Факультет комп’ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп’ютерних систем
Ступінь вищої освіти "бакалавр"
Спеціальність: 151 - Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології
Освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології

“ЗАТВЕРДЖУЮ”
Завідувач кафедри СКС
_____ А.І.Сегін
“____”_____2023 р.

З А В Д А Н Н Я
НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТЦІ
ВОЛОШИН Катерині Володимирівні
(прізвище, ім’я по-батькові)

1. Тема випускної кваліфікаційної роботи
Автоматизована система регулювання параметрів у процесі синтезу аміаку/ Automated system for controlling parameters in the ammonia synthesis process
керівник роботи д.т.н., професор Н.Я.Возна

затверджені наказом по університету від ”12” грудня 2023 р. № 753

2. Строк подання студентом закінченої кваліфікаційної роботи:
10 травня 2024р.

3. Вихідні дані до випускної кваліфікаційної роботи:
1. Технологічна схема процесу
2. Система керування, що забезпечує задані часові показники якості процесу керування
3. Характеристики ПЛК WinPAS 8831

4. Основні питання, які потрібно розробити:
1. Опис технологічного процесу синтезу аміаку
2. Розроблення системи автоматизованого управління
3. Розрахунок параметрів системи автоматизованого регулювання температури в башті синтезу

5. Перелік графічного матеріалу у роботі:
1. Технологічна схема
2. Функціональна схема автоматизації
3. Схема об'єкта управління

6. Консультанти розділів випускної кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Возна Н.Я.		
2	Возна Н.Я.		
3	Возна Н.Я.		

7. Дата видачі завдання 12 грудня 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назви етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Опис технологічного процесу синтезу аміаку	12.2023р. – 01.2024р.	
2	Розроблення системи автоматизованого управління	02.2024р. – 03.2024р.	
3	Розрахунок параметрів системи автоматизованого регулювання температури в башті синтезу	04.2024р. – 05.2024р.	

Студентка _____ Волошин К.В.
(підпис)

Керівник роботи _____ д.т.н., проф. Возна Н.Я.
(підпис)

АНОТАЦІЯ

Волошин К.В. Автоматизована система регулювання параметрів у процесі синтезу аміаку. – Рукопис.

Дослідження на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», освітньо-професійна програма. – Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, 2024.

У роботі досліджено технологічний процес синтезу аміаку, розроблено технологічну схему автоматизації, розроблено функціональну схему автоматизації, виділено керуючі, вихідні та збурюючі параметри, проаналізовано методи регулювання основних технологічних параметрів, дана характеристика основного технологічного обладнання, технічних засобів контролю і автоматизації, побудовані структурні схеми САУ температури в гарячій точці колони синтезу, здійснено моделювання та оптимізацію САР температури.

ABSTRACT

Voloshyn K.V. Automated parameter control system in the process of ammonia synthesis. - Manuscript.

Research on obtaining a bachelor's degree in the specialty 151 "Automation and computer-integrated technologies", educational and professional program. – West Ukrainian National University, Ternopil, 2024.

In the work, the technological process of ammonia synthesis was investigated, a technological scheme of automation was developed, a functional scheme of automation was developed, control, output and disturbing parameters were selected, methods of regulation of the main technological parameters were analyzed, the characteristics of the main technological equipment, technical means of control and automation were given, structural diagrams of the temperature control system were built in the hot spot of the synthesis column, simulation and optimization of the SAR temperature was carried out.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ…… 6

ВСТУП……. 7

ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ СИНТЕЗУ АМІАКУ…….. 9

1.1 Аналіз технологічного процесу виділення аміаку з природного газу…… 9

1.2 Промислові установки синтезу аміаку……... 15

1.3 Аналіз технологічного обладнання установки синтезу аміаку… 16

1.4 Основні принципи автоматизації процесу виробництва аміаку.. 18

2 РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ……. 20

2.1 Визначення параметрів регулювання……... 20

2.2 Проєктування функціональної схеми автоматизації синтезу аміаку…… 20

2.3 Обґрунтування технічних засобів автоматизації……. 26

2.3.1. Вибір мікропроцесорного обладнання…… 26

2.3.2. Вибір давачів……. 28

2.3.3. Вибір виконавчих пристроїв…… 32

3 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ В БАШТІ СИНТЕЗУ…….. 36

3.1 Аналіз об'єкта управління…… 36

3.2 Визначення закону регулювання……. 42

3.3 Розроблення структурної схеми керування…… 43

3.4 Моделювання та оптимізація САР температури……... 46

ВИСНОВКИ……. 51

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ……... 52

ДОДАТКИ…… 55

					ДП.АКІТ.8872454.00.00.000 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Волошин К.В.			Автоматизована система регулювання параметрів у процесі синтезу аміаку/ Automated system for controlling parameters in the ammonia synthesis process	Літ.	Арк. 5 / Акрушів
Перевір.		Возна Н.Я.					
Консульт.		Возна Н.Я.				ЗУНУ.ФКІТ.АКІТ-41	
Н. Контр.		Заставний О.М.					
Затверд.		Сегін А.І.					

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АРМ – автоматизоване робоче місце;

АСУТП – автоматизована система управління технологічним процесом;

АТК– автоматизований технологічний комплекс;

АЦП – аналого-цифровий перетворювач;

КВП і А – контрольно-вимірювальні прилади і автоматика;

ПЗ – програмне забезпечення;

ПР - пристрій регулювання;

ПІД-регулятор – пропорційно-інтегрально-диференційний регулятор;

ПІ-регулятор – пропорційно-інтегральний регулятор;

ПЛК – програмний логічний контролер;

ППП – пристрій плавного пуску;

ПЧ – перетворювач частоти;

САР – система автоматичного регулювання;

САУ – система автоматичного управління;

ТЗА – технічні засоби автоматизації;

ТО – термоперетворювач опору;

ТОУ– технологічний об’єкт управління;

ЦД – цифровий дисплей;

ЦП – центральний процесор.

ВСТУП

Актуальність теми. Аміак – безбарвний газ з задушливим різким запахом. При охолодженні він зріджується, а при -78°С - твердне. Рідкий аміак - безбарвна рідина.

Аміак вступає в реакції приєднання, заміщення і розкладання. У відповідності до різних хімічних реакцій аміак утворює солі, зокрема нітрат амонію (аміачну селітру), сульфат амонію, фосфат амонію. Ці та ряд інших солей амонію знаходять широке застосування в промисловості і в сільському господарстві. Рідкий аміак, його водні розчини, а також розчини карбаміду, аміачної селітри та інших солей в аміаку, названі аміакатами, використовуються в якості рідких добрив. Синтетичний аміак використовується як проміжний продукт для отримання великої кількості різних азотовмісних сполук, таких як азотна кислота, карбамід, амофос та ін. Собівартість аміаку досить висока і на даний час проводяться роботи, спрямовані на зниження високої енергоємності виробництва, вдосконалення апаратури і пошук нових матеріалів для неї.

Одним із найважливіших завдань, яке стоїть перед кожним підприємством, є підвищення якості продукції та вдосконалення технології виробництва.

Сучасні хімічні технологічні процеси відрізняються своєю складністю і високими витратами, а також шкідливими умовами праці та вибухонебезпечними та пожежонебезпечними речовинами, з якими працюють. Зі збільшенням завантаженості обладнання з метою збільшення виробництва стає неможливим контролювати процеси при високому тиску, температурі та швидкості хімічних реакцій без використання сучасних розробок в області автоматизації.

На сучасному етапі розвитку систем автоматичного керування також необхідно підвищувати якість і надійність керування та використовувати новітні засоби для створення складних систем, що включають керування,

регулювання, сигналізацію та блокування технічних параметрів.

Тому модернізація існуючих і розробка нових систем управління хімічними процесами є актуальним завданням.

Для вирішення цього питання необхідно проаналізувати процес синтезу аміаку з метою визначення шляхів підвищення якості готового продукту та управління ним.

Мета роботи. Метою даної роботи є удосконалення процесу синтезу аміаку за рахунок оптимізації температурного режиму колони синтезу.

Для досягнення даної мети необхідно вирішити наступні завдання:

- вивчити технологічний процес утворення аміаку;

- дослідити фактори, які впливають на технологічний процес;

- розробити структуру системи управління, враховуючи взаємозв'язки параметрів і зовнішні впливи;

- здійснити підбір регуляторів, які дозволять підтримувати температуру протягом заданого періоду часу;

- розробити математичну модель автоматизованої системи.

Об’єкт дослідження. Процес синтезу аміаку.

Предмет дослідження. Автоматизована система регулювання параметрів у колоні синтезу аміаку, як основному технологічному апараті відділення синтезу аміаку, призначеному для здійснення реакції синтезу.

Практичне значення отриманих результатів полягає в забезпеченні якісного контролю температури, що сприяє підвищенню продуктивності колони синтезу аміаку та збільшенню максимального об’єму вихідного продукту.

Апрабація. Дослідження автоматизованого процесу регулювання параметрів у процесі синтезу аміаку / К.Волошин, Л.Нечипорук, О.Долинюк // Збірник матеріалів проблемно-наукової міжгалузевої конференції «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології» (АКІТ - 2024), Тернопіль, 2024. -с. 24-28.

1. ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ СИНТЕЗУ АМІАКУ

1.1 Аналіз технологічного процесу виділення аміаку з природного газу

Аміак є одним з найважливіших продуктів хімічної промисловості - з нього отримують різні азотовмісні сполуки, азотну кислоту і добрива (аміачну селітру, комплексні добрива та ін.). Рідкі та аміачні форми також доступні як самостійні добрива. Рідкий аміак використовується як холодоагент в холодильних приладах, в металургії для створення захисту навколишнього середовища, а також у виробництві пластмас.

Кінцевим продуктом синтезу аміаку є рідкий промисловий аміак. Якість рідкого аміаку регламентується стандартом, який регулює виробництво трьох марок продукції: А - для азотування, як холодоагент для створення захисної атмосфери; Ак - для експорту і транспортування по магістральних аміакопроводах; Б - перероблений в добриво і використовується як азотне добриво для сільськогосподарських потреб. Виробництво рідкого промислового аміаку повинно відповідати вимогам ДСТУ [1-3].

Технологія виробництва синтетичного аміаку складається з наступних стадій [1-5]:

- отримати синтез-газ (початкова азотоводнева суміш);
- очистити синтез-газ;
- синтезувати аміак.

Основною сировиною для отримання аміаку є природний газ. Сучасні технологічні рішення синтезу аміаку в основному включають такі технологічні потоки: десульфурація, каталітична конверсія метану в трубчастій печі, пароповітряна каталітична конверсія шахтного конвертера, двостадійна каталітична конверсія монооксиду вуглецю, абсорбція та очищення двоокису вуглецю, конверсія вуглекислого газу, метанування залишкового оксид вуглецю і вуглекислий газ, Стиснення воднево-азотних

сумішей і каталітичний синтез аміаку.

Узагальнена схема отримання аміаку з природного газу представлена на рисунку 1.1.

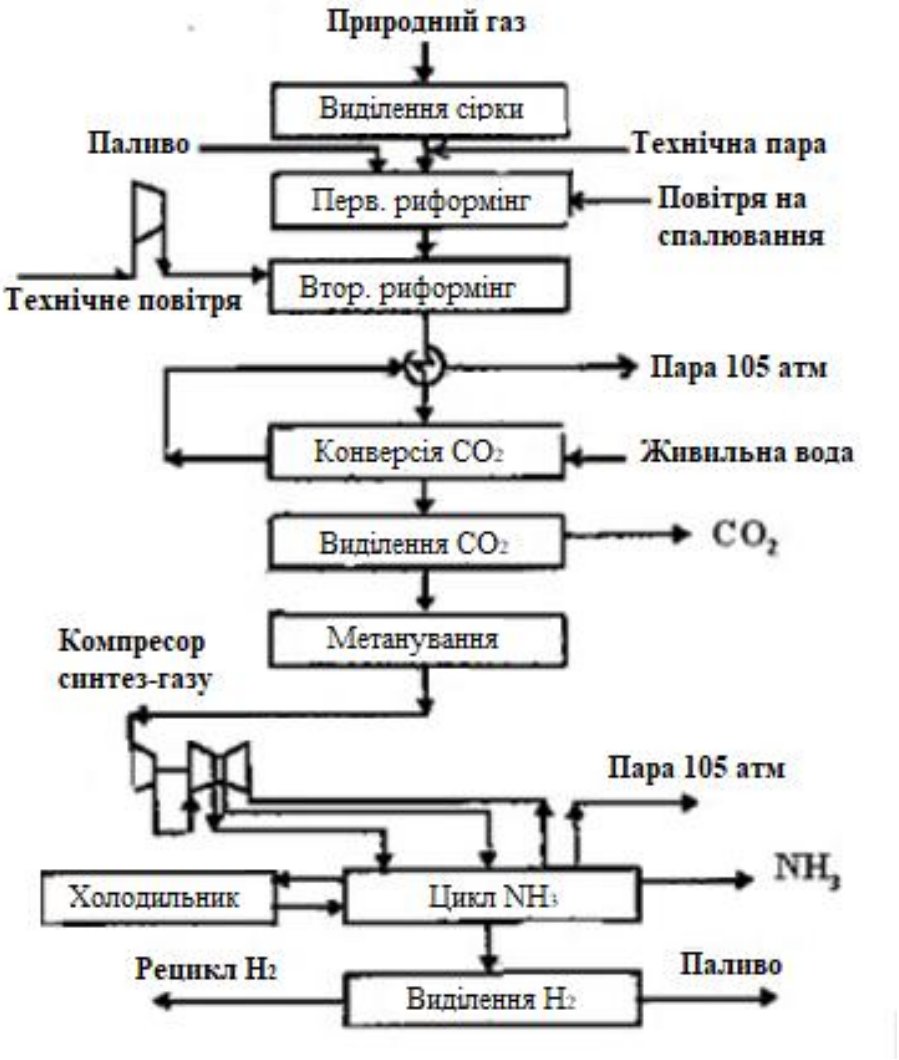

Рисунок 1.1 - Узагальнена схема виробництва аміаку

На першому етапі з природного газу видаляють сірку. Далі природний газ надходить в реактор риформінгу (процес конверсії метану здійснюється в дві стадії: I - парокаталітичний риформінг в трубчастій печі; II - пароповітряний каталітичний риформінг в шахтному конверторі). Наступна стадія - конверсія оксиду вуглецю за двоступеневою схемою: перша стадія - на залізохромовому середньотемпературному каталізаторі, друга стадія - на низькотемпературному каталізаторі. Далі газ направляється на очищення моноетаноламіну від вуглекислого газу. Потім газ ретельно очищається для

видалення оксидів і вуглекислого газу (метанування). Контроль температури всіх шарів каталізатора (в метанаторі) забезпечується світловими і звуковими сигналами при їх максимальному значенні.

Отриману азотно-водневу суміш стискають у першому триступінчастому газовому компресорі, а потім направляють у передкаталітичну установку, де кисень з'єднується з воднем з утворенням водяної пари, яка конденсується і йде на подальшу обробку, а очищена азотно-воднева суміш на наступних стадіях стискається до робочого тиску в компресорі і надходить на установку синтезу аміаку. Щоб усунути різницю між кількістю водню, що надходить збоку, і споживанням газового компресора, існує резервуар для зберігання водню, з'єднаний тупиком з колектором водню, що надходить на стиснення, який служить буферною ємністю для проміжного зберігання водню.

В установці синтезу азотно-воднева суміш (так званий свіжий газ) надходить в циркуляційний газовий цикл і направляється в колону синтезу аміаку, де частина газу перетворюється в аміак у присутності залізного каталізатора.

Гази, що виходять з вежі, охолоджуються в холодильнику-конденсаторі та випарнику. Конденсований аміак відокремлюється від газу в сепараторі та конденсаційній вежі та виводиться з циркуляції. Решта газу стискається циркуляційним насосом і знову надходить у циркуляцію. Отриманий рідкий аміак перенаправляється в збірник рідкого аміаку, а потім на склад, де зберігається під тиском у спеціальних резервуарах.

При зупинці виробництва аміаку припиняється рекуперація холоду і припиняється доставка теплого аміаку на склади споживачам.

На рисунку 1.2, представлено схему розділення повітря з дроселюванням і попереднім аміачним охолодженням, де 1 – фільтр, 2 – компресор, 3 – декарбонізатор, 4 – теплообмінники, 5 – аміачний холодильник, 6 – компресор аміачної холодильної машини, 7 – конденсатор, 8 – протитечійний обмінник, 9 – ректитфікаційна колона, 10 – випарник.

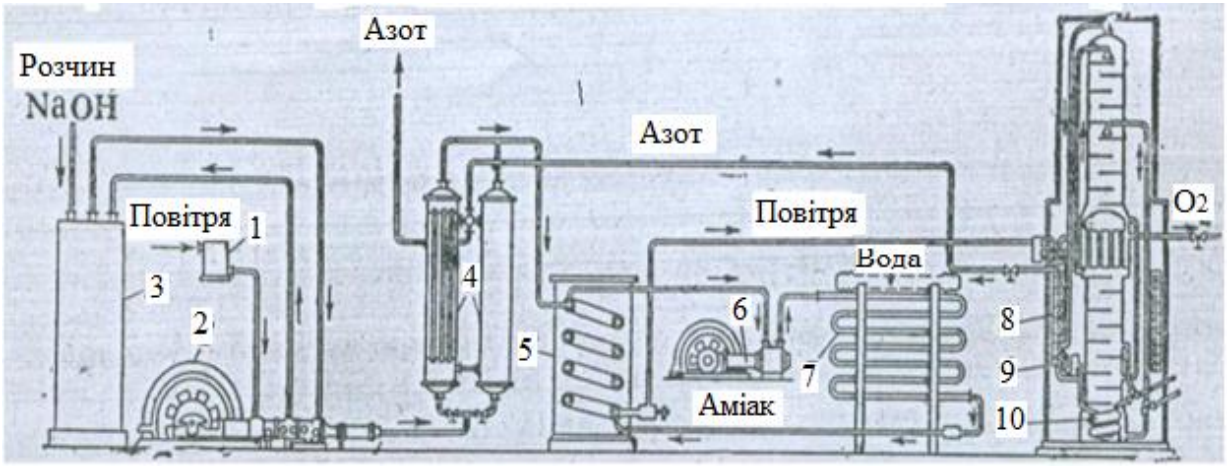

Рисунок 1.2 - Схема розділення повітря

Далі опишемо детальніше процес виробництва аміаку, що складається з 5 стадій та складемо технологічну схему (рисунок 1.3).

Технологічна схема процесу синтезу аміаку зображена на рисунку 1.3.

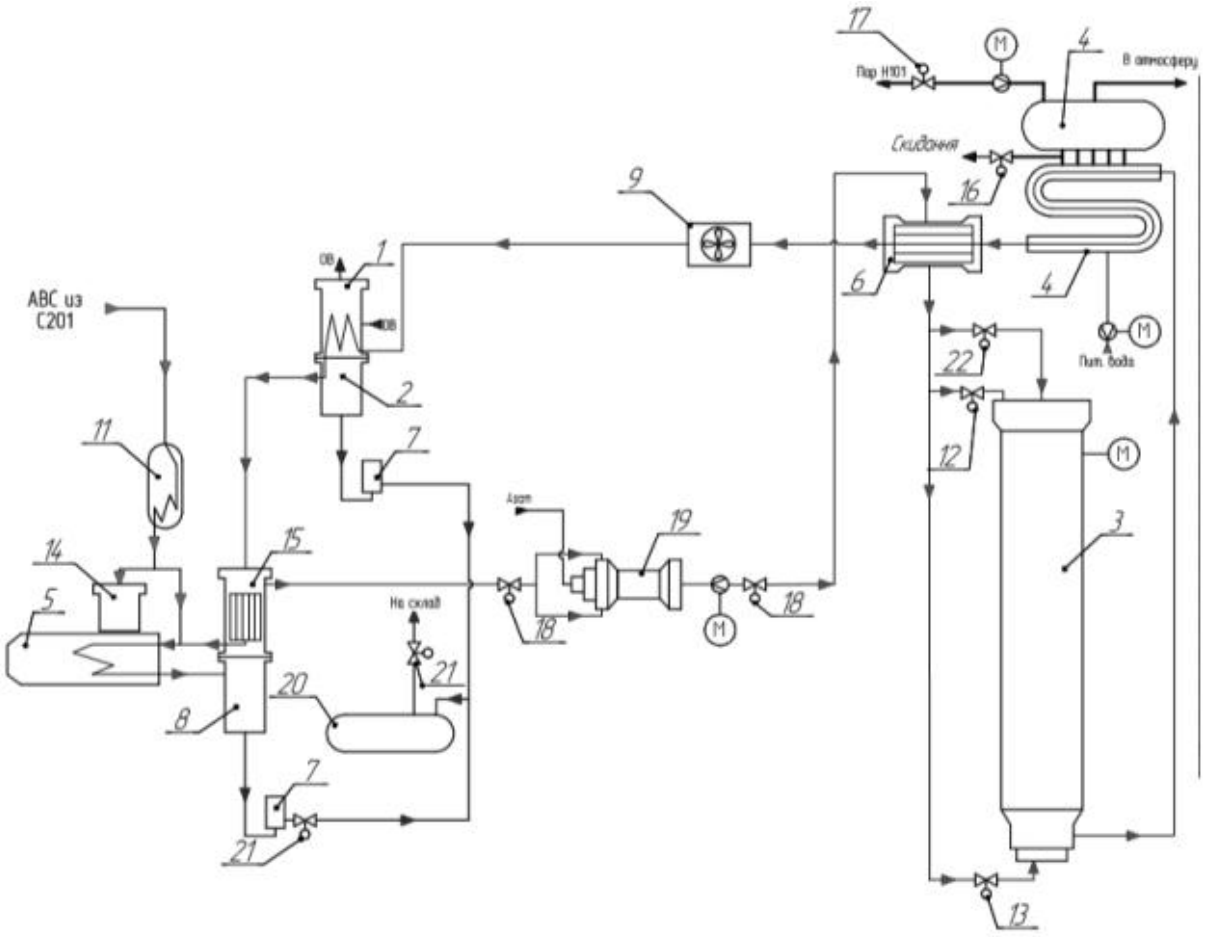

Рисунок 1.3 – Технологічна схема процесу синтезу аміаку

1. Очищення, конденсація та відділення залишків нафти та води в азотно-водневій суміші.

Стиснута азотно-воднева суміш надходить в апарат синтезу аміаку через димохід перед випарником аміаку (11) під тиском 32 МПа (320,0 кгс/см2). Для додаткового очищення масла і води в азотно-водневій суміші, тобто для підвищення якості аміаку, суміш пропускають через аміачний випарник (11), в якому газ охолоджується до -5 - +10 °С, і роздільник. (14), де згущене масло відокремлюється від води.

Потім очищена вхідна азотно-воднева суміш змішується з циркулюючим газом у випарнику (5). Тут суміш свіжого і оборотного газу охолоджується до температури -5-+10°С, а аміак, що міститься в оборотному газі, частково конденсується. Газовий конденсат відокремлюється в сепараторі первинного конденсатора (8).

2. Підготовка циркуляційного газу в колоні синтезу.

Оборотний газ з об'ємною часткою аміаку не більше 5% проходить через «холодний» теплообмінник (15) і нагрівається до температури не вище 20°С. Нагрітий газ надходить у всмоктуючий отвір циркуляційного відцентрового компресора (19), і циркулюючий газ стискається до тиску, що перевищує 35,0 МПа (350,0 кгс/см)2). Потім циркулюючий газ проходить через міжтрубні простори теплообмінника (6).

3. Реакція синтезу в колоні синтезу аміаку

Нагрітий газ надходить у колону синтезу (3), і при тиску не вище 35,0 МПа (350,0 кгс/см2) і температурі 360–550°С на залізному каталізаторі відбувається реакція синтезу аміаку: $3H_2 + N_2 \rightarrow 2NH_3 + Q$.

Газ надходить у колону синтезу (3) трьома потоками: основний потік, верхній байпас охолодження та нижній байпас охолодження. Циркулюючий газ радіально надходить у стійку каталізатора баштового сопла синтезу аміаку. Основний повітряний потік вводиться у верхню башту, проходить через кільцевий зазор між корпусом башти і корпусом сопла, потрапляє в міжтрубний простір нижнього теплообмінника і нагрівається газом за другою

полицею. . На виході з теплообмінника нагрітий газ змішується з холодним потоком, який забезпечує нижній холодний байпас. Змішаний газ надходить у трубчасту частину верхнього теплообмінника, де нагрівається за рахунок тепла реакції першого шару каталізатора. [1].

Після проходження через теплообмінник газ надходить в центральну магістральну трубу, в якій розміщений електростартерний нагрівач (потужністю 500 кВт) для підігріву каталізатора під час відновлення каталізатора та пуску установки. На виході з центральної труби газ змішується з холодним потоком, який подається через верхній холодний байпас. Потім газ потрапляє в перший шар каталізатора, а потім в міжтрубний простір верхнього теплообмінника. Пройшовши через теплообмінник, циркулюючий газ надходить у другий шар каталізатора. Після проходження через другий шар каталізатора циркулюючий газ з об'ємом аміаку не більше 21,39% надходить у трубний простір нижнього теплообмінника, де охолоджується до температури не вище 400°С і виходить із колони синтезу.

Для регулювання температури колони синтезу на вході газу та холодному байпасі башти встановлені дистанційні клапани. Температура верхнього шару каталізатора підтримується блоком автоматичного керування (регулюючим клапаном подачі газу башти синтезу) шляхом зміни обсягу подачі газу верхнього байпасу охолодження.

Температура газу на вході в другий шар каталізатора регулюється подачею газу через нижній холодний байпас. Температуру шару каталізатора можна регулювати за допомогою термопар, встановлених у вежі синтезу. Контроль температури зварювального циліндра здійснюється за допомогою контактних термопар. Температура корпусу повинна бути вище 220°С.

4. Охолодження циркулюючого газу

Після проходження колони синтезу реакційний газ з температурою не вище 400°С надходить у вхідний магістральний патрубок котлоутилізаційної установки (4), а потім у котельну секцію з утворенням пари під тиском

3,8 МПа.

Котельна вода подається насосом і має температуру не вище 70°С.

Газ виходить з теплообмінника (6) з температурою не вище 90°С і надходить у повітря холодильника. Температура газу знижується до 40°С.

5. Збір і доставка рідкого аміаку споживачам.

Рідкий аміак відокремлюється від циркулюючого газу в сепараторах первинного і вторинного конденсаторів (8 і 2). Рідкий аміак виходить із сепаратора, проходить через магнітний фільтр (7), який видаляє каталітичний пил, і через регулятор рівня рідини в сепараторі рідини розподіляється в рідинний збірник під тиском 1,8 МПа.

