

ЗМІСТ

Перелік скорочень та умовних позначень	9
ВСТУП	10
1 Технологічна схема процесу виробництва аміаку у реакторі аксіально-радіального типу	11
1.1 Загальні відомості про синтез аміаку	11
1.2 Опис технологічної схеми процесу виробництва аміаку у реакторі аксіально-радіального типу	12
2 Розрахунок матеріальних балансів технологічної схеми у програмі ChemCAD	14
3 Комп'ютерне моделювання реактора аксіально радіального типу	21
3.1 Технічне завдання.....	21
3.2 Математичне забезпечення програмного модуля.....	22
3.3 Програмний модуль для розрахунку процесу виробництва аміаку у реакторі аксіально-радіального типу	29
4 Автоматизація технологічної схеми процесу виробництва аміаку	35
4.1 Розробка схеми автоматизації.....	35
4.2 Опис розробленої схеми автоматизації.....	38
5 Економіко-організаційні розрахунки.....	44
5.1 Класифікація виробничих процесів підприємства на основні, допоміжні, бічні, підсобні	44
5.2 Визначення оптимального виду руху предметів праці.....	45
5.3 Визначення середньорічної тривалості виробничого циклу, річного випуску продукції при обраному ВРПП.....	49
5.4 Розрахунок кількості одиниць обладнання (основні фонди), кількості працюючих (явочну та за списком), графік роботи підприємства (графік змінності)	49

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Комп'ютерне моделювання та автоматизація технологічної схеми виробництва аміаку у реакторі аксіально -радіального типу	Лит.	Арк.	Аркушів	
Розроб.		Вільбой М.О.						7	86
Перевір.									
Реценз.									
Н. Контр.		Шахновський				КПІ ім. Ігоря Сікорського група ХТФ, гр. ХА-51			
Затверд.		Безносик Ю.О.							

5.5	Чисельність персоналу: явочна і за списком.....	50
5.6	Визначення порядку технічного контролю на виробництві: об'єкти, суб'єкти, види і методи контролю, виконавці.....	53
5.7	Розрахунок оборотних засобів підприємства.....	54
5.8	Розрахунок техніко-економічних показників	56
5.9	Розрахунок економічної ефективності проведення автоматизації	57
6	Охорона праці.....	62
6.1	Виявлення і аналіз шкідливих і небезпечних факторів на проєктованому об'єкті. Заходи з охорони праці.....	62
6.1.1	Повітря робочої зони	62
6.1.2	Виробниче освітлення	65
6.1.3	Виробничий шум і вібрація.....	67
6.1.4	Електробезпека.....	67
6.1.5	Безпека технологічних процесів і обслуговування обладнання	68
6.2	Пожежна безпека.....	69
	ВИСНОВКИ.....	72
	Список використаних джерел	73
	Додаток А.....	74
	Додаток Б	77
	Додаток В	81

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

РІВ – реактор ідеального витіснення

РІЗ - реактор ідеального змішування

ХТС –хіміко-технологічна система

ВРПП – види руху предметів праці

КВЕД – Класифікація видів економічної діяльності

САР – система автоматичного регулювання

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

ВСТУП

Аміак є простою сполукою, проте він володіє комплексом фізичних та хімічних властивостей, які роблять його дуже затребуваною речовиною майже у всіх галузях господарства. Він знаходить своє застосування в сільському господарстві, в якості сировини для виробництва азотних добрив, і навіть може бути використаний безпосередньо як добриво (аміачна вода). Його використовують і у важкій промисловості в якості середовища для травлення металів, сировини для виробництва вибухівки та полімерів, або в якості холодагенту для промислових холодильників.

Щорічне виробництво аміаку у світі перевищує 180 млн. тон, що свідчить про високу актуальність розробки методик синтезу. Створюються більш активні каталізатори, що працюють при менших температурах, та забезпечують вищий ступінь перетворення вихідної суміші в аміак.

Також окрім хімічних методів збільшення виходу аміаку із синтезу існують і алгоритмічні підходи до покращення протікання процесу. Тобто із застосуванням сучасних методів управління, та із попереднім комп'ютерним розрахунком процесу можна значно збільшити виробництво аміаку при тих самих енергетичних та матеріальних затратах. Адже можуть бути розроблені більш складні алгоритми пуску процесу, регулювання потоків рециклу, та регулювання температурних режимів, що значно зменшить втрати при виробництві, та дозволяють уникнути зайвого нагрівання або охолодження сировини та апаратів.

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

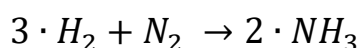
1. ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА АМІАКУ У РЕАКТОРІ АКСІАЛЬН РАДІАЛЬНОГО ТИПУ

1.1 Загальні відомості про синтез аміаку

З початку ХХ сторіччя виробництво аміаку базується на принципі прямого синтезу із азоту і водню у присутності каталізатора.

Будь-яка технологічна схема процесу синтезу аміаку базується на принципі циркуляції, тобто процес йде неперервно, а залишки вихідної суміші повертаються до зони реакції по рециркуляційним трубопроводам.

Реакція синтезу аміаку:



Виробництво аміаку, не дивлячись на простоту реакції, є процесом, що потребує великої кількості енергії, адже у реакторі потрібно підтримувати температурний режим від 350 до 500 °С, та тиск близько 340 атм. Такі екстремальні умови потребують включення у схему цілого каскаду теплообмінних апаратів, та компресора високого тиску, і відповідно великої потужності.

Також великих матеріальних і енергетичних затрат потребує процес відновлення каталізатора.

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

1.2 Опис технологічної схеми процесу виробництва аміаку у реакторі аксіально-радіального типу

Технологічна схема процесу виробництва аміаку у реакторі аксіально-радіального типу зображена на Рис. 1.1.

Рисунок 1.1 – Технологічна схема процесу виробництва аміаку у реакторі аксіально-радіального типу:

1 – реактор; 2 – паровий котел; 3 – теплообмінник; 4 – конденсатор-сепаратор; 5 – відцентровий компресор високого тиску; 6 – теплообмінник з сепаратором; 7 – випарник; 8 – магнітний фільтр; 9 – збірник;

В даному агрегаті азотноводневу суміш, що містить 0,3% аміаку під тиском 31,5 МПа змішують з циркуляційним газом, що виходить із апарату 6, і подають в трубний простір випарника 7. Рідкий аміак, що використовується у якості охолоджувача, направляють у міжтрубний простір випарника 7. Він охолоджує суміш свіжої суміші і циркуляційного газу до температури 15 °С.

Охолоджений газ разом із сконденсованим аміаком потрапляє в сепараційну частину теплообмінника з сепаратором 6, де відділяється рідкий аміак, а газова фаза, проходячи по міжтрубному простору апарата 6,

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

нагрівається до 30 °С та поступає в відцентровий компресор 5, у якому газ доводиться до тиску 34,5 МПа.

Газ під тиском 34,5 МПа та з температурою 30 °С поступає теплообмінник 3, у міжтрубному просторі якого нагрівається до температури 200 °С, та направляється до реактору синтезу. Перед реактором потік розділяють на три. Основний потік потрапляє в кільцевий зазор між корпусом реактора та корпусом каталізаторної коробки, спускається до низу апарату та проходить теплообмінник, що розташований там. Другий потік направляють у нижню частину апарату для регулювання температури. Третій потік направляють до радіальