рухливі штуцери M20x1,5; M27x2;

- нерухомі штуцери M20x1,5; M27x2; K1/2"; K3/4"; R1/2; R3/4; G1/2;

нерухомі посилені штуцери M20x1,5; M27x2; K1/2"; K3/4"; R1/2; R3/4; G1/2;

пересувні штуцери M20x1,5; M27x2 (НЕ входять в комплект поставки).

Умовний гідростатичний тиск вимірюваного середовища P_u , МПа, не більше 6,3 - для ТО без штуцера; 16 - для всіх інших ТО.

Вібростійкість по ГОСТ 12997 F3, FX, GX (приклад запису ТО групи FX, GX при замовленні).

Термоперетворювач з уніфікованим струмовим вихідним сигналом ТСМУ0289 мідний [14] призначений для вимірювання температури в галузях нафтогазовидобувної, нафтопереробної, нафтохімічної промисловості та з виробництва мінеральних добрив у вибухонебезпечних зонах усіх класів. Зовнішній вигляд термоперетворювача з уніфікованим струмовим вихідним сигналом ТСМУ0289 мідного поданий на рис. 5.6.



Рисунок 5.6 - Зовнішній вигляд термоперетворювача з уніфікованим струмовим вихідним сигналом ТСМУ0289 мідного.

Технічні характеристики.

Робочий діапазон вимірюваних температур - $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $200\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Умовне позначення с - ТСМУ-0289-50М .

Межа допустимого значення основної похибки - $0,7\%$ - $2,5\%$.

Вихідний сигнал - постійний струм 4mA - 20mA .

Напруга живлення 12V - 36V .

Опір ізоляції не менше 100 MOm .

Кількість чутливих елементів 1 чи 2.

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

Розглянувши характеристики наведених датчиків, оберемо термоперетворювач опору з вихідним струмовим сигналом ТСМУ 014 для агресивних середовищ з НСХ 50М у каналі вимірювання температури азотної кислоти азотної кислоти на виході підігрівача азотної кислоти, оскільки параметри всіх наведених датчиків приблизно однакові, але має досить великий середній час напрацювання на відмову, середній термін служби і виробляється в Україні.

5.1.2.2 Датчик в каналі вимірювання температури парів азотної кислоти у концентраційній колоні

Є особливі вимоги середовища вимірювання – температура $70\text{--}85\text{ }^{\circ}\text{C}$, хімічно агресивне середовище.

Вибереємо з розглянутих датчиків, оскільки умови змінилися незначно, термоперетворювач опору з вихідним струмовим сигналом ТСМУ 014 для агресивних середовищ з НСХ 50М у каналі вимірювання температури парів азотної кислоти у концентраційній колоні такий же, як і в попередньому каналі.

5.1.2.3 Датчик в каналі вимірювання температури конденсації азотної кислоти у холодильнику- конденсаторі

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

Із розглянутих датчиків в каналі для вимірювання температури конденсації азотної кислоти у холодильнику- конденсаторі вибираємо для застосування такий же, як і в каналі вимірювання температури парів азотної кислоти термоперетворювач опору ТСМУ 014 для агресивних середовищ з НСХ 50М з НСХ 50М.

5.2 Вибір регулюючих органів

5.2.1 Канал контролю і управління витратою азотної кислоти на виробництво

Особливі вимоги середовища регулювання– агресивне робоче середовище (азотна кислота), температура навколишнього середовища -10 ...+40 °С, вологість 50-80 %.

Управління витратою азотної кислоти на виробництво здійснюється за допомогою регулювання витрати зміною пропускної спроможності трубопроводу з напірного баку азотної кислоти за допомогою регулюючого клапана на трубопроводі азотної кислоти.

Клапан електромагнітний неіржавіючий SMART[15] для потоків рідких і газоподібних агресивних середовищ застосовують для води, повітря, водяної пари, розчинів, спиртів, лугів, кислот та ін. Матеріал виготовлення клапана - неіржавіюча сталь марки AISI 304 або 316. Для ущільнення використовують полімери FKM або PTFE.

Управляються клапани подачею електричного сигналу на соленоїдну котушку. Напруги: 12V, 24V, 110V, 220V. Клапани електромагнітні серії НХ з неіржавіючої сталі розраховані на температуру до 250 °С. Монтаж в технологічні системи різьбовий або фланцевий.

Лінійка клапанів SMART виробництва «Smart Hydrodynamic Systems» (Південна Корея) має декілька різних клапанів для агресивних середовищ.

Клапан електромагнітний нержавіючий SMART SM5563S[16] нормально-закритий (без напруги - закритий) прямої дії.

Корпус з нержавіючої сталі AISI 304 (AISI 316).

Мембрана: FKM (NBR).

Призначений клапан для агресивних рідин і газів.

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

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

Клас захисту: IP65.

Допуск по напрузі: $\pm 10\%$.

Зовнішній вигляд клапана електромагнітного нержавіючого SMART SM5563S показаний на рис.5.7.



Рисунок 5.7- Зовнішній вигляд клапана SMART SM5563S.

Клапан електромагнітний нержавіючий SMART SM5564S[17] нормально-відкритий прямої дії призначений клапан для агресивних рідин і газів.

Корпус з нержавіючої сталі AISI 304 (AISI 316);

Мембрана: FKM (NBR);

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

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

клас захисту: IP65.

Допуск по напрузі: $\pm 10\%$.

Зовнішній вигляд клапана електромагнітного нержавіючого SMART SM5564S показаний на рис.5.8.



Рисунок 5.8- Зовнішній вигляд клапана SMART SM5564S.

Клапан електромагнітний неіржавіючий SMART SM7205[18] нормально-закритий (без напруги - закритий) прямої дії.

Корпус з неіржавіючої сталі AISI 304 (AISI 316);

Мембрана: FKM (NBR);

Клапан призначений для агресивних рідин і газів;

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

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

клас захисту: IP65.

Допуск по напрузі: $\pm 10\%$.

Зовнішній вигляд клапана електромагнітного неіржавіючого SMART SM7205 показаний на рис.5.9.



Рисунок 5.9- Зовнішній вигляд клапана SMART SM7205.

Клапан електромагнітний неіржавіючий SMART SM7207[19] (нормально— відкритий) прямої дії.

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

Клапан призначений для агресивних рідин і газів;

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

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

Клас захисту: IP65.

Допуск по напрузі: $\pm 10\%$.

Зовнішній вигляд клапана електромагнітного неіржавіючого SMART SM7207 показаний на рис.5.10.



Рисунок 5.10- Зовнішній вигляд клапана SMART SM7207.

Для управління витратою азотної кислоти на виробництво застосуємо на трубопроводі подачі азотної кислоти на виході напірного баку азотної кислоти регулюючий клапан електромагнітний неіржавіючий SMART SM7205 нормально-закритий прямої дії для агресивних середовищ, оскільки його характеристики повністю відповідають вимогам.

5.2.2 Канал контролю і управління витратою сірчаної кислоти на виробництво

Особливі вимоги середовища регулювання– агресивне робоче середовище (сірчана кислота), температура навколишнього середовища $-10 \dots +40$ °С, вологість 50-80 %.

Управління витратою сірчаної кислоти на виробництво здійснюється за допомогою регулювання витрати зміною пропускної спроможності трубопроводу з напірного баку сірчаної кислоти за допомогою регулюючого клапана на трубопроводі сірчаної кислоти.