1.2 Промислові установки синтезу аміаку

Залежно від застосованого тиску азотоводневої суміші, системи синтезу аміаку поділяються на групи, що працюють при:

- низьких тисках (100-200 ат);
- середніх тисках (280-350 ат);
- високих тисках (450-1000 ат).

Агрегати, що працюють при тиску 100 МПа, рідко використовуються в промисловості через їх складність і неекономічність. Аміак, отриманий в установці, знаходиться в газоподібному стані. При тиску 200 ат (20 МПа) у всьому світі працює лише близько десятка заводів. У цих системах азотно-воднева суміш стискається турбінним компресором.

Системи середньої напруги широко використовуються в усьому світі. Заводи виробляють 50% газоподібного аміаку і 50% рідкого аміаку.

Схема, що працює при високому тиску, більш проста, конденсаційна одноступенева. Теплообмінник конденсаційної башти, випарник аміаку та холодильна установка для аміаку не входять до складу установки. Знижується споживання електроенергії та зменшуються розміри обладнання.

1.3 Аналіз технологічного обладнання установки синтезу аміаку

Для безперервного й ефективного ведення процесу синтезу аміаку установка синтезу обладнана численними апаратами і машинами, які можна розділити на наступні групи: водяні й аміачні холодильники-конденсатори; теплообмінники і водопідігрівачі; фільтри, масловідділювачі і сепаратори; компресори й інжектори; збірники рідкого аміаку й аміачні випарники; устаткування автоматичного контролю і керування процесом і ін [4, 6-8].

Колона синтезу аміаку є основним технологічним апаратом відділення синтезу аміаку і призначена для здійснення реакції синтезу аміаку. Вертикальний циліндричний ковано-зварний апарат високого тиску. Колона має верхню кришку, яка знімається, для монтажу насадки. У кришці є отвори для ходу циркуляційного газу і пірометричних кишень. У нижній частині колони знаходиться днище з трійником для входу і виходу циркуляційного газу. Розташування колони у відділенні синтезу аміаку показано на рисунку 1.4.

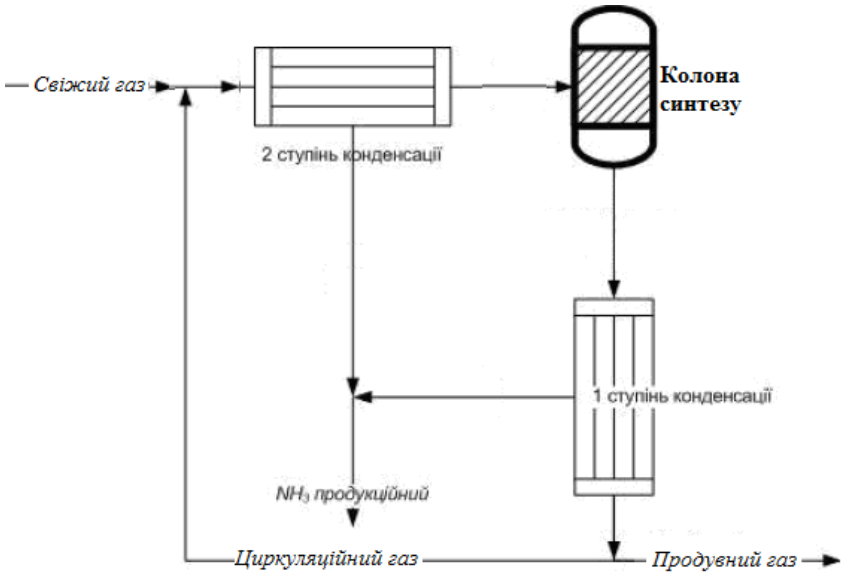

Рисунок 1.4 – Схема відділення синтезу аміаку.

Насадка колони синтезу призначена для нагрівання у колоні циркуляційного газу відхідним газом і проведення реакції синтезу на каталізаторі. Вертикальний циліндричний зварний апарат. Об‘єм каталізатора

– 15 м3.

Електропідігрівач колони синтезу призначений для забезпечення теплом при розігріванні і відновленні каталізатора. Трьохфазний.

"Холодний" теплообмінник циркуляційного газу призначений для охолодження циркуляційного газу, що надходить із первинного сепаратора у цикл вторинної конденсації. Вертикальний циліндричний апарат ковано-зварний з насадкою із прямоточних трубок. Теплообмінник поєднаний із сепаратором.

Випарник аміачний призначений для охолодження циркуляційного газу у трубках з метою конденсації аміаку. Охолодження проходить за рахунок випаровування рідкого аміаку у корпусі. Горизонтальний циліндричний зварний апарат з U-подібними трубками високого тиску.

“Гарячий” теплообмінник призначений для підігрівання циркуляційного газу, що надходить у колону синтезу аміаку. Горизонтальний циліндричний ковано-зварний апарат з насадкою із прямоточних трубок.

Холодильник водяний призначений для охолодження циркуляційного газу водою. Вертикальний циліндричний апарат з U-подібними трубками.

Випарник рідкого аміаку призначений для виділення вологи із АВС за рахунок випаровування рідкого аміаку. Вертикальний циліндричний апарат зі змійовиком.

Повітряний холодильник призначений для охолодження АВС повітрям за допомогою вентиляторів. Горизонтальний апарат з 3-ма секціями.

Електродвигун асинхронний короткозамкнутий, вибухозхищений.

Сепаратор вторинної конденсації призначений для відокремлення рідкого аміаку із циркуляційного газу після вторинної конденсації. Вертикальний циліндричний апарат, поєднаний з холодним теплообмінником Е-201. у верхній частині сепаратора міститься сепаруючий пристрій.

Сепаратор первинної конденсації призначений для відокремлення рідкого аміаку з циркуляційного газу. Вертикальний циліндричний апарат.

Циркуляційний насос повертає не прореаговану суміш в контактний

апарат, що дозволяє збільшити використання суміші до 95%.

Аміако-провід призначений для транспортування рідкого аміаку на склад.

Збірник рідкого аміаку призначений для прийому з агрегату синтезу і видачі на склад рідкого аміаку. Горизонтальний циліндричний апарат з показником рівня.

Збірник аміачних продувок призначений для збирання аміачних відходів.

1.4 Основні принципи автоматизації процесу виробництва аміаку

АСК на різних стадіях процесу синтезу аміаку необхідні для підтримки оптимального режиму роботи [6, 8]. Установка автоматично регулює:

- діапазон температур у колоні синтезу аміаку;
- рівень рідкого аміаку в сепараторах, конденсаційних колонах і колекторах;
- температура газу в конденсаторі аміаку;
- тиск всередині збірника рідкого аміаку.

Управління агрегатом централізовано на одному пункті управління.

При аналізі перебігу процесу синтезу аміаку причини економічних витрат є наступними:

- недостатня точність контролю параметрів;
- незапланований простій обладнання;
- невиробничі витрати електроенергії;
- перевитрати сировини;
- брак та втрати готової продукції.

Низька точність регулювання технологічних параметрів у процесі синтезу аміаку призводить до наступних результатів:

- нестабільні технічні параметри, як наслідок: перевитрати сировини та електроенергії, браку готової продукції, виникнення аварійних ситуацій,

незапланованих простоїв окремого обладнання та цілих установок.

- каталізатор колони синтезу аміаку частково або повністю втрачає активність;

- порушення встановлених правил башти синтезу аміаку (непланове завантаження та розвантаження).

Небажані наслідки можуть виникнути, якщо обладнання, що використовується, є етично застарілим і не забезпечує точність, необхідну для контролю технічного процесу. Тому в даній роботі пропонуються такі рішення для автоматизації цього процесу [5, 9-15]:

- автоматизувати процеси на базі контролера Mitsubishi FX2N-16NR-ES/UL WinPAC 8831 з використанням системи Trace Mode;

- оптимізувати температурну систему башти синтезу аміаку;

- зберігати показники значень основних технічних параметрів.

Впровадження автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУТП) з використанням сучасної мікропроцесорної техніки дозволить:

- підвищити точністть управління параметрами процесу;

- покращити якість продукції;

- підвищити продуктивність башти синтезу аміаку;

- зменшити втрати сировини і готового продукту (аміаку);

- продовжити термін служби каталізатора;

- зменшити кількість шкідливих речовин, що викидаються в атмосферу;

- знизити споживання енергії;

- знизити час вимушених простоїв цехового обладнання;

- збільшити термін експлуатації обладнання;

- поліпшити умови праці обслуговуючого персоналу;

- підвищити продуктивність праці.

Рекомендується, сервер, який використовується для створення архівів даних про хід процесу, розміщувати у вибухозахищеній зоні, щоб, у разі необхідності, можна було проаналізувати дані процесу за певний період часу.

2. РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ

2.1. Визначення параметрів регулювання

Проаналізувавши технологічний процес синтезу аміаку та відповідну технологічну схему, визначимо параметри регулювання даного процесу:

- осьове зміщення ротора двигуна;
- тиск газоподібного аміаку у випарниках;
- тиск на вході компресора;
- тиск пари в котлі-утилізаторі;
- температура газу після випарника аміаку;
- температура газу після сепаратора;
- температура газу на виході холодного теплообмінника;
- температура газу в колоні синтезу;
- температура газу після колони синтезу;
- температура стінки корпусу колони;
- температура після гарячого теплообмінника;
- рівень у збірнику рідкого аміаку;
- рівень у роздільниках;
- рівень котлової води;
- об’ємна частка аміаку в газі після колони синтезу.

2.2 Проєктування функціональної схеми автоматизації синтезу аміаку

Проаналізувавши процес синтезу аміаку, встановлено, що великі збитки виникають через неекономне використання сировини. Багатьох недоліків можна уникнути, розробивши сучасні рішення функціональної схеми автоматизації (ФСА), забезпечуючи таким чином точне керування параметрами процесу.

Після опису технічного рішення для автоматизації, його розробки та

визначення контрольованих параметрів можна розробити рішення для ФСА (рисунок 2.1).

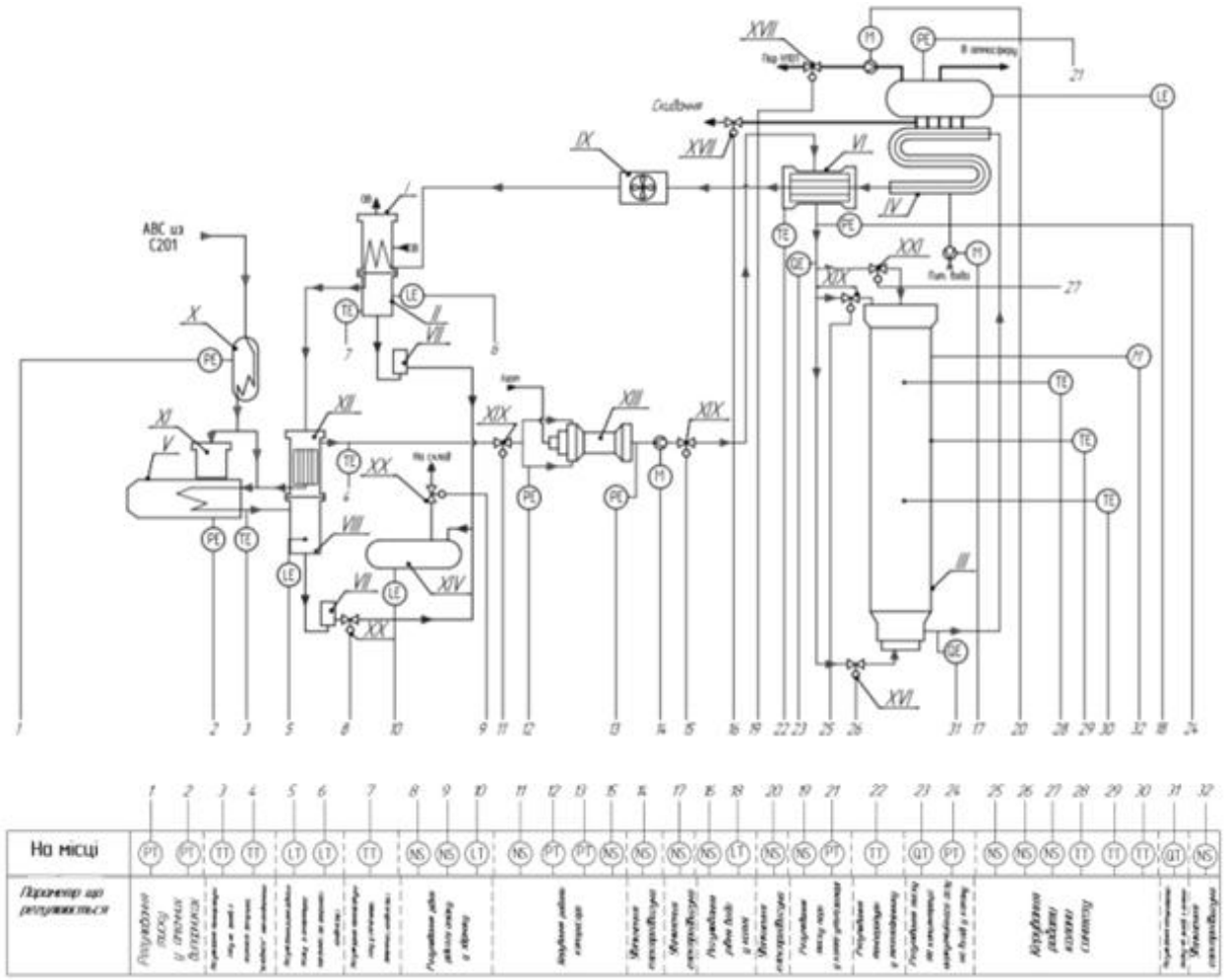

Рисунок 2.1 - Функціональна схема автоматизації

Автоматичний захист.

Його призначення – контролювати основні технологічні параметри і відключати оборотний газ, рідкий аміак, воду і пару в разі аварійної ситуації (тобто відхилення заданого значення від номінального).

Є 9 запірних кранів для перекривання і зміни потоку тієї чи іншої вимірюваної величини. Клапан має електропривод із поворотною пружиною. Одне з таких перебоїв виникає, коли регулюючі параметри перевищують допустимі межі або коли джерело живлення не може уникнути аварійної ситуації. Звучить сигнал, який попереджає вас про активацію автоматичного захисту.

Контроль технічних параметрів.

Для забезпечення стабільності процесу при виявленні відхилень необхідно застосовувати наступні технічні засоби автоматизації (ТЗА) (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 - Технічні засоби автоматизації

№	Позиція	Найменування
1	PE 1-1;2-1	Датчик тиску у випарниках аміаку
2	PE 12-1;13-1	Датчик тиску на вході/виході компресора
3	PE 21-1	Датчик тиску пари в котлі
4	PE 24-1	Датчик тиску циркуляційного газу на вході в колону синтезу
4	TE 3-1;4-1	Датчик температури газу на виході з випарника аміаку; "Холодний" теплообмінник.
5	TE 7-1	Датчик температури газу у вторинному відсікачі конденсату
6	TE 22-1	Датчик температури газу в гарячому теплообміннику.
7	TE 28-1;30-1	Датчики температури колонки синтезу аміаку (шари каталізатора)
8	TE 29-1	Датчик температури стінок колони синтезу
9	LE 5-1;6-1	Датчик рівня рідкого аміаку в первинному та вторинному сепараторах
10	LE 10-1	Датчик тиску у випарниках аміаку
11	LE 28-1	Датчик тиску на вході/виході компресора
12	QE 23-1	Датчик тиску пари в котлі
13	QE 31-1	Датчик тиску циркуляційного газу на вході в колону синтезу

Для системи також потрібні 4 електродвигуни, тобто 2 для компресора (для стиснення циркулюючого газу до належного тиску, для перекачування пари та подальшого використання в процесі риформінгу), один електричний

насос (для подачі води) та один нагрівач Taipower (нагрівальний каталізатор) під час синтезу.

Магнітний пускач призначений для регулювання роботи двигуна, а частотний перетворювач використовується для регулювання швидкості двигуна.

Всі параметри налаштовуються за допомогою контролера Melsec FX2N, який в залежності від кількості модулів вводу/виводу може регулювати відразу велику кількість різних параметрів. Контролер приймає як дискретні, так і аналогові сигнали. Вихідний сигнал є дискретним сигналом. Виконує різноманітні функції, які приносять користь роботі оператора - від зміни мов до складних алгоритмів керування.

Для регулювання температурного режиму башти синтезу на головному вході газу та холодному байпасі башти встановлені клапани з функціями дистанційного та автоматичного керування.

Температура верхнього шару каталізатора (і гарячої точки) підтримується зміною подачі газу у верхній холодний байпас. На початку активності гаряча точка розташована у верхній частині області каталізатора, а коли каталізатор деактивується, гаряча точка переміщується вниз. Щоб запобігти швидкій дезактивації каталізатора, температуру гарячої точки підтримували не вище 4900°C на початку процесу і до 5500°C в кінці.

Температуру шару каталізатора можна контролювати за допомогою термопари, встановленої в середині вежі синтезу.

Для контролю температури основного корпусу вежі синтезу використовується контактна термопара. Температура корпусу не повинна перевищувати 2200C. Щоб запобігти перегріву стінок огорожі, необхідно подавати достатню кількість газу по магістральних шляхах.

Завдяки зміні подачі газу через нижній холодний байпас температура на нижньому шарі ізоляції та на виході з вежі підтримується автоматичним блоком керування.

Якщо верхній і нижній холодні байпаси повністю відкриті, а

температура продовжує зростати, необхідно зменшити основний обсяг подачі повітря.

Якщо температура продовжує зростати, колону необхідно розвантажити. Розвантаження (і завантаження) колони синтезу здійснюється шляхом зміни об'ємної швидкості газу в башті шляхом обходу частини газу навколо колони синтезу та гарячого теплообмінника Е-203.

Дані з автоматичного контролю та регулювання технологічного процесу наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Дані з автоматичного контролю та регулювання технологічного процесу

Автоматизований параметр	Місце контролю	Прилад автоматизації	Позначення приладу
Температура	Випарювач рідкого аміаку	Термоперетворювач опору	ОВЕН ДТС 015М-50М.0,5.60.МГ.И[2]
Рівень	Випарювач рідкого аміаку	Поплавкові датчики	ОВЕН ПДУ-И.2250.10
Концентрація	Конденсаційна колона	Датчик газоаналітичний	OLCT-100
Температура	Колона синтезу	Термопара	ОВЕН ДТПК 015М-0110.60.1,0.И[10]
Температура після колони	Колона синтезу	Термоперетворювач опору	ОВЕН ДТС 015М-Pt100.0,25.60.МГ.И[5]
Тиск	Колона синтезу	Перетворювач тиску	ОВЕН ПД100-ДИ40,0-175-0,25
Температура	Водяний конденсатор	Термоперетворювач опору	ОВЕН ДТС 015М-50М.0,5.60.МГ.И[2]
Витрата	Водяний конденсатор	Витратомір	Н250 М40
Тиск	Інжектор	Перетворювач тиску	ОВЕН ПД100-ДИ40,0-175-0,25
Тиск	Інжектор	Перетворювач тиску	ОВЕН ПД100-ДИ40,0-175-0,25
Витрата	Відділювач газу	Витратомір	ЭМИС-МАГ 270
Витрата	Випарювач рідкого аміаку	Витратомір	Н250С М40

Тиск в системі синтезу аміаку може змінюватися з наступних причин:

- зміни у споживанні свіжого та оборотного газу;

- відхилення складу газу від оптимального співвідношення водню до азоту;

- зміна вмісту аміаку або інертних домішок в циркулюючому газі;

- дезактивація каталізатора;

- зміни температури в вежі синтезу.

При підвищенні тиску в системі його можна знизити:

- зменшивши подачу свіжого газу на установку синтезу аміаку;

- зменшивши вміст інертних газів в оборотному газі (збільшити витрату продувного газу);

- зменшивши вміст аміаку в циркулюючому газі за рахунок збільшення глибини конденсації в системі охолодження аміаку (збільшення рівня рідкого аміаку у випарнику) і в системі охолодження повітря (зниження температури повітря за допомогою впорскування води).

Як правило, бажані властивості досягаються при нижчому тиску перед колоною синтезу на початку реакції (з використанням свіжого каталізатора та чистого теплообмінного обладнання), ніж у кінці реакції. Для вітчизняних великомасштабних установок синтезу аміаку тиск циркулюючого газу перед баштою становить 23 МПа на початку роботи та може досягати 29 МПа в кінці роботи. Як правило, дезактивація каталізатора призводить до необхідності підвищення тиску на (0,5-1) МПа на рік на даній установці. Під час роботи пристрою також збільшується різниця опорів всієї системи, що викликано подрібненням каталізатора і засміченням теплообмінного обладнання. Перепад тиску не повинен перевищувати 1,9 МПа в колоні і 2,9 МПа в циклі синтезу. Тиск бакового газу в збірнику рідкого аміаку регулюють випуском бакового газу на спалювання, тиск у випарнику - випуском газоподібного аміаку до споживача або на зрідження. Віддалене розташування споживачів газоподібного аміаку (заводи аміачної селітри, азотної кислоти) зазвичай призводить до необхідності підтримки високого тиску в трубопроводі газоподібного аміаку після випарника, що значно знижує ефективність системи вторинної конденсації.

Газовий склад. Операції на стадіях підготовки та очищення газу визначають склад свіжого газу, що надходить на синтез. Концентрація аміаку в газі визначається ефективністю системи вторинної конденсації аміаку, а вміст інертних домішок регулюється витратою продувного газу. Газ, що виходить з колони, повинен містити не менше (15-16)% NH3, що визначається роботою всього циклу синтезу і залежить від:

- активності каталізатора;
- основних компонентів, які входять до складу газової фази: інертні домішки та токсичні речовини;
- тиску;
- температури;
- швидкості руху повітря та його гідродинаміки по шарах.

Вміст аміаку в продувному газі, що подається в установку риформінгу метану для спалювання, не повинен перевищувати 2,0%, а вміст аміаку в резервуарі для зберігання та суміші продувних газів не повинен перевищувати 2,4%.

2.3 Обґрунтування технічних засобів автоматизації

2.3.1. Вибір мікропроцесорного обладнання

Для керування процесом необхідно обрати ПЛК, який здатний керувати всіма схемами керування, тобто характеризується достатньою кількістю входів/виходів і аналогових, і цифрових. Необхідно врахувати й інші функції, зокрема інтерфейс, швидкодія, тощо.

Для поставлених завдань достатня кількість каналів:

- входи (19 аналогових, 0 дискретних);
- виходи (9 аналогових, 4 дискретних).

Врахувавши всі параметри, зупиняємося на ПЛК WinPAS 8831 (рисунок 2.2). Це багатофункціональний, достатньо продуктивний та компактний контролер [7, 19].

Оснащений операційною системою Windows SE 5.0, пристрій може запускати програмне забезпечення, сумісне з ПК. Крім того контролер забезпечує максимальну продуктивність у реальному часі, характеризується зменшеними параметрами ядра, достатньою швидкістю завантаження, низьким керуванням перериваннями і відповідною вартістю.

Рисунок 2.2 – ПЛК WinPAS 8831

Основні характеристики контролера:

Програмування у LD, ST, SFS, IL та FBD;

Процесор: Intel Strong PXA270 32-біт, 520 МГц;

SDRAM: 128 МБ;

Підтримувані інтерфейси: VGA, USB, Ethernet, RS-232/485;

Тип модуля введення/виводу: I-87000W;

Кількість прийнятих слотів: 8;

Потужність: 9,6 Вт;

Габаритні розміри, мм 354x132x98.

Крім того до контролера є можливість підключення через інтерфейси RS 232 та Ethernet відповідно сенсорного екрану та ПК для керування технологічними параметрами процесу.

Вбудовані модулі введення/виведення

Промисловий контролер має загалом 8 вбудованих слотів для модулів

розширення, два з яких будуть зайняті аналоговими модулями розширення (AI).

Тобто для використання ПЛК є ще 6 вільних слотів, але ще 3 модулі розширення будуть розміщені в іншій шафі. Тому для вирішення цієї проблеми було вирішено встановити додатковий кошик розширення, який є опорним шасі для встановлення «I/O» модулів, тобто 3 модулі для аналогових каналів (AO/AI) і (AO), і 1 дискретний модуль для двигуна (DO).

Отже, необхвдно 28 аналогових каналів введення/виведення. Обираємо 3 модулі вводу/виводу послідовної шини для 8 каналів і 1 модуль вводу/виводу послідовної шини для 4 каналів.

Після комплексного аналізу було обрано 4-канальні (AT) модулі I-87024CW, I-87028CW 8-канальний (AO, AI) і ще 2 модулі 8-канальні I-87017RW (AI). Також необхідно використовувати 4 цифрових виходи, тому застосуємо модуль I-87054W.

Ці модулі придатні як стандартні модулі введення/виведення для існуючих ПЛК.

2.3.2. Вибір давачів

Давачі температури

Перед тим, як обирати давачі температури, слід згадати, що їх є 2 види – це термопари (призначені для вимірювання високої температури) та термометри опору (на основі чутливого елемента, електричний опір якого залежить від температури). Оскільки при технологічному процесі синтезу аміаку температура досягає 550 ºС, то логічно все ж таки вибрати термопару [6-19].

Виберемо один із наведених нижче варіантів (таблиця 2.3).

Таблиця 2.3 – Порівняння характеристик давачів температури

Марка	ТХК - 2088	ДТПХхх5	LT-30
Рисунок			
Виробник	НПП Енерготехснаб	ОВЕН	EZODO
Клас точності	1	1	0.75
Діапазон вимірювальної Температури	-40…+600°С	- 40… +600 °С	0...800°С
Матеріал захисної арматури	12Х18Н10Т	сталь AISI 316	SUS 316
Термін придатності,років	6	6	5
Термін повірки,років	2	2	1
Ціна, грн	Від 250	Від 850	Від 950

Проаналізувавши представлені прилади, вибираємо термопару ТХК-2088. Вирішальними характеристиками стали: помірна вартість, відповідність діапазону вимірювальної температури та термін придатності.

Давачі тиску

У процесі синтезу аміаку найвищий показник тиску є на виході з компресора (35 МПа (350 кгс/см2)). Слід розглянути відповідні давачі тиску (таблиця 2.4).

Таблиця 2.4 – Порівняння характеристик давачів тиску

Марка	STG97L	MBS 3000	DMK 331
Рисунок			
Виробник	Honeywell	Danfuss	BD SENSORS
Вихідний сигнал: Цифровий Аналоговий	4-20 мА	4-20 мА	4-20 мА
Діапазон вимірювального тиску,МПа	0 ... 42	0 ... 25	0… 60
Похибка	+-0,075%	0,5; 1,0%	0,5 0,25%
Напруга живлення	24В	10 ... .30В	12… 36В
Час реагування	5 мс	4 мс	5 мс
Ціна, грн	6750	4 135	7225

Співставивши якість, ціну та технічні характеристики, зупинимось на давачах фірми Honeywell.