Для управління витратою сірчаної кислоти на виробництво застосуємо на трубопроводі подачі азотної кислоти на виході напірного баку сірчаної кислоти регулюючий клапан електромагнітний неіржавіючий SMART SM7205 нормально-закритий прямої дії для агресивних середовищ, оскільки його характеристики повністю відповідають вимогам.

5.2.3 Канал контролю і управління температурою азотної кислоти на виході підігрівача азотної кислоти

Особливі вимоги середовища регулювання– температура: > 100 °С, тиск до 25 бар, неагресивне робоче середовище (пара), температура навколишнього середовища $-10 \dots +40$ °С, вологість 50-80 %.

Управління температурою азотної кислоти на виході підігрівача азотної кислоти здійснюється за допомогою регулювання витрати пари зміною пропускної спроможності трубопроводу подачі пари на вхід підігрівача азотної кислоти за допомогою регулюючого клапана на трубопроводі пари, яка надходить на вхід підігрівача азотної кислоти.

Для управління температурою азотної кислоти на виході підігрівача азотної кислоти застосуємо на трубопроводі подачі пари на вхід підігрівача азотної кислоти регулюючий клапан електромагнітний неіржавіючий SMART SM7207 для пари, оскільки його характеристики повністю відповідають вимогам.

5.2.4 Канал контролю і управління температурою парів азотної кислоти у концентраційній колоні

Особливі вимоги середовища регулювання – температура: > 100 °С, тиск до 25 бар, неагресивне робоче середовище (пара), температура навколишнього середовища $+10 \dots +40$ °С, вологість 50-80 %.

Управління температурою парів азотної кислоти у концентраційній колоні здійснюється за допомогою регулювання витрати гострої пари зміною пропускної спроможності трубопроводу подачі гострої пари за допомогою регулюючого клапана на трубопроводі гострої пари до концентраційної колони.

Оскільки умови середовища практично не змінилися, то для управління температурою парів азотної кислоти у концентраційній колоні застосуємо на трубопроводі подачі гострої пари до концентраційної колони регулюючий клапан електромагнітний неіржавіючий SMART SM7207 для пари, оскільки його характеристики повністю відповідають вимогам.

5.2.5 Канал контролю і управління температурою конденсації азотної кислоти у холодильнику- конденсаторі

Особливі вимоги середовища регулювання відсутні – температура навколишнього середовища $0 \dots +40$ °С, вологість 50-80 %, робоча температура: $4 \dots 10$ °С, неагресивне середовище (вода).

Управління температурою конденсації азотної кислоти у холодильнику- конденсаторі здійснюється за допомогою регулювання витрати води зміною пропускної спроможності

трубопроводу подачі води за допомогою регулюючого клапана на трубопроводі води до холодильникаа- конденсатора холодильнику- конденсаторі.

Для управління температурою конденсації азотної кислоти у холодильнику- конденсаторі застосуємо на трубопроводі подачі води регулюючий клапан електромагнітний неіржавіючий SMART SM7207 для води, оскільки його характеристики повністю відповідають вимогам.

5.3 Вибір контролера

Відповідно до обраних датчиків і типів каналів управління зробимо вибір контролера. Оскільки закон управління на даному етапі невідомий, на функціональному рівні необхідно вибрати за вимогами вхідних і вихідних сигналів контролер, який реалізує П-, ІІ-, ПД і ПІД- закони управління. Дані про вхідні сигнали наведені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1_ Вхідні сигнали управляючої системи

№ п.п.	Параметр управління	Сигнал	Величина
1	Витрата азотної кислоти на виробництво	Аналоговий	0...20 мА
2	Витрата сірчаної кислоти на виробництво	Аналоговий	0...20 мА
3	Температура азотної кислоти	Аналоговий	4...20 мА
4	Температура парів азотної кислоти	Аналоговий	0...20 мА
5	Температура конденсації азотної кислоти	Аналоговий	0...20 мА
6	Витрата концентрованої азотної кислоти	Аналоговий	0...20 мА
7	Витрата відпрацьованої сірчаної кислоти	Аналоговий	4...20 мА
8	Витрата відпрацьованої сірчаної кислоти у сховище	Аналоговий	4...20 мА

Дані про вихідні сигнали наведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2_ Вихідні сигнали управляючої системи

№ п.п.	Параметр впливу	Сигнал	Кількість
1	Витрата пари	Аналоговий	4
2	Витрата пари	Аналоговий	1
3	Витрата води	Аналоговий	1
	Сигналізація	Дискретний	5

На підставі даних таблиць 5.1 і 5.2 можна скласти вимоги до контролера і вибрати його на функціональному рівні. Вимоги за кількістю вхідних і вихідних сигналів наведені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3_ Вхідні і вихідні сигнали управляючої системи

Сигнал	Вид	Кількість
Вхідний	Аналоговий	8
Вихідний	Аналоговий	3
Вихідний	Дискретний	5

Вхідних і вихідних сигналів небагато, технологічний процес не швидкоплинний. Можливе застосування для управління на нижньому рівні системи логічного контролера для малих систем. Серед інших це: ПЛК Modicon фірми Schneider Electric (Франція) і МИК-52 підприємства Мікрол (Україна).

Промисловий контролер автоматизації Modicon M340 [20]. ПЛК M340 є спадкоємцем традицій та інновацій фірми Modicon, що випустила перший промисловий програмований контролер. За своїми можливостями і продуктивності M340 займає нішу в середині модельного ряду між контролерами Twido і Premium. В цілому архітектура M340 успадковує старші контролери: згаданий Premium і найбільш потужного контролера в лінійці Schneider Electric - Quantum. Більш того, M340 програмується за допомогою того ж програмного пакета, що і старші контролери - системи Unity Pro. Це програмне середовище підтримує всі стандартні мови МЕК 61131-3: список інструкцій (LI), мову сходових діаграм (LD), мову функціональним блок-схем (FBD), мову послідовних функціональних блоків (SFC) і мову структурованого тексту (ST). Контролер призначений для:

- вимірювання та автоматичного регулювання температури (при використанні в якості первинних перетворювачів термометрів опору), а також інших фізичних параметрів, значення яких первинними перетворювачами (датчиками) може бути перетворене в напругу постійного струму, уніфікований електричний сигнал постійного струму або активний опір;

- вимірювання аналогових сигналів струму або напруги; – вимірювання дискретних вхідних сигналів; – управління дискретними (релейними) виходами; – керування аналоговими виходами;

- прийому і передачі даних по інтерфейсах RS-485, RS-232, Ethernet;

- виконання користувацької програми з аналізу результатів вимірювання дискретних і аналогових входів,

- управління дискретними входами і виходами, передачі та прийому даних по інтерфейсах RS-485, RS-232, Ethernet.

Механічною основою системи є монтажна шина (кошик), на яку встановлюються блок живлення, процесорний модуль і модулі розширення. Архітектура дозволяє з'єднувати до чотирьох таких монтажних кошиків в єдину систему з одним головним процесором, а самі кошики

можна винести на сумарну довжину до 30 метрів. Таким чином віддалене введення/виведення організується «всередині» контролера і не потрібно впровадження додаткових польових шин. Крім блоку живлення все модулі мають однакову ширину, а тому займають лише одне установче місце на кошику. Максимальна місткість кошика - 12 місць, що з урахуванням блоку живлення і процесора дозволяє встановити ще 11 модулів розширення. Така конфігурація займе в шафі не більше 100x500x160 мм (ВxШxГ).