Дані датчики STG97L найкраще відповідають основному критерію – високій надійності. Крім того їм характерні та достатні діапазон вимірювання та технічні показники, а також можливість використання у агресивних середовищах.

Давачі рівня

При вирішенні даного завдання необхідно звернути увагу на вимірювання рівня рідкого аміаку в сепараторі та збірнику. Тому слід обрати такий, що відповідає рідині, навколишньому середовищу та даному

технологічному пристрою.

Таблиця 2.5 - Порівняння характеристик давачів рівня

Марка	Pointek CLS 100	Eclipse 705	ПДУ-3.3
Рисунок			
Виробник	Siemens	Magnetrol	ОВЕН
Вихідний сигнал: Цифровий Аналоговий	4-20 мА	4-20 мА	0… 5 мА; 4… 20 мА
Діапазон вимірювання рівня	0...5 м	0… 23м	0...10 м
Напруга живлення	10 ... 33В	24В	30В
Час реагування	5 мс	4 мс	6 мс
Ціна, грн	3400	4100	1 316

Вибираємо давач. рівня фірми Magnetrol Eclipse 705, він. повністю відповідає нашим. характеристикам, є досить надійним, добре справляється. з резервуарами. де рідини швидко заповнюються або випорожнюються.

Давачі концентрації

При вирішенні поставлених завдань потрібно враховувати, що давач повинен контролювати небезпечний газ – аміак. Тому давач концентрації повинен характеризуватися відповідними показниками, порівняно з давачами, що контролюють рідини.

Зупинимо свій вибір на стаціонарному газоаналізаторі OLST 100 XP

НТ (рисунок 2.3.). Це пристрій високотемпературний, вибухозахищений, призначений для контролю вибухонебезпечних газів (у тому числі аміаку) при температурі не вище 370ºС.

Рисунок 2.3 - Газоаналізатор OLST 100 XP HT

Матеріал корпусу: алюмінієвий корпус з епоксидним покриттям;

Габаритні розміри, мм: 150×138×84;

Ступінь захисту: IP64;

Вихідний сигнал, мА: 4-20;

2.3.3. Вибір виконавчих пристроїв

Пристрій регулювання (ПР).

У даному випадку середовищем регулювання є рідкий аміак, тобто циркулюючий газ. Тобто існує потреба у постійному регулюванні тиску, тому ми обираємо регулятор тиску REFLUX 819 Pietro Fiorentini (рисунок 2.4) в якості ПР.

Характеристики ПР:

- продуктивність: 575 – 35735 м^3/год;
- температура керуючого середовища: -46°C + 60°C;
- клас точності: 1%;
- умовний тиск: 0,5 ÷ 400 бар.

Рисунок 2.4 - REFLUX 819 Pietro Fiorentini

Регулятор тиску в поєднанні з клапаном регулювання тиску — гідравлічний пристрій керування, призначений для ручного або автоматичного керування виробничим процесом, призначений для постійного регулювання, підтримки на певному рівні або обмеження тиску робочого середовища в гідросистемах і трубопроводах. і як система відключення. За рахунок автоматичної або ручної зміни відкриття регулювального органу регулятора можна виконати поставлене завдання.

Електропривід

Драйвер Sauter AVF234 (рисунок 2.5) призначений для контролерів з аналоговими виходами (0...10 В 4...20 мА). Привід оснащений зворотною пружиною, яка повертає шток клапана у вихідне положення в разі відключення електроенергії або спрацьовування обмежувача. Шток клапана автоматично підключається після подачі керуючої напруги. Також є автоматичне розпізнавання керуючих сигналів (безперервних або перемикаючих), що відображаються двома світлодіодами.

Технічні характеристики Sauter AVF234:

- робоча напруга: AC 24 В/DC 24 В;

- потужність: 7,5 Вт;

- час роботи поворотної пружини: 15-30 сек;

- номінальний хід: 14 мм;

- ступінь захисту: IP66;

- температура навколишнього середовища: -10...55°C;

- сигнал позиціонування: 0-10 В/4-20 мА.

Рисунок 2.5 - Електричний привід Sauter AVF234

Перетворювач частоти.

Частотні перетворювачі є дуже важливим компонентом, оскільки вони дають змогу плавно регулювати швидкість асинхронних двигунів, генеруючи вихідну напругу певної частоти. Необхідно зменшити пусковий струм в 4-5 разів, щоб забезпечити плавний пуск асинхронного двигуна, і керувати агрегатом за співвідношенням напруги і частоти.

Технічні характеристики:

- потужність: 45000 Вт;

- максимальний струм навантаження: 91 А;

- частота, що несе: 2-10 кГц;

- автоматичне регулювання параметрів двигуна;

- високий момент, що крутить, на початковій швидкості;

- цифровий процесор: 32-бітний DSP;

- вбудований ПІД-регулятор.

Рисунок 2.6 - Перетворювач частоти LS Starvert iV5 SV450

Частотний перетворювач LS Starvert iV5 SV450 (рисунок 2.6) підходить для трифазних асинхронних двигунів потужністю від 0,75 до 800 кВт і напругою живлення 220-380 Вт. Starvert iV5 SV450 підходить майже для будь-якої галузі. Рекомендується для механізмів, що вимагають високої керованості, перевантажувальної здатності та точності підтримки обертання двигуна. Повний векторний контроль із керуванням потоком і керуванням кількома двигунами.

3. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ В БАШТІ СИНТЕЗУ

3.1 Аналіз об'єкта управління

Башта синтезу є найбільш складним і необхідним пристроєм в установці синтезу аміаку. Для забезпечення безперебійної роботи технічного обладнання необхідно підтримувати технічні параметри в межах, визначених технічним регламентом. В якості основних контрольно-регулюючих параметрів визначаються тиск, температура шару каталізатора, частка азоту і водню в газовій суміші і концентрація аміаку на виході з башти.

Башта синтезу (рисунок 3.1) складається з первинного теплообмінника, камери каталізатора, що містить каталізатор синтезу аміаку, і теплообмінного пристрою. Синтез аміаку відбувається в камері каталізатора. Реакційна суміш, що надходить у колону синтезу при температурі T_0, розділяється на 2 потоки. Основна частина газу направляється в первинний теплообмінник, де нагрівається до температури T_1. Менша частина (байпас) обходить теплообмінник і змішується з нагрітим газом. Температура після змішування є температурою $t_{вх}$ на вході в реактор. Прореагована суміш надходить в теплообмінник з реактора при температурі $t_{вих}$, віддає своє тепло суміші, що надходить і після охолодження до температури $T_{кін}$ виходить з теплообмінника (і колони).

Теплообмінник дає змогу вести процес у потрібному температурному інтервалі без затрат тепла.

Надалі камеру каталізатора називатимемо реактором. Технічні розрахунки реактора включають визначення температури і складу реакційної суміші та гідравлічного опору реактора. Є можливість обирати оптимальні значення для режиму роботи реактора.

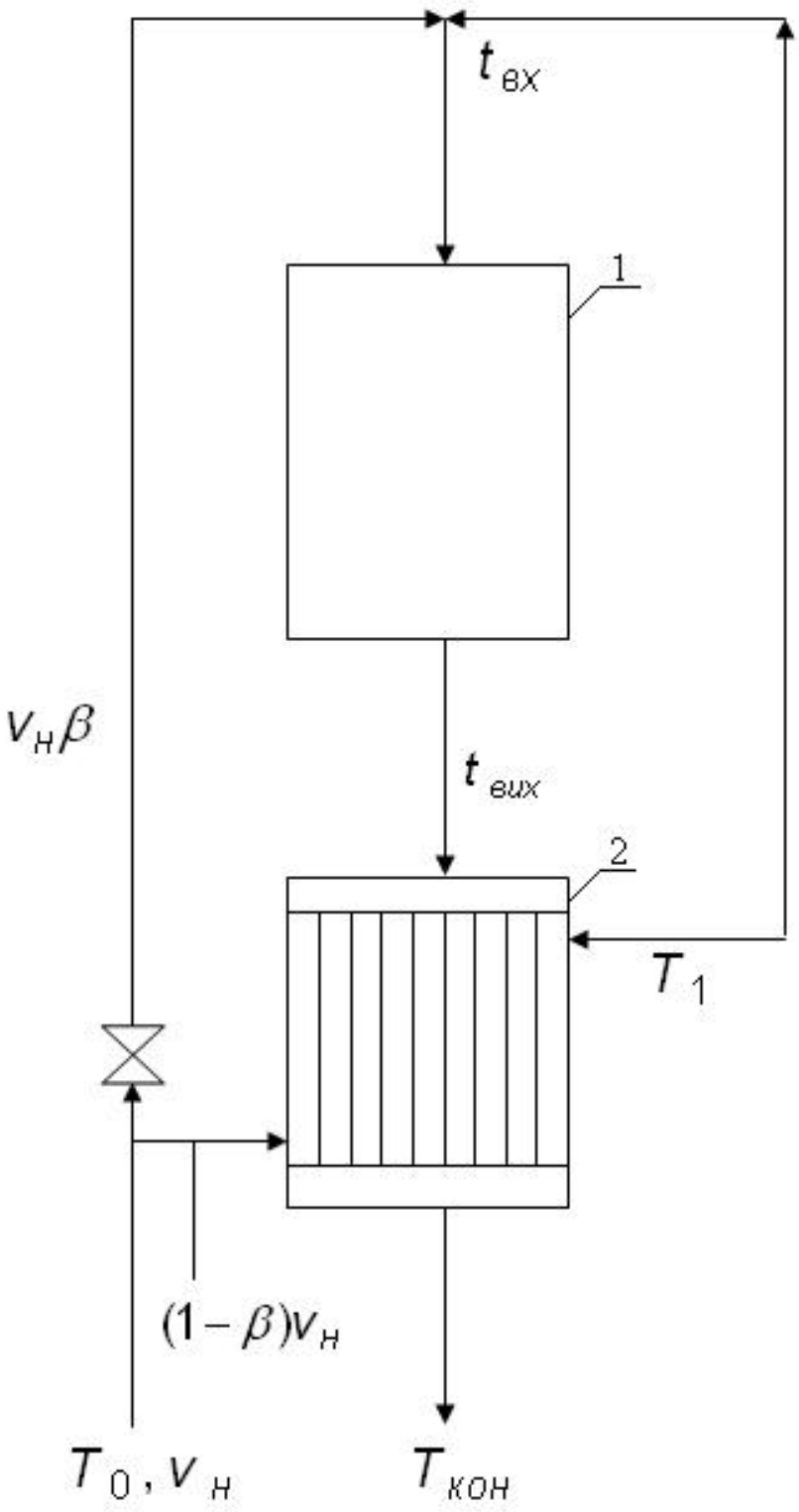

Рисунок 3.1 - Схема колони синтезу аміаку:

1 - реактор; 2 – попередній теплообмінник; T_0, $T_{кон}$ - температура на вході у колону і на виході з колони відповідно; T_1 - температура суміші на виході з теплообмінника; $t_{вх}$, $t_{вих}$ - температура на вході у реактор і на виході з нього відповідно; β - частка байпасного газу.

Метод розрахунку базується на математичному описі процесу, який отримано з урахуванням балансу речовини та тепла в об’ємі реакторної установки [20, 21].

Хімічні реакції в шарах каталізатора протікають тривалий час. Тому об'єкт управління можна віднести до класу об'єктів з транспортним запізненням. Крім того, на температури в шарах каталізатора впливають різні впливи. Найбільш значним впливом володіє концентрація аміаку на вході в реактор. Таким чином, процес синтезу аміаку є багатозв'язним об'єктом управління при наявності збурень [9-13].

На рисунках 3.2, 3.3 показані: схема колони синтезу аміаку як об'єкта управління (рисунок 3.2) і структурна схема взаємозв'язків його параметрів (рисунок 3.2) [21].

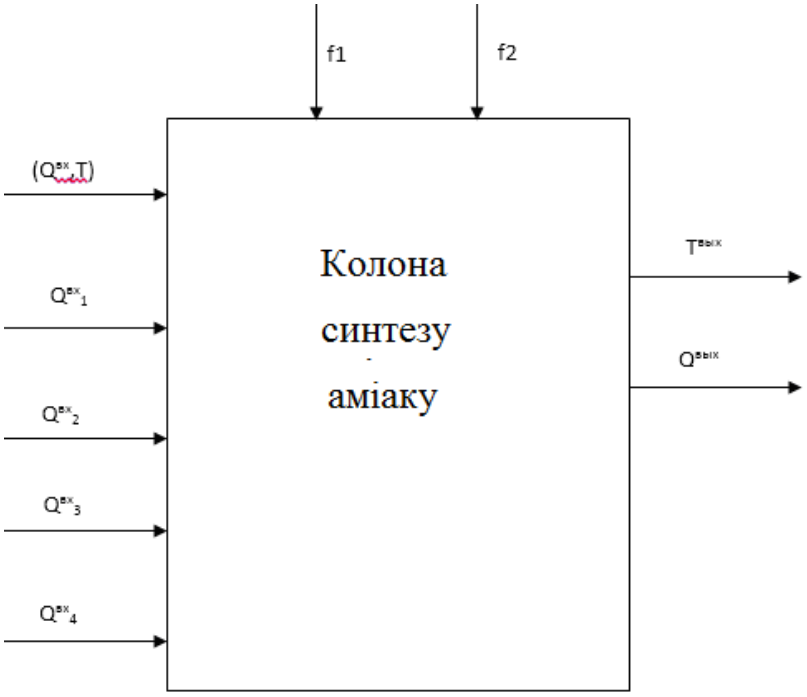

Рисунок 3.2 - Схема об'єкта управління

На рисунку 3.2 прийняті наступні позначення:

($Q_{вх}$, T) - витрата, концентрація аміаку і температура вхідної азотоводородной суміші відповідно;

$Q_{вх}$1-4 - витрата холодного байпасного газу;

f1 - концентрація аміаку у вхідній суміші;

f2 - співвідношення водень/азот;

$Q_{вих}$ - концентрація аміаку у вихідному газі;

$T_{вих}$ - температура газу, що виходить.

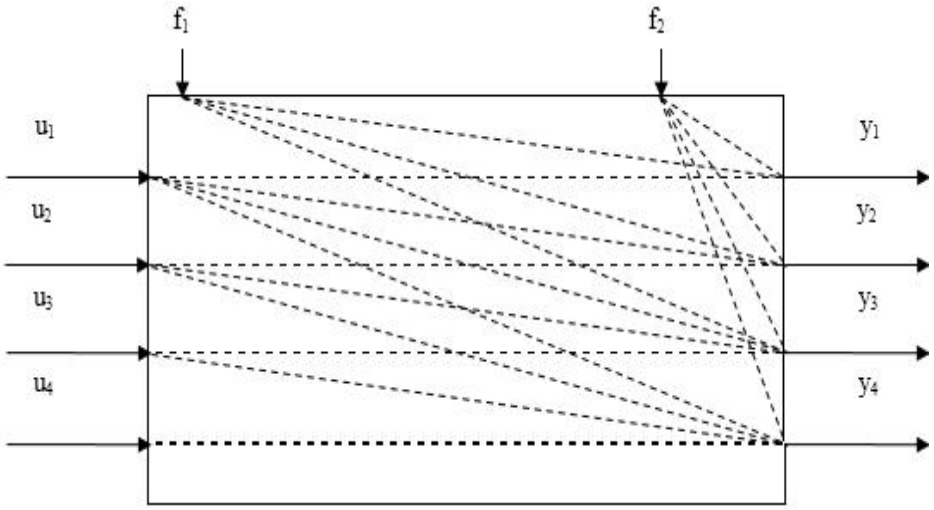

Рисунок 3.3 - Схема взаємозв'язків параметрів об'єкта

На рисунку 3.3 прийняті позначення:

u_1 - u_4 - (керуючі параметри) ступені відкриття заслінок на байпасних потоках;

y_1 - y_4 - (керовані параметри) температура в шарах каталізатора;

f_1, f_2 – (впливи) відповідно концентрація аміаку і співвідношення водень-азот.

Метою процесу синтезу аміаку є отримання газоподібного аміаку із заданою концентрацією на виході з реактора. У промислових умовах, беручи до уваги досить велику інерційність зміни концентрації та значні труднощі при її вимірюванні, процес проводять шляхом стабілізації температури в регламентних межах з урахуванням зміни ступеня відкриття заслінок на байпасних потоках.

Управління процесом призначене для стабілізації температурного режиму колони синтезу в процесі виробництва аміаку шляхом зміни положення клапанів на "холодних байпасах" в залежності від відхилення поточних температур по кожній полиці від заданих.

Оскільки одним з найважливіших параметрів, що підлягають обов'язковому автоматичному регулюванню на даній стадії виробництва є температура в гарячій точці колони синтезу аміаку, автоматизоване регулювання процесу синтезу аміаку повинне забезпечити підтримку в заданих межах температури в гарячій точці колони. По технологічних нормах для забезпечення оптимальності всього процесу температура в гарячій точці колони повинна знаходитися в межах від 490 до 550 ^{0}C. Основною причиною зміни температури в гарячій точці є зміна витрати газу на вході в колону. Підтримка постійної температури здійснюється шляхом зміни витрати газу, що подається в колону, впливом на регулювальний клапан.

Скористаємось даними зміни температури в гарячій точці колони при запуску агрегату [20-24] для визначення динамічних властивостей об’єкту, при зміні витрати газу на вході в колону на величину 30 м^3 /год. (рисунок 3.4).

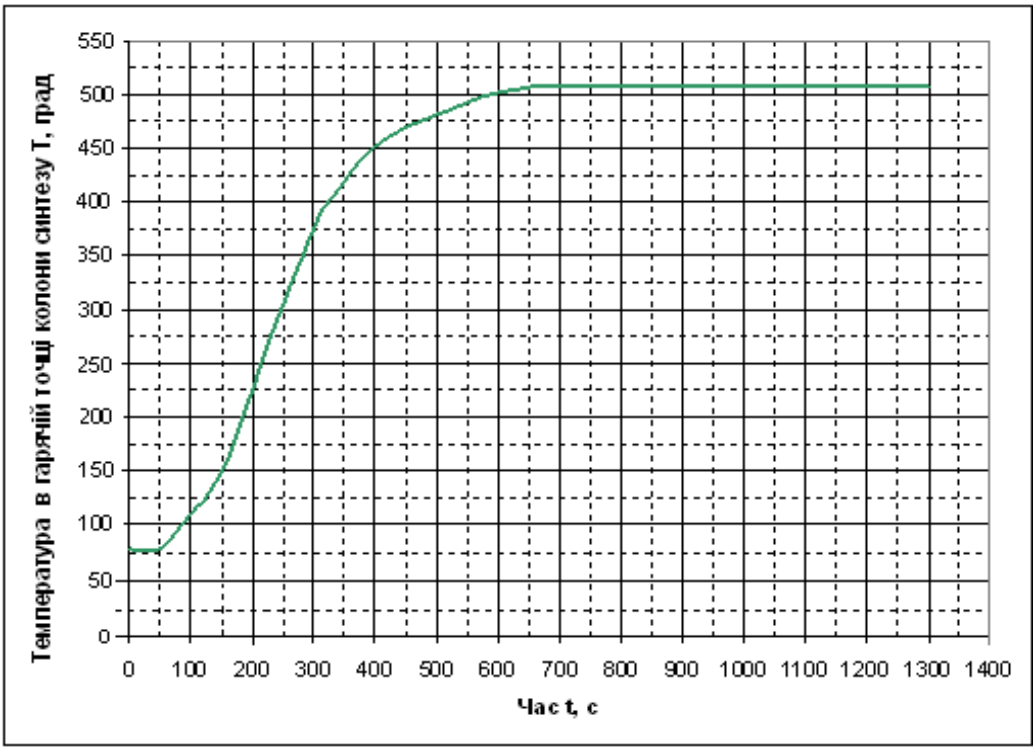

Рисунок 3.4 - Зміна температури в гарячій точці колони при зміні витрати на величину 30 м^3 /год.

Визначаємо параметри об’єкта керування за даними рисунка 3.4:

- усталене значення вихідної величини: Yуст(t) = 515;

- динамічний коефіцієнт підсилення: $K = \frac{Y_{уст}}{X} = \frac{\Delta T}{\Delta F} = \frac{515-55}{30} = 15{,}33$;

- постійна часу об'єкта: T = 270 с;

- запізнення: τ = 105 с.

Визначимо динамічні характеристики об'єкту по кривій розгону методом дотичної до точки перегину перехідної характеристики (кривої розгону) (рисунок 3.5).

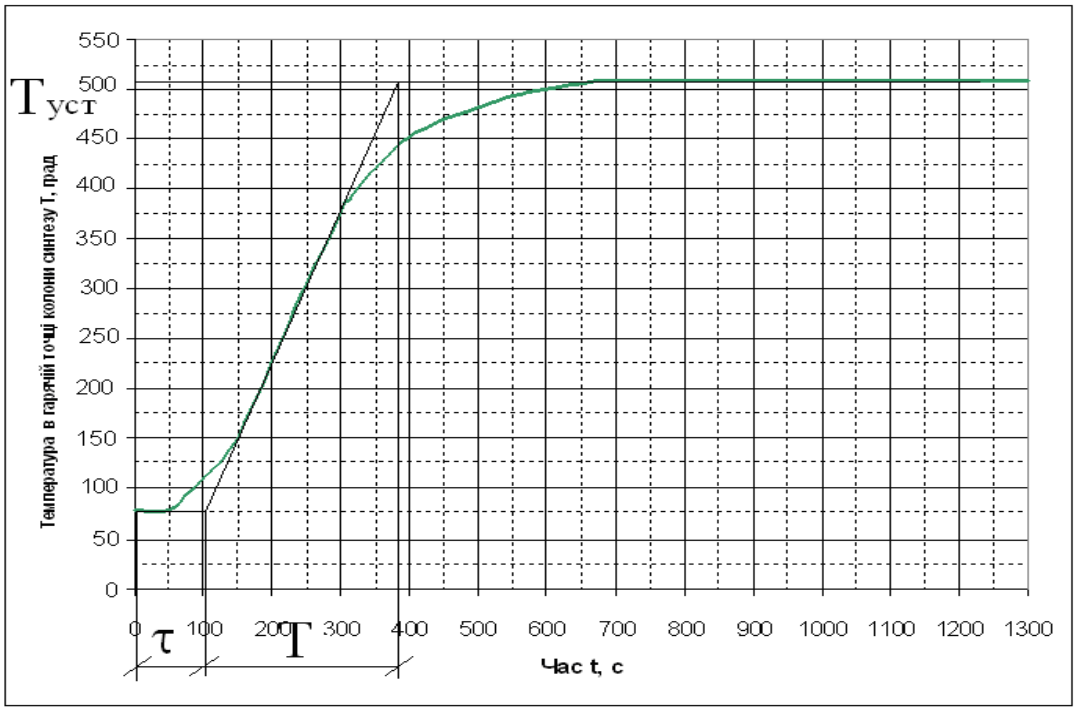

Рисунок 3.5 - Графічне визначення параметрів об’єкта керування

З рисунка 3.4 видно, що об'єкт керування являє собою аперіодичну ланку з запізненням, тобто описується передаточною функцією виду

$$W_{ок}(s) = \frac{ke^{-s\tau}}{Ts+1}$$

При підстановці даних отриманих з перехідної характеристики отримаємо передаточну функцію об’єкта керування наступного виду:

$$W_{ок_2}(s) = \frac{15{,}33}{270s+1} \cdot e^{-105s}$$

.

3.2 Визначення закону регулювання

Теоретично у системі з запізненням, мінімальний час регулювання: $t_{\min} = 2\tau$ [14, 17, 18, 20, 22].

Нижче приведені рекомендації з вибору закону регулювання і типу регулятора, виходячи з величини відношення запізнення τ до постійної часу об'єкта *T*.

Якщо $\tau / T < 0{,}2$, то можна вибрати релейний, неперервний або цифровий регулятори.

Якщо $0{,}2 < \tau / T < 1$, то повинен бути обраний неперервний або цифровий ПІ-, ПД-, ПІД-регулятор.

Якщо $\tau / T > 1$, то вибирають спеціальний цифровий регулятор, що компенсує запізнення в контурі керування. Однак цей же регулятор рекомендується застосовувати і при менших відношеннях τ / T .

На параметри об'єкта значний вплив чинить взаємне розташування виконавчих механізмів, регулюючих органів (наприклад, тена) і первинного перетворювача (давача).

Наявність запізнення об'єкта різко погіршує динаміку замкнутої системи. Часто при відношенні $\tau / T > 0{,}5$ типові закони керування не можуть забезпечити високу точність і швидкодію процесу регулювання. Головною причиною тут є різке зниження критичного коефіцієнта підсилення системи при збільшенні запізнення в об'єкті керування.

У зв'язку з цим підвищити якість керування можна або шляхом зменшення запізнення в об'єкті, або за рахунок застосування регулятора більш складної структури, а саме оптимального регулятора. З теорії оптимального керування випливає, що такий регулятор у своїй структурі повинен містити модель об'єкта керування.

Системи керування з моделлю об'єкта мають можливість прогнозувати майбутні зміни стану об'єкта. Вони можуть бути адаптивними або неадаптивними і незамінними для об'єктів з часом запізнення $\tau / T < 0{,}2$.

Для кожного об'єкта керування необхідно застосовувати регулятори з відповідним алгоритмом і законом регулювання. Це дозволяє істотно знизити втрати при функціонуванні об'єкта (витрата енергії, втрати продукції тощо).

Оскільки в нашому випадку $\tau / T = 105 / 270 = 0{,}38$, отже виконується відношення $0{,}2 < \tau / T < 1$, то повинен бути обраний регулятор неперервного закону регулювання. Оскільки основною вимогою до процесу регулювання є підтримання температури на певному рівні, тобто висока точність регулювання, то у даному випадку вибираємо ПІ-закон регулювання.

3.3 Розроблення структурної схеми керування

В промислових умовах з огляду на досить великий інерційності концентрації, а також з-за значних труднощів при її вимірі безпосередньо в шарах каталізатора реактора, процес проводять шляхом стабілізації температури в регламентних межах по верствам (полкам) за рахунок зміни ступеня відкриття заслінок на байпасних потоках. Система являє собою сукупність незалежних контурів регулювання. Кожен такий контур може бути представлений структурною схемою, показаною на рисунку 3.6 [20, 23].