Контролер може застосовуватися для створення систем автоматизованого управління технологічним обладнанням в енергетиці, на транспорті, в різних галузях промисловості, житлово-комунального та сільського господарства. Зовнішній вигляд і склад контролера Modicon M340 подано на рис. 5.11.

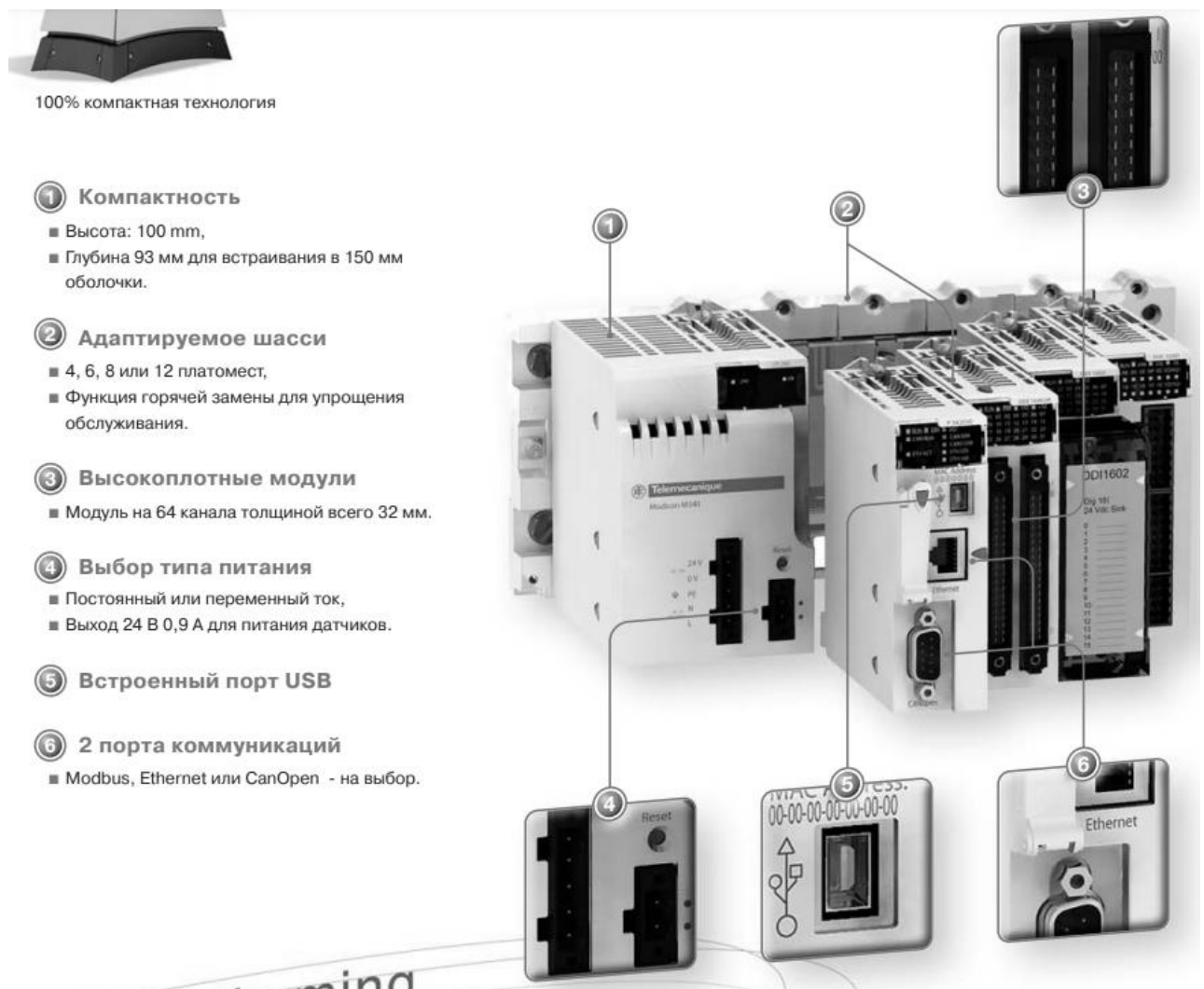


Рисунок 5.11 - Зовнішній вигляд контролера Modicon M340

Для контролера M340 доступні такі комунікаційні протоколи: Modbus RTU / ASCII, Ethernet Modbus TCP / IP, Modbus Plus, CANOpen master, Profibus DP, AS-interface V3 master. Для під'єднання панелі оператора типу XBT GT безпосередньо можна використовувати інтерфейс USB, таким чином немає необхідності в додатковому модулі Modbus.

Процесорні модулі діляться на дві групи: до першої належить процесор BMX P34 1000 з вбудованим портом RS-485 Modbus RTU. До другої відносяться чотири більш продуктивних процесора BMX P34 2xxx, які відрізняються між собою типом вбудованих інтерфейсів - це може бути CANopen master, Ethernet TCP / IP або Modbus RTU, при цьому один процесор може містити до двох перерахованих портів. Кожен процесор комплектується Flash-картою пам'яті типу SD (Secure Digital), яка використовується для резервного копіювання двох областей пам'яті контролера: області програм, символів, коментарів і область констант. У контролерів з вбудованим Modbus TCP / IP може бути встановлена карта пам'яті, що зберігає Web-сервіси, зокрема Web-сервер.

Типова продуктивність для контролера P34 1000 - 5400 булевих інструкцій за мілісекунду, для контролерів P34 2xxx - 8100 булевих інструкцій за мілісекунду. Модулі дискретного введення/виведення можуть мати до 64 каналів. Для введення можна використовувати сигнали 24, 48, 110 В як постійного, так і змінного струму, а також 220 В змін. струму. Для модулів виводу доступні як транзисторні виходи 24 В пост. струму, так і релейні виходи 220 В змін. струму. Модулі аналогового вводу підтримують стандартні уніфіковані діапазони (4-20 мА, 0-10 В в різних варіаціях), а також всі види датчиків температури. Модулі аналогового виводу доступні щільністю до 8 каналів з вихідним сигналом 4-20 мА. Розрядність АЦП модулів аналогового вводу-виводу - 16 біт, або 15 біт плюс знак. До спеціалізованих каналів відносяться рахункові модулі, що підтримують підключення енкoderів із push-pull виходом, модулі підключення SSI-енкодера і модулі контролю руху з ПТО-виходом для управління сервоприводами.

Процесорні модулі, блоки живлення і основні типи модулів розширення можуть бути виготовлені з поліуретановим покриттям електронних плат для роботи в умовах агресивного навколишнього середовища. Крім того, в такому виконанні розширено діапазон робочих температур, з 0 ... + 60 °С для стандартного виконання до -25 ... + 70 °С для покритого поліуретаном.

Технічні характеристики представлені в табл. 5.4 :

Таблиця 5.4 - Технічні характеристики контролера Modicon M340

	Стандартний процесор	Високoпродуктивний процесор		
	BMX P34 1000	BMX P34 2010	BMX P34 2020	BMX P34 2030
Час виконання				
Двійкова інструкція	0,18	0,12	0,12	0,12
Числова інструкція	0,26	0,17	0,17	0,17

Продовження таблиці 5.4

	Стандартний процесор	Високопродуктивний процесор		
	BMX P34 1000	BMX P34 2010	BMX P34 2020	BMX P34 2030
Вбудована пам'ять				
Користувацька пам'ять RAM	2048 Кбайт	4096 Кбайт	4096 Кбайт	4096 Кбайт
Розмір програми	35 К інструкцій	70 К інструкцій	70 К інструкцій	70 К інструкцій
Обсяг пам'яті даних	128 Кбайт	256 Кбайт	256 Кбайт	256 Кбайт
Карта пам'яті формату SsD				
Зберігання файлів	-	16 Мб	16 Мб	16 Мб
Архів додатків	8 Мб	8 Мб	8 Мб	8 Мб
WEB-сервер	2 Мб	2 Мб	2 Мб	2 Мб
	Стандартний процесор	Високопродуктивний процесор		
	BMX P34 1000	BMX P34 2010	BMX P34 2020	BMX P34 2030
Комунікація				
Вбудований порт USB	1	1	1	1
Вбудований порт TCP/IP Ethernet	-	-	1	1
Вбудований порт CanOpen	-	1	-	1
Вбудований порт Modbus	1	1	1	-

Контролер мікропроцесорний МИК-52[21] (рис.5.12) компактний програмований МК, призначений для автоматичного регулювання та логічного керування ТП в різних галузях (енергетичній, хімічній, машинобудівній, харчовій і т.п.). Застосовується для побудови керуючих та інформаційних систем автоматизації ТП різного рівня складності, а також для побудови окремих локальних і розподілених підсистем складних АСУТП.



Рисунок 5.12 – Микроконтролер МИК-52.

Таблиця 5.5 – Технічні характеристики мікроконтролера МІК-52

Аналогові вхідні сигнали	
Кількість дискретних входів	3
Кількість аналогових входів	8
Типи вхідних уніфікованих сигналів	0...5 мА, 0(4)...20 мА, 0...10 В
Гальванічна ізоляція	Індивідуальна (по входу, живленню)
Період опитування одного каналу	не більше 0,1 с
Похибка вимірювання	0,2 %
Аналогові вихідні сигнали	
Кількість аналогових виходів	до 4
Тип вихідного аналогового сигналу	0-5 мА ($R_H \leq 2\text{кОм}$), 0 (4) -20 мА ($R_H \leq 500\text{ Ом}$), 0-10 ($R_H > 2\text{кОм}$)
Період вимірювання, не більше	0,1 сек
Дискретні вхідні сигнали	
Кількість дискретних входів	до 35
Сигнал логічного "0" - стан ВІДКЛЮЧЕНО	0-7 В
Сигнал логічної "1" - стан ВКЛЮЧЕНО	19-32 В
Вхідний струм (споживання по входу)	$\leq 10\text{ мА}$
інтерфейси зв'язку	
Інтерфейси	RS485
Протоколи	Modbus RTU
Швидкість передачі	2400...921600 біт/с
Дискретні вихідні сигнали	
Кількість дискретних виходів	до 37
Типи виходів: - транзистор ОК - механічне реле (перемикається контакт) - твердотільне реле	до 40В, 100мА до 220В, 8А до 60В, 1.0А АС/DC
Гальванічна розв'язка дискретних виходів	Групова
Послідовний інтерфейс RS-485	
Тип каналу	Асинхронний напівдуплексний (прийом і передача йдуть по одній парі дротів з поділом за часом)

Продовження таблиці 5.5

кількість прийомопередавачів	32 прийомопередавача на одному сегменті
Максимальна довжина лінії в межах одного сегмента мережі	1200 метрів
Кількість активних передавачів	1 (тільки один передавач активний)
Максимальна кількість вузлів в мережі	250 з урахуванням магістральних підсилювачів
Вид кабелю	кручена пара, екранована кручена пара
Гальванічна розв'язка	інтерфейс гальванічно ізольований від інших входів-виходів і інших ланцюгів (напруга гальванічної розв'язки не менше 500 В)
Протокол зв'язку	Modbus режим RTU (Remote Terminal Unit)
Загальні відомості	
Конструктивне виконання	DIN 43700
Ступінь захисту корпусу	IP30
Електричні дані	
Напруга живлення:	
• змінного струму	~220 (+22 –33)В, (50 ± 1) Гц
• постійного струму	24 В
Споживана потужність від мережі змінного струму, не більше:	до 13 ВА
Струм споживання по живленню 24В, не більше:	не более 350 мА

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

Порівнявши технічні характеристики промислових контролерів Modicon M340 і МІК-52, можна робити висновок, що Modicon M340 має більший обсяг пам'яті, кількість інтерфейсів і протоколів з якими працює ПЛК, а також наявність середовища для програмування і можливість налагодження. Тому будемо використовувати промисловий контролер Modicon M340.

Маючи відомості про канали отримання інформації, канали внесення керуючих впливів, вибрані технічні засоби автоматизації розробили функціональну схему автоматизації технологічного процесу отримання концентрованої азотної кислоти в присутності сірчаної кислоти (додаток А).

6 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

6.1 Побудова математичної моделі системи управління

Математичною моделлю називається система математичних співвідношень (рівнянь), що встановлюють зв'язок між вхідними і вихідними сигналами об'єкта.

Для розрахунку виберемо регулювання температури азотної кислоти на виході підігрівача, який є одним із визначальних апаратів, створює значний вплив на отримання азотної кислоти.

Технологічна схема системи регулювання підігріву азотної кислоти наведена на рис. 6.1.

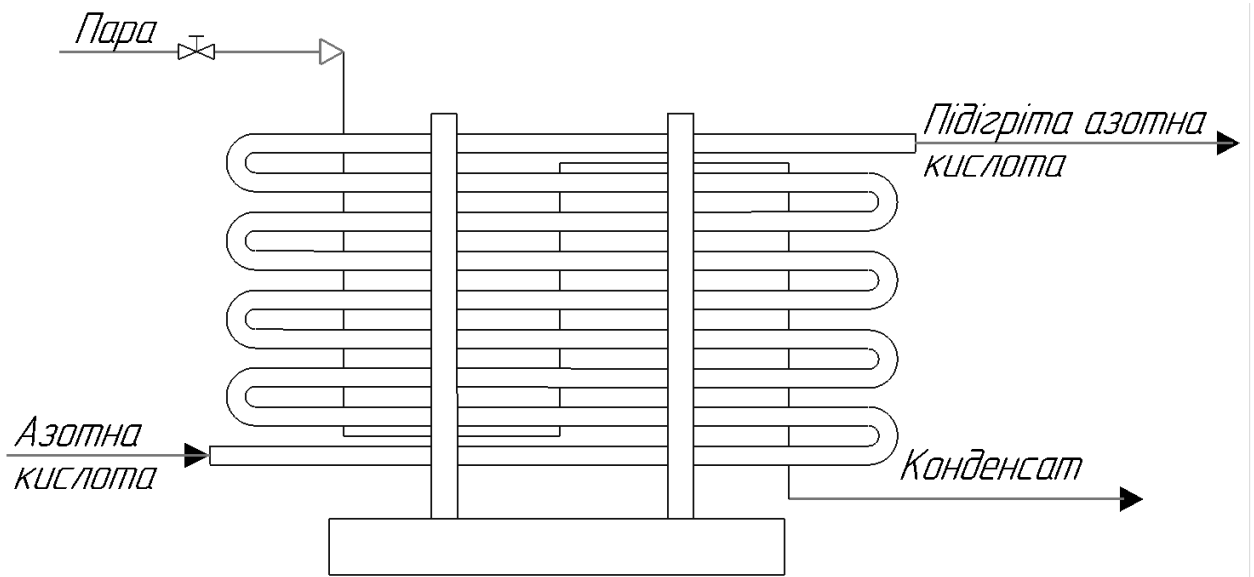


Рисунок 6.1 – Технологічна схема об'єкта регулювання.