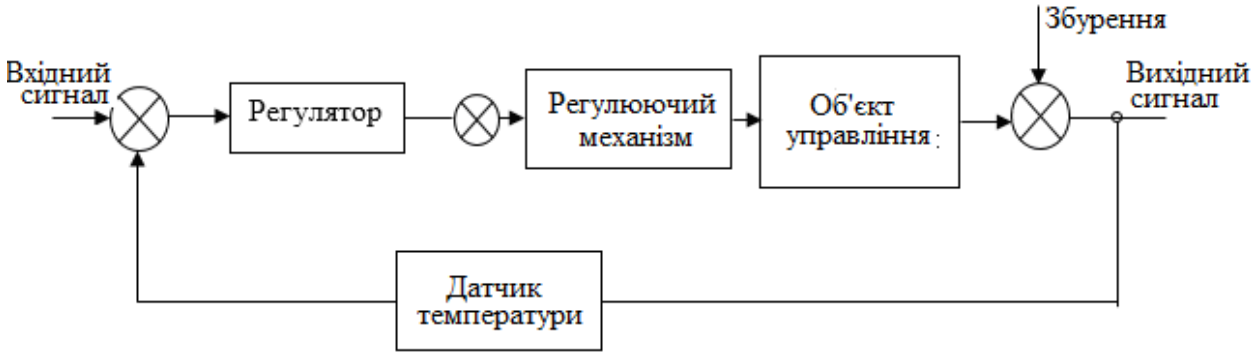

Рисунок 3.6 - Структурна схема САУ колоною синтезу.

Оскільки існує можливість вимірювати рівноваги вплив (концентрацію входить АВС), а також ідентифікувати залежність між його значенням і зміною температури на виході полки, пропонується використовувати комбіновану структуру управління. Комбіновані САУ застосовують при

автоматизації технологічних об'єктів, що піддаються дії контрольованих збурень. Введення коригувального впливу за збуренням через компенсатор в звичайну замкнуту систему дозволяє знизити динамічну помилку регулювання.

Існує два принципи побудови комбінованих САУ [16-18]:

1. Система, в якій коригуючий вплив компенсатора надходить на вхід об'єкта.

2. Система, в якій коригуючий вплив компенсатора подається на вхід регулятора.

В даній роботі я використаю першу структура, вигляд якої представлений на рисунку 3.7.

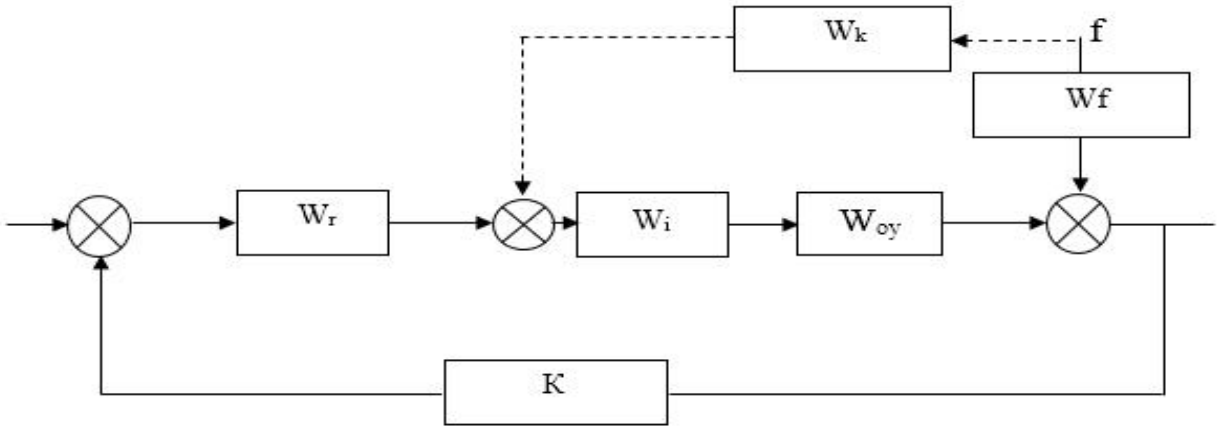

Рисунок 3.7 - Структурна схема об'єкта з компенсатором на основі передавальних функцій елементів

На рисунку 3.6 прийняті наступні позначення: f - збурення, y - вихід об'єкта, K - передавальна функція датчика (коефіцієнт передачі), W_f - передавальна функція за збуренням, W_{oy} - передавальна функція об'єкта управління, W_k - передавальна функція компенсатора, W_i - передавальна функція регулюючого механізму, W_r - передавальна функція регулятора.

Згідно із технологічним процесом температура в гарячій точці колони повинна не перевищувати 490 до 550 ^{0}C. Основним способом впливу на температуру у гарячій точці колони є зміна витрати подачі газу. У даному

випадку розроблювана система матиме одноконтурну структуру управління [17, 18].

На рисунку 3.8 представлено структурну схему автоматизованого регулювання температури.

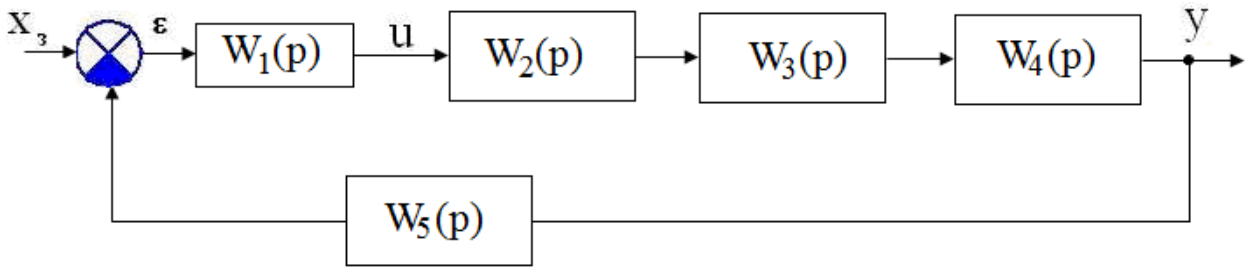

Рисунок 3.8 - Структурна схема САУ температури в гарячій точці колони синтезу

На рисунку 3.8 використані позначення, де $x_з$ - завдання регулятору; ε - відхилення по температурі; u - керуючий вплив; y - значення температури в гарячій точці, $W_1(p)$ - регулятор; $W_2(p)$ - виконавчий механізм; $W_3(p)$ - регулюючий орган; $W_4(p)$ - об'єкт (колона синтезу); $W_5(p)$ - давач температури.

Роботу САУ на основі структурної схеми регулювання можна описати наступним чином: при зміні температури в гарячій точці колони синтезу на вході регулятора з'являється розузгодження ε, відповідно до якого регулятор $W_1(p)$ виробляє керуючий вплив u для виконавчого механізму $W_2(p)$, який здійснює переміщення регулюючого органу $W_3(p)$. Це приводить до того, що змінюється витрата подачі газу, тобто – реакція на перевищення температури.

Передавальна функція компенсатора може бути отримана на основі принципу інваріантності. Для виконання принципу інваріантності необхідні дві умови: ідеальна компенсація всіх збурюючих впливів і ідеальне відтворення сигналу завдання. Очевидно, що досягнення абсолютної інваріантності реальних системах регулювання практично неможливо, тому,

зазвичай обмежуються часткової інваріантністтю по відношенню до найбільш значимих збурень.

3.4 Моделювання та оптимізація САР температури

Щоб провести моделювання САР температури в гарячій точці необхідно знайти передавальні функції усіх структурних елементів системи, вибрати регулятор та знайти значення його коефіцієнтів [20-23].

Отже,

- приймемо передавальну функцію ПІ-регулятора:

$$W_1(p) = k_p + \frac{k_i}{p}$$

Розрахуємо параметри налаштування ПІ-регулятора для обраного перехідного процесу:

$$K_p = \frac{0{,}6 \cdot T}{K \cdot \tau} = \frac{0{,}6 \cdot 270}{15{,}33 \cdot 105} = 0{,}101$$

$$K_i = \frac{1}{K \cdot \tau} = \frac{1}{15{,}33 \cdot 105} = 0{,}0006;$$

- відомо, що електричний двигун (виконавчий механізм) завжди виступає аперіодичною ланкою $W_2(p) = \frac{k_д}{T_д p + 1}$. Приймемо $k_д = 1{,}68 \, рад/с$. Стала часу змінюється у межах $T_д = 0{,}01 - 0{,}1\,с$. Приймемо $T_д = 0{,}09\,с$. Тоді передавальна функція виконавчого механізму матиме вигляд

$$W_2(p) = \frac{1{,}68}{0{,}09 p + 1};$$

- регулюючий пристрій у більшості випадків виступає пропорційною ланкою. Значення коефіцієнта передавання РП знаходять з його витратної характеристики (рисунок 3.9):

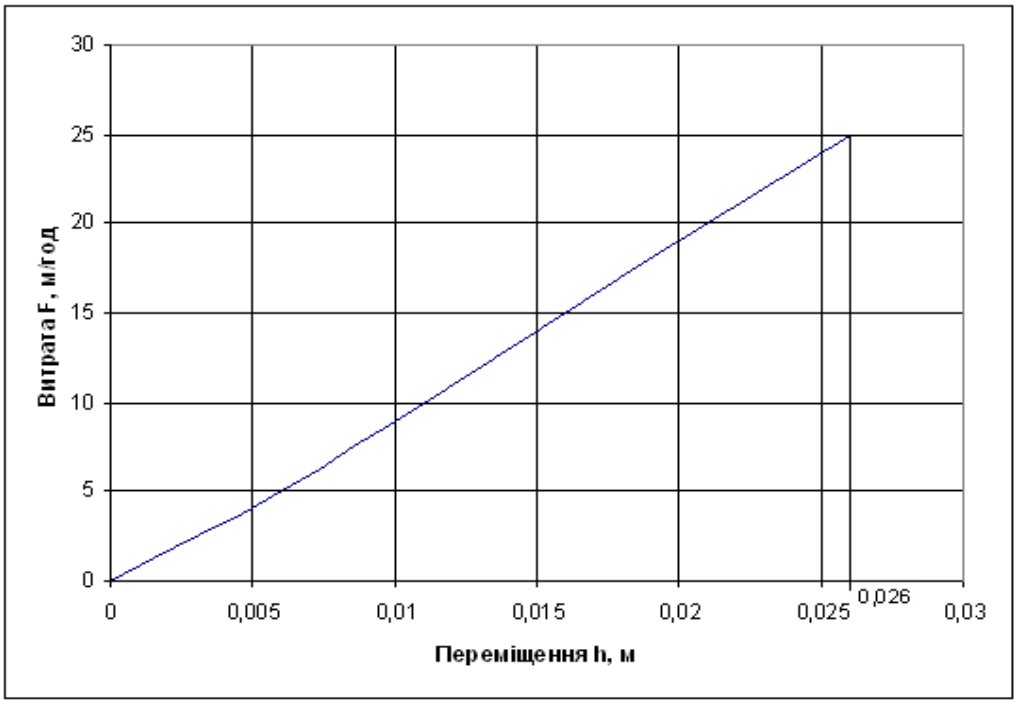

Рисунок 3.9 - Витратна характеристика РП

Отже: $k_3 = \frac{F_{\max}}{h_{\max}} = \frac{25м^3/год}{0{,}026м} = \frac{0{,}0069м^3/с}{0{,}026м} = 0{,}265\left(м^2/с\right).$

Передавальна функція регулюючого органу набуде вигляду:

$$W_3(p) = 0{,}265.$$

- передавальну функцію термопари не будемо представляти, як окрему ланку, оскільки її значення враховані у передавальній функції об'єкта регулювання.

Далі будуємо модель системи, структурна схема якої наведена на рисунку 3.10.

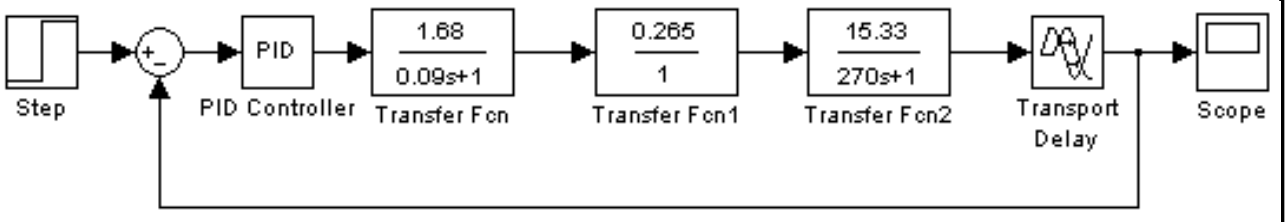

Рисунок 3.10 - Структурна схема САР температури

Провівши моделювання, отримаємо таку перехідну характеристику (рисунок 3.11).