Система регулювання температури у підігрівачі включає в себе об'єкт регулювання, датчик температури, регулятор, підсилювач напруги, підсилювач потужності, виконавчий механізм.

Система автоматичного регулювання забезпечує підтримку температури у заданих межах при дії збурюючих впливів.

Вихідним параметром об'єкта управління є температура азотної кислоти на виході підігрівача. Керуючим впливом є витрата пари на підігрів азотної кислоти, 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 [46,47].

6.1.1 Отримання передатної функції об'єкта управління

Отримати передатну функцію об'єкта можна різними способами: математичним описанням та методом ідентифікації.

Ідентифікація систем - сукупність методів для побудови математичних моделей динамічної системи за даними спостережень. Математична модель в даному контексті означає математичний опис поведінки будь-якої системи або процесу, як правило, у часовій області.

Для процесу ідентифікації потрібно розгінна крива.

Розгінною характеристикою називають залежність зміни вихідної регульованої величини від часу увих (t). Розгінні характеристики знімають при випробуваннях або налагодження в випадках, коли можна внести значні за величиною і тривалістю у часі впливи, що є достатніми для того, щоб закінчився перехідний процес, тобто, стабілізувався регулюємий параметр для статичних систем, по відношенню до якого отримують розгінну характеристику, або стабілізувалася швидкість його зміни для астатичних систем.

Розгінну характеристику об'єкта отримаємо імітацією запуску системи в MatLab, оскільки сама технологія виробництва азотної кислоти її не містить.

Для цього задамося такими показниками: вхідним пливом, вихідним відгуком, часом завершення перехідного процесу.

В якості вхідного впливу виступає положення регулюючого клапану, в якості вихідного відгуку – температура на виході підігрівача.

Процес дискретизований за часом через 1 секунду.

Дані для імітації процесу розгону наведені в табл. 6.1.

Таблиця 6.1_ Дані для імітації процесу розгону

t, с (час)	m, % (вхідний вплив, положення клапана подачі пари)	s, °C (вихідний відгук, температура азотної кислоти на виході)
0 – 100 °C	0 – 20% ($\Delta=0.2\%$)	0 – 50 C ($\Delta=0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$)
101 – 270 °C	20 – 37% ($\Delta=0.1\%$)	100 - 50 – 101 C ($\Delta=0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$)
271-332 °C	37 – 40.1% ($\Delta=0.05\%$)	101 – 110 C ($\Delta=0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$)
332 – 480 °C	40.1 – 41.6 ($\Delta=0.01\%$)	110 – 125 C ($\Delta=0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Для побудови розгонної характеристики дані заносимо до MatLab (рис.6.2).



Рисунок 6.2 – Занесені дані у MatLab.

Отримуємо розгонну криву у вигляді графіка (рис. 6.3).

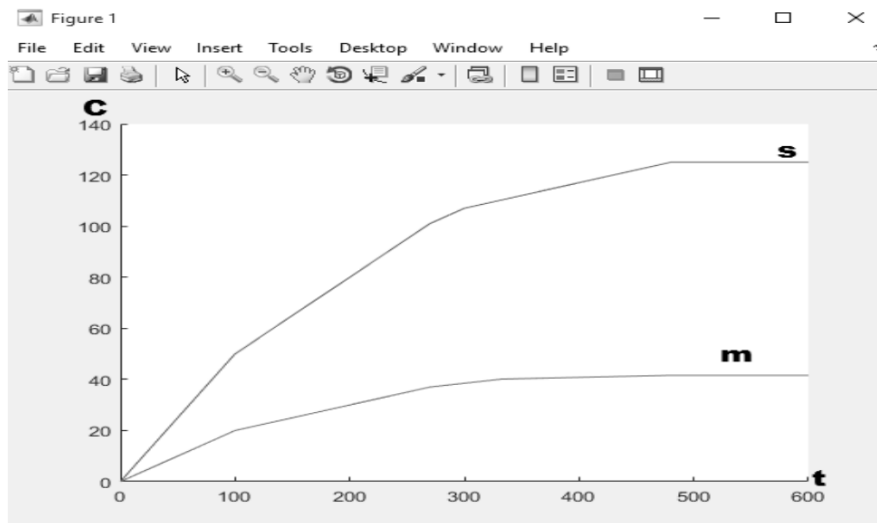


Рисунок 6.3 – Розгонна крива підігрівача (s - вихідний відгук, m - вхідний вплив, t – час перехідного процесу, C – температура.).

Тепер у MatLab виконаємо ідентифікацію об'єкта.

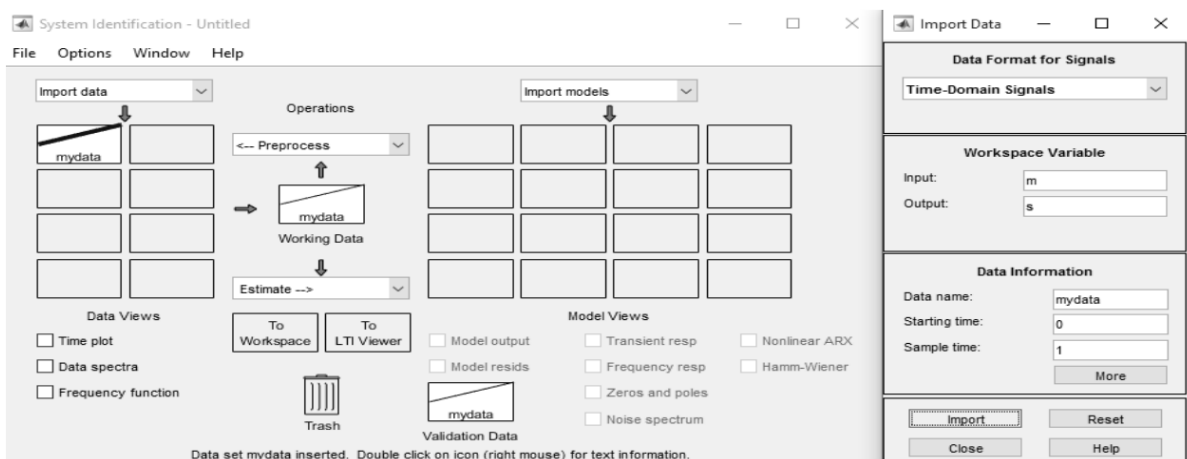


Рисунок 6.4 – Вікно системи ідентифікації.

Виберемо для описання об'єкта аперіодичну ланку 1-го порядку (рис. 6.5, 6.6 і 6.7).

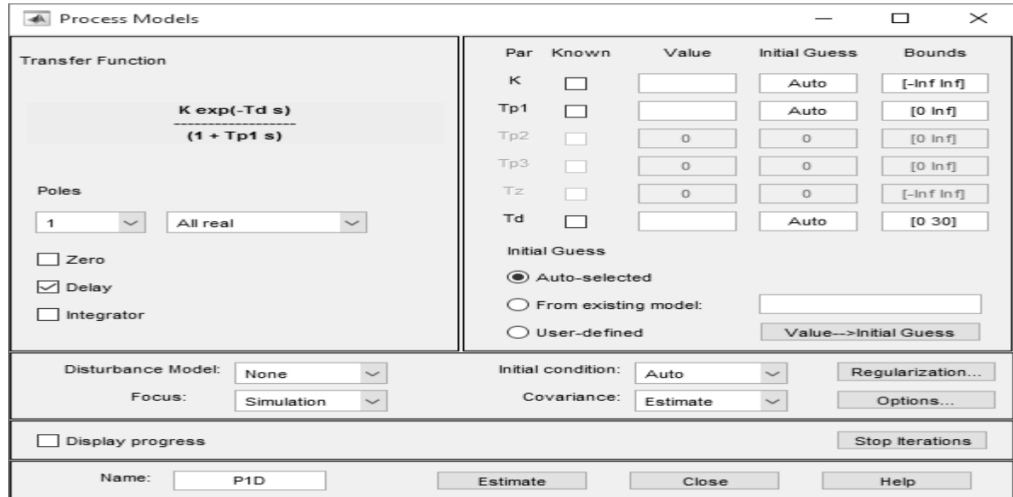
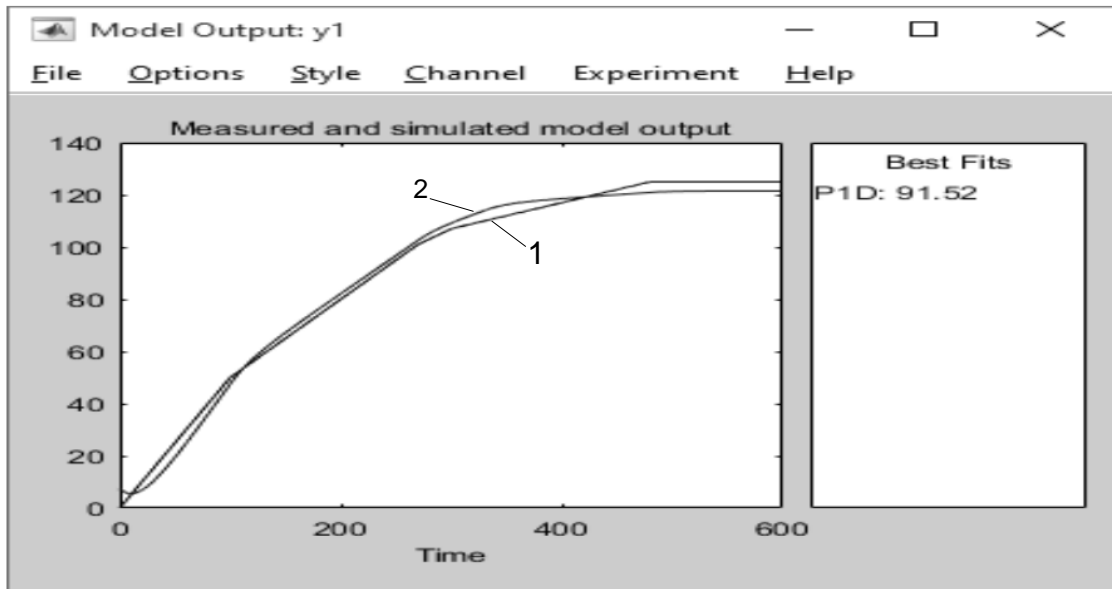


Рисунок 6.5 – Вікно установки параметрів моделювання процесу.



6.6 – Графік, отриманий при моделюванні аперіодичної ланки 1-го порядку.

1 - це вихідний відгук, заданий вручну, 2 - це крива, побудована на основі даних ідентифікації об'єкта. Обидві криві візуально досить близькі.

```

Process model with transfer function:
      Kp
G(s) = ----- * exp(-Td*s)
      1+Tp1*s

      Kp = 2.9199
      Tp1 = 18.229
      Td = 0

Name: PID

Name: PID
Parameterization:
'PID'
Number of free coefficients: 3
Use "getpvec", "getcov" for parameters and their uncertainties.

Status:
Estimated using PROCEST on time domain data "mydata".
Fit to estimation data: 91.13%
FPE: 10.57, MSE: 10.46

```

Рисунок 6.7 – Вигляд передатної функції і чисельні значення.
для аперіодичної ланки 1-го порядку.

Створимо в MatLab модель системи регулювання температурою з ПІД-регулятором.
(рис.6.8).

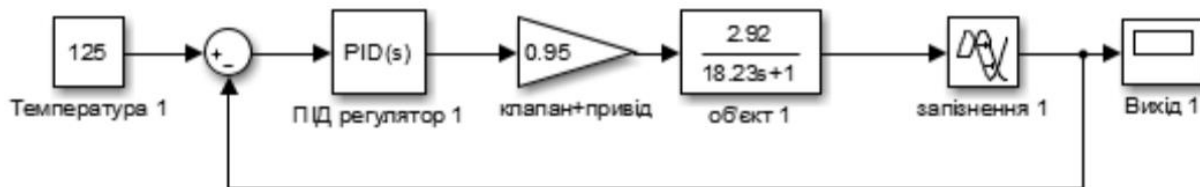


Рисунок 6.8 – Модель системи в MatLab.

Отримали графіки перехідного процесу: 1 – із автоматично встановленими
налаштуваннями регулятора; 2 – із підібраними налаштуваннями (рис.6.9).

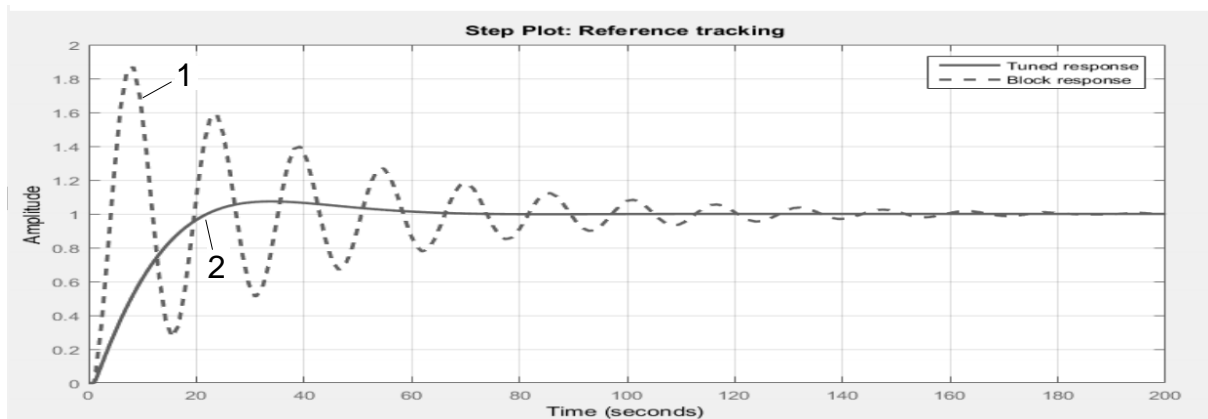


Рисунок 6.9 – Графіки перехідного процесу з не налаштованим і налаштованим
регулятором.