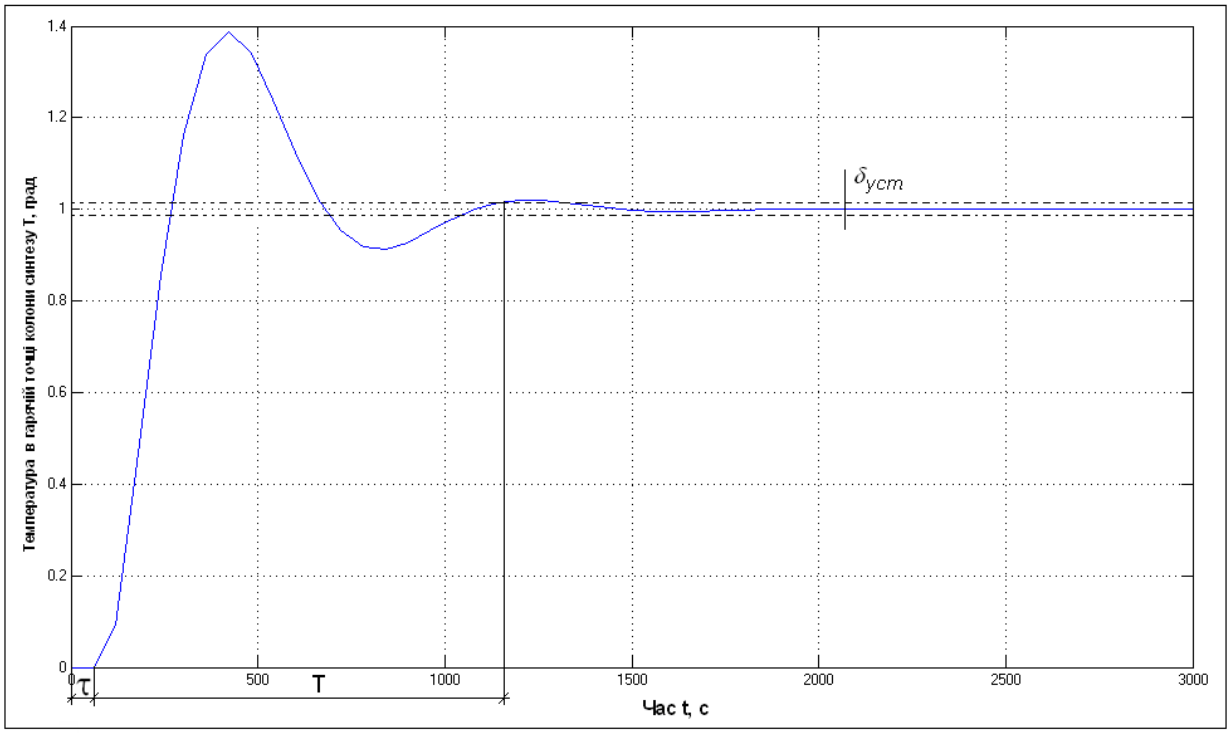

Рисунок 3.11 - Графік перехідного процесу регулювання температури

З графіку перехідного процесу (рисунок…..) визначаємо показники якості:

- перерегулювання – $\sigma = 40\%$;

- час регулювання – $T_{рег.} = 1100\,c$;

- кількість коливань – $n = 1$;

- запізнення – $\tau = 105c$;

- усталена похибка - $\delta_{уст.} = 0$;

Дані показники якості нас не задовольняють, тому необхідно здійснити пошук оптимальних настроювань регулятора.

Для покращення показників роботи системи введемо в її склад блок оптимізації коефіцієнтів регулятора (блок NCD OutPort). Структурна схема матиме наступний вигляд (рисунок 3.12):

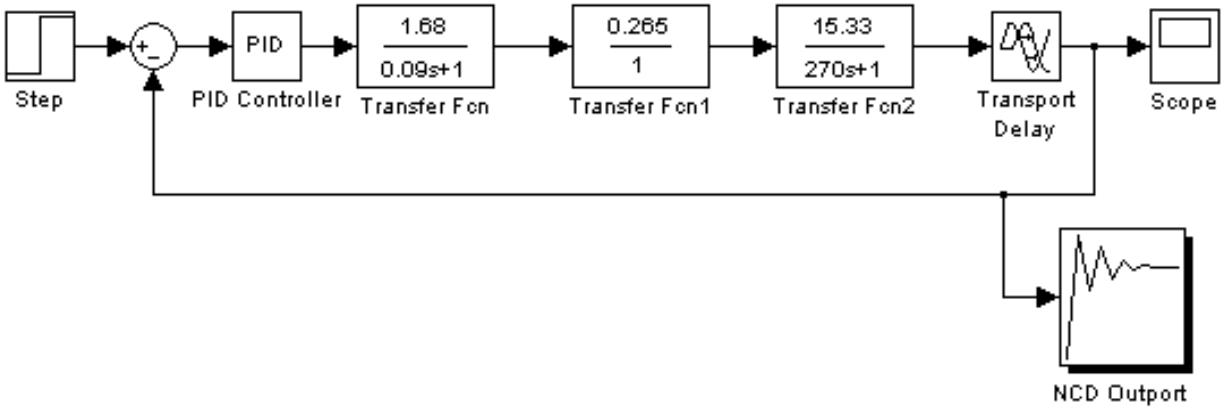

Рисунок 3.12 - Структурна схема пошуку оптимальних настроювань регулятора

Після оптимізації отримаємо наступні коефіцієнти налаштувань регулятора:

$К_п$ = 11,62,

$К_і$ = 0,043,

Перехідна характеристика системи матиме вигляд, показаний на рисунку 3.13.

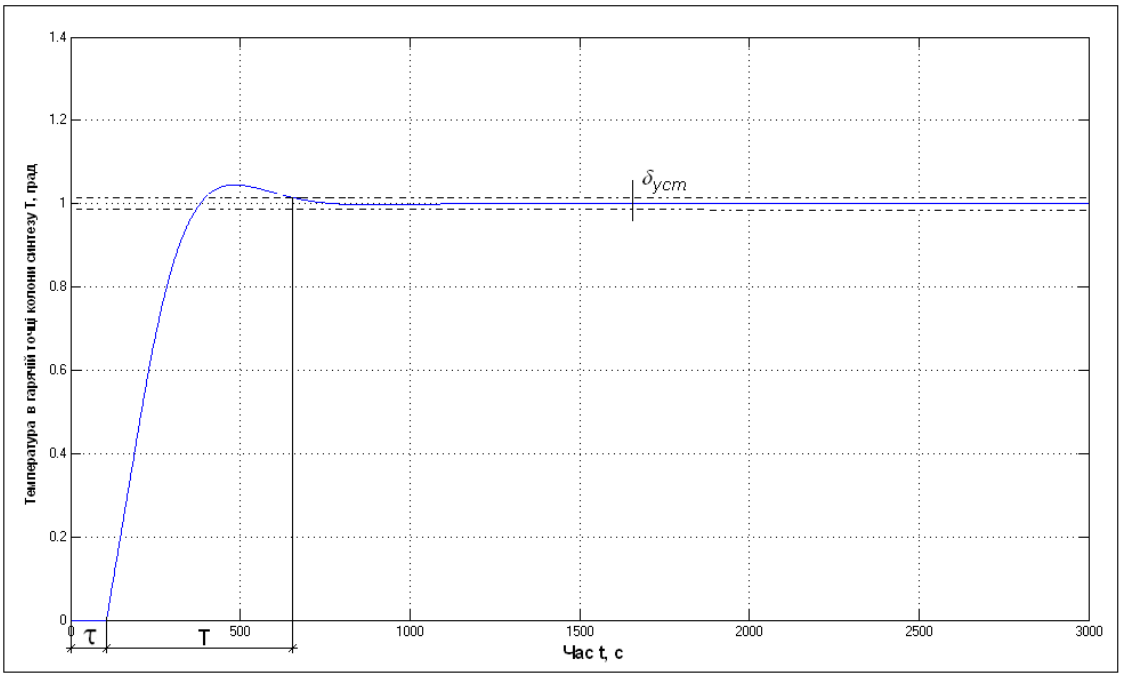

Рисунок 3.13 - Графік перехідного процесу з оптимальними настроюваннями регулятора

З графіку перехідного процесу визначаємо прямі показники якості :

- перерегулювання - $\sigma = 0$;
- час регулювання – $T_{рег.} = 700\,c$;
- запізнення – $\tau = 105c$;
- кількість коливань - $n = 0$;
- усталена похибка - $\delta_{уст.} = 0$.

Провівши пошук налаштувань регулятора за допомогою блоку NCD, ми знайшли оптимальні настройки ПІ-регулятора. Для пропорційної складової вони рівні 11,62, а для інтегральної –0,0428.

ВИСНОВКИ

У випускній роботі розглянуто технологічний процес синтезу аміаку, зокрема задачу управління колоною синтезу аміаку. Об‘єкт дослідження – цикл синтезу аміаку (NH_3) у відділенні синтезу.

В процесі виконання даної роботи виконано наступне:

1. Досліджено технологічний процес синтезу аміаку.

2. Розроблено технологічну схему автоматизації

3. Виконано аналіз об'єкта управління.

4. Розроблено функціональну схему автоматизації.

5. Виділено керуючі, вихідні та збурюючі параметри.

6. Проаналізовано методи регулювання основних технологічних параметрів.

7. Дана характеристика основного технологічного обладнання, технічних засобів контролю і автоматизації.

8. Побудовані структурні схеми САУ температури в гарячій точці колони синтезу.

9. Здійснено моделювання та оптимізацію САР температури.

На основі проведених досліджень автором рекомендовані шляхи вдосконалення існуючої системи автоматизації технологічного процесу синтезу аміаку, розроблений проект автоматизації на базі промислових контролерів Mitsubishi , що включає в себе: автоматичний розрахунок значення оптимальної температури в гарячій точці колони синтезу аміаку на основі параметрів вхідного потоку синтез-газу та автоматичне керування температурним режимом колони синтезу, вмістом інертних домішок у синтез-газі.

Таким чином розроблена загальна систему автоматизованого управління технологічним процесом надасть змогу зменшити відсоток технологічного браку при синтезу аміаку завдяки новішим та точнішим засобам автоматизації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Технологія зв’язаного азоту: технологія та алгоритми розрахунків виробництва аміаку і метанолу. [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія», спеціалізації «Хімічні технології неорганічних речовин та водоочищення» / А.Л. Концевой ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 211 с.

2. Лобойко О. Я. Методи розрахунків у технології неорганічних виробництв (ч.1. Зв´язаний азот). / О. Я. Лобойко, Л. Л. Товажнянський, І. О. Слабун та ін. – Харків: НТУ «ХПІ», 2001. – 512 с.

3. Яворський В.Т. Загальна хімічна технологія: Підручник / В.Т.Яворський, Т.В.Перекупко, З.О.Знак, Л.В.Савчук. – Львів: Видавництво національного університету «Львівська політехніка», 2005. − 552 с.

4. Товажнянський Л. Л. Технологія зв’язаного азоту: підручник / Л.Л. Товажнянський, О.Я.Лобойко [та ін.] – Харків: НТУ “ХПІ”, 2007. – 536с.

5. Яновський М. А. Технологія аміаку: Навчальний посібник / М.А. Яновський, І.М.Демиденко Б.І.Мельников [та ін.] – Дніпропетровськ: УДХТУ, 2004. – 300 с.

6. Прилади для вимірювання та контролю рівня, тиску, витрати. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.kck.ua/dir/control_devices/measuring_costs.html.

7. Бабіченко А.К. Промислові засоби автоматизації. Вимірювальні пристрої / За заг. ред. Бабіченка А.К.: Навч. посібник. Ч.1. - Харків: НТУ "ХПГ, 2001. - 470 с.

8. Савенков А.С. Реакція окиснення аміаку. Втрата платиноїдного каталізатора / А.С. Савенков, С.І. Авіна // Хімічна промисловість України. — 2010. — № 5. — С. 7–10.

9. Патент «Preparation or purification of gas mixtures for ammonia synthesis» https://patents.google.com/patent/US1765534A

10. Патент «Process for removing inert gases from ammonia synthesis gas» https://patents.google.com/patent/US2881053A/en

11. Патент «Process for purifying the nitrogen-hydrogen mixture in the synthesis of ammonia» https://patents.google.com/patent/USRE18766E/en

12. Патент «Production of ammonia» ttps://patents.google.com/patent/US1830167A/en

13. Патент «Process for manufacture of ammonia» https://patents.google.com/patent/EP0247220A1/en

14. Жученко А.І. Ідентифікація динамічних характеристик. Комп'ютерні методи / Жученко А.І., Кваско М.З., Кубрак Н. А. - К.: ВІПОЛ, 2000. – 182с.

15. Хазаров В. Г. Інтегровані системи управління /В.Г. Хазаров. - М.: Професія, 2009. - 592 с.

16. Кудряшов В.С. Моделювання та синтез цифрової багатозв'язної системи управління процесом отримання аміаку. Монографія / В.С. Кудряшов, С.В. Рязанцев. - Воронеж: ВГТА, 2011. - 171 с.

17. Філліпс Ч. Системи управління зі зворотним зв'язком / Ч.Філліпс, Р.Харбор - М .: Лабораторія базових знань, 2001. - 616 с.

18. Денисенко В.В. ПІД-регулятори. Питання реалізації / В.В.Денисенко // № 1. - Ч.2. – СТА, 2008. - С. 86-99.

19. Денисенко В. В. ПІД-регулятори: принципи побудови і модифікації / В.В.Денисенко // № 1. – СТА, 2007. - С. 77-88.

20. Лукас В.А. Теорія автоматичного управління / В.А.Лукас // Підручник для вузів - 2-е видання. - М: Недра, 1990. - 416 с.

21. Дорф Р. Сучасні системи управління / Р.Дорф, Р. Бішоп. // Пер. з англ Б.І. Копилова. - М.: Лабораторія базових знань, 2002. - 832 с.

22. Бойко Т. В., Бендюг В. І., Потяженко І. О. Математичне моделювання та застосування ЕОМ в хімічній технології. К.: НТУУ «КПІ», 2007. 128с.

23. Статюха Г. О., Бугаева Л. М., Безносик Ю. О. Системний аналіз хіміко-технологічних комплексів. К.: НТУУ «КПІ», 2014. 132с.

24. Лукінюк М. В. Автоматизація типових технологічних процесів: технологічні об’єкти керування та схеми автоматизації : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом «Автоматизація і комп’ют.-інтегр. технології». К.:НТУУ «КПІ», 2008. 236 с.