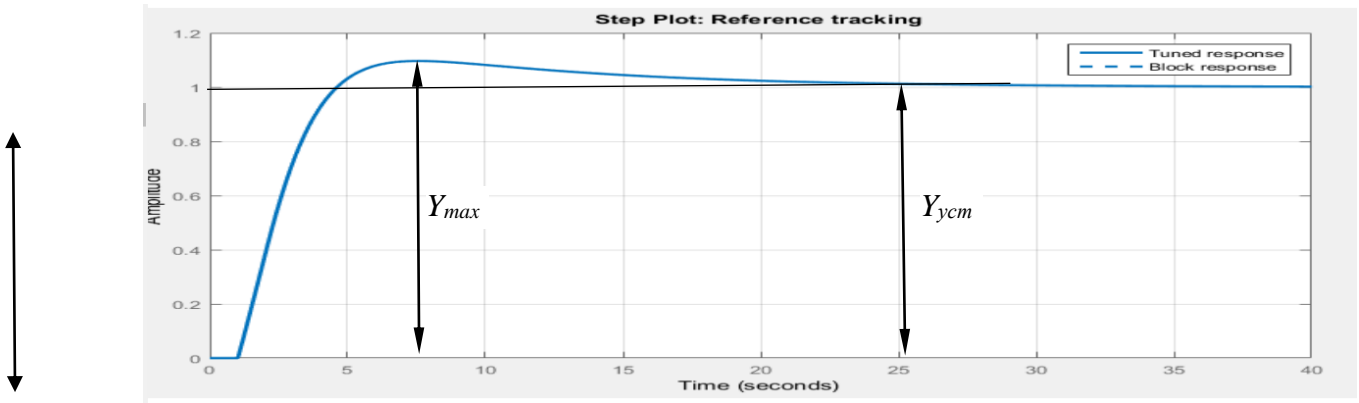


Рисунок 6.10 – Графіки нормованого перехідного процесу з налаштованим регулятором.

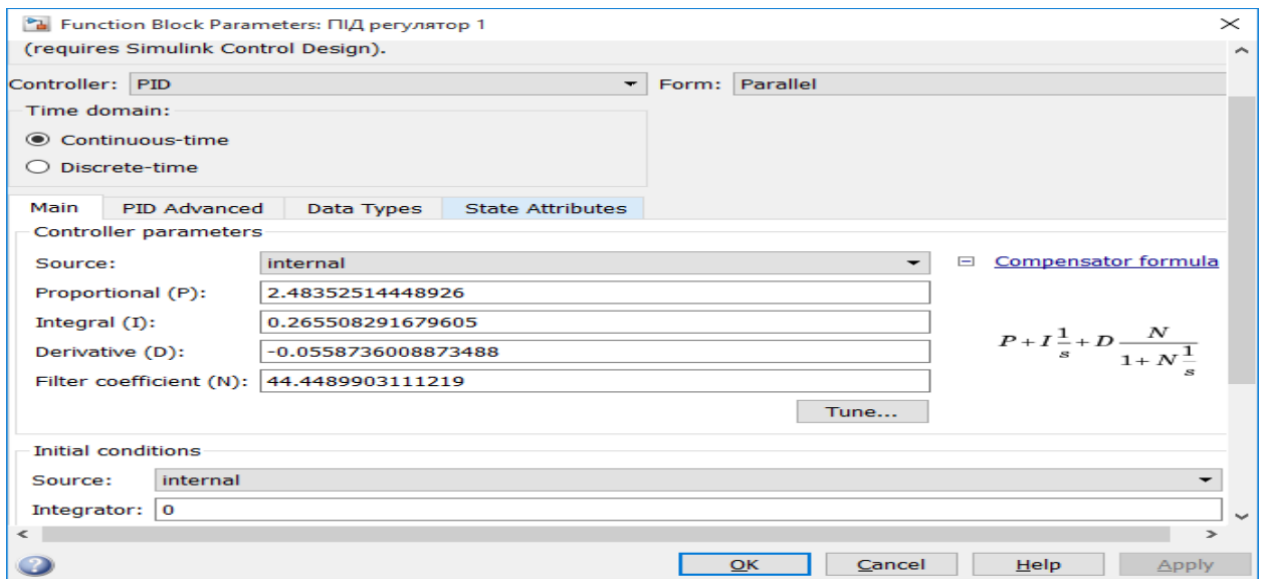


Рисунок 6.11 – Налаштування ПІД-регулятора.

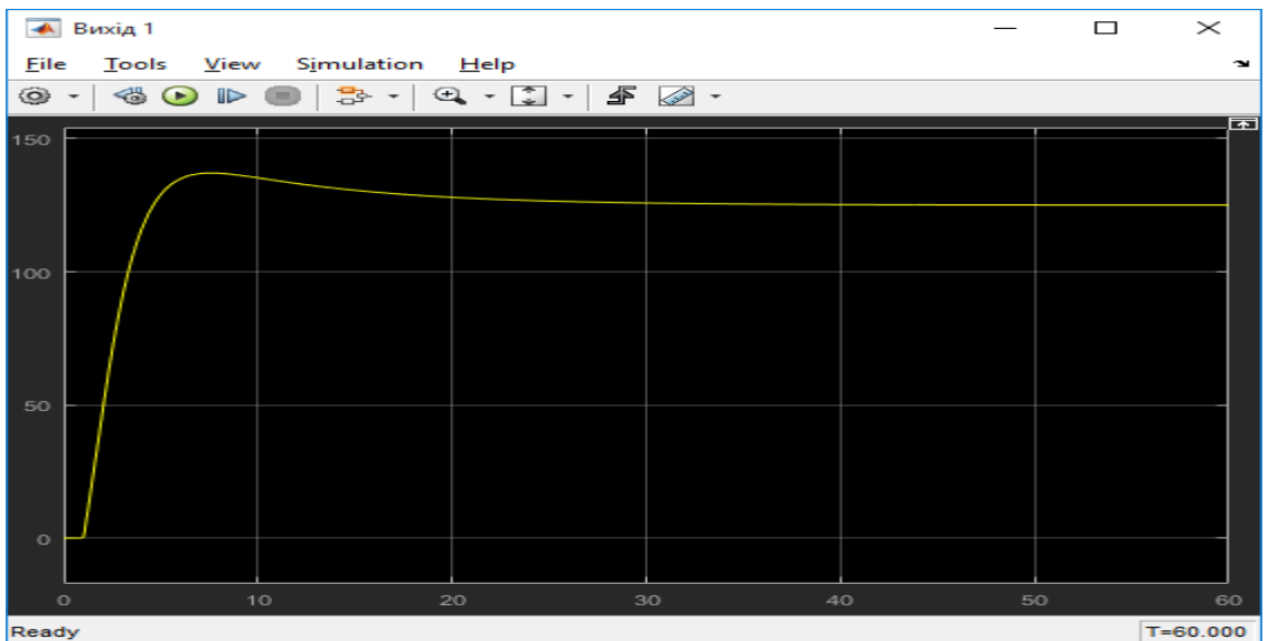


Рисунок 6.12 – Графік перехідного процесу з налаштованим ПІД-регулятором.

Оскільки в цьому об'єкті керуємо температурою, а температура-це інтегральний показник, тому застосовуємо саме ПД-регулятор. При застосовуванні П-регулятора система була б не стійка але час перехідного процесу був би мінімальним. Якщо застосувати ПІ-регулятор, то час виходу на потрібну температуру буде приблизно в 2 рази менший, ніж при використанні ПД-регулятора. При використанні ПД-регулятора було досягнуто відсутності коливань та задовільний час перехідного процесу.

8 АЛГОРИТМ РОБОТИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

Перед запуском процесу проводиться попередня перевірка готовності до роботи. Перевіряється працездатність і справність клапанів. Проводиться опитування всіх датчиків і установка параметрів регулювання. Потім система переходить в режим очікування команди оператора. Після підтвердження оператором готовності система починає виконання технологічного процесу отримання концентрованої азотної кислоти в присутності сірчаної кислоти.

Алгоритм управління технологічним процесом отримання концентрованої азотної кислоти в присутності сірчаної кислоти дає уявлення про послідовності реалізованих дій. Технологічний процес отримання концентрованої азотної кислоти в присутності сірчаної кислоти є безперервним від початку його запуску до вимикання оператором в разі відсутності технологічних збоїв і аварійних ситуацій.

Спочатку проводиться відкриття клапанів подачі азотної кислоти і сірчаної кислоти з напірних баків. Відкривається клапан подачі пари у підігрівач азотної кислоти. Проводиться опитування датчиків витрати і температури, після чого отримані дані обробляються. Підпрограма опитування датчиків знімає показання і записує в масив даних. Підпрограма обробки даних порівнює масив отриманих даних з масивом граничних значень регулюємих параметрів. Якщо витрата і температура азотної кислоти і температура сірчаної кислоти відповідають нормі, то процес іде далі. Інакше проводиться ПД-регулювання параметрів процесу. У разі виходу i -того параметра за встановлені межі система видає керуючий вплив, що полягає у вмиканні відповідного виконавчого механізму.

Потім відкривається клапан подачі гострого пару у концентраційну колону. Проводиться опитування датчика температури парів азотної кислоти. Якщо температура парів азотної кислоти у концентраційній колоні в нормі, то процес іде далі. Інакше система переходить на виконання ПД-регулювання. Після приведення температури до норми процес іде далі.

Відкривається клапан подачі охолоджувальної води у холодильник-конденсатор і опитується датчик температури конденсації азотної кислоти. Якщо температура конденсації азотної кислоти у холодильнику-конденсаторі у нормі, то процес іде далі. Інакше система переходить на виконання ПД-регулювання. Після приведення температури до норми процес іде далі.

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.

Блок-схеми алгоритмів роботи системи управління наведені у додатку Б.

ВИСНОВОК

В роботі виконана розробка системи управління технологічним процесом моноетаноламінового очищення конвертованого газу від діоксиду вуглецю. Виконано аналіз технологічного процесу, обрані канали управління, зроблено вибір засобів автоматизації, а саме, датчиків, виконавчих механізмів, засобів сигналізації і контролера. Також були розроблені функціональна схема автоматизації і алгоритм роботи системи, модель об'єкта управління – барботажного шару в абсорбері, отримана аналітично його передатна функція.

Проведені розрахунки контуру управління рівнем барботажного шару. Обраний закон регулювання та визначені оптимальні параметри регулятора.

Література

1. Азотна кислота, нітратна кислота [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D1%96%D1%82%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BD%D0%B0_%D0%BA%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%BE%D1%82%D0%B0
2. А. М.Кутепов , Т. И. Бондарева , М. Г. Беренгартен Общая химическая технология, М.: «Высшая школа». 1990, 520 с.
3. Process Control of Technological Processes [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.ispatguru.com/process-control-of-technological-processes/?utm_source=rss&utm_medium=rss&utm_campaign=process-control-of-technological-processes
4. Deciding Upon Control-System Technology [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ethanolproducer.com/articles/1456/deciding-upon-control-system-technology>
5. В.А. Голубятников, В.В. Шувалов Автоматизация производственных процессов в химической промышленности, – М.: Химия, 1972. – 248 с.
6. Проектування систем автоматизації: Навч пос. / М.С. Пушкар, С.М. Проценко, 2013.- 268 с.
7. A Guide to the Automation Body of Knowledge (2nd Edition) Trevathan, Vernon L. (2006) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpAGABKE07/viewerType:toc//root_slug:guide-automation-body?b-cat-name=Process%20Design%2C%20Control%20%26%20Automation&b-cat-slug=process-design-control-automation&b-cat-id=197&b-order-by=name&b-sort-by=ascending&b-filter-by=all-content
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. Вихревой расходомер DVH [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.kobold.com/%D0%92%D0%B8%D1%85%D1%80%D0%B5%D0%B2%D0%BE%D0%B9-%D1%80%D0%B0%D1%81%D1%85%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%80-DVH>
10. Расходомер на базе компактной измерительной диафрагмы Rosemount™ 3051SFC [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.emerson.ru/ru-ru/catalog/rosemount-sku-3051sfc-orifice-plate-flow-meter-ru-ru>

11. Электромагнитный расходомер ЭМИС-МАГ 270 [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://emis-kip.ru/ru/prod/elektromagnitnyj_rashodomer/
12. ДТСхх4. Термосопротивления с кабельным выводом EXIA [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://owen.ua/ru/datchiki/dtsxx4-termosoprotivlenija-s-kabelnym-vyvodom-exia/konstruktivnye-ispolnenija>
13. Термопреобразователи с унифицированным выходным сигналом погружаемые [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://termopribor.com/termopreobrazovateli-s-unifitsirovannim-vihodnim-signalom-pogruzaemie-i-podshipnikovie-tsmu-014-tspu-014-tsmu-015-tspu-015/>
14. Термопреобразователь с унифицированным выходным сигналом ТСМУ-0289 медный термометр сопротивления [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ukrgazavt.com.ua/products/termopreobrazovatel-s-unificirovannym-vyxodnym-signalom-tsmu-0289-mednyj-termometr-soprotivleniya/>
15. Клапан электромагнитный неіржавіючий SMART [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docplayer.ru/85953287-Smart-hydrodynamic-systems.html>
16. Клапан электромагнитный неіржавіючий SMART SM5563S [Электронный документ]. Систем. вимоги: Adobe Acrobat Reader. / – Режим доступа: <file:///C:/Users/MVI/Downloads/sm5563s.pdf>
17. Клапан электромагнитный неіржавіючий SMART SM5564S [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ca29435e52bc3ed.s.siteapi.org/docs/sp07miojx1wsc4440kgsskkos848wc>
18. Клапан электромагнитный неіржавіючий SMART SM7205 [Электронный документ]. Систем. вимоги: Adobe Acrobat Reader. / – Режим доступа: http://armastock.ru/files/Tex_passport_SM7205.pdf
19. Клапан электромагнитный неіржавіючий SMART SM7207 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ca29435e52bc3ed.s.siteapi.org/docs/o5ls63f1ltco8k84ss0ookgs8co844>
20. Modicon M340 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.se.com/ua/ru/product-range-download/1468-modicon-m340/>
21. КОНТРОЛЛЕР МИКРОПРОЦЕССОРНЫЙ МИК-52 - [Электронный ресурс]. – режим доступа: http://www.microl.ua/index.php?page=shop.product_details&flypage=garden_flypage.tpl&product_id=111&category_id=24&option=com_virtuemart&Itemid=71
22. Математическое моделирование объектов и систем управления : учебное пособие / Н.В. Осипова. - М.: Изд. Дом НИТУ, «МИСиС», 2019. - 67 с.

23. Advanced PID Control Åström, Karl J.; Hägglund, Tore (2006) [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpAPIDC001/viewerType:toc//root_slug:advanced-pid-control?b-cat-name=Process%20Design%2C%20Control%20%26%20Automation&b-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
24. 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.
25. ДСТУ Б А.2.4-3:2009 Національний стандарт України. Правила виконання робочої документації автоматизації технологічних процесів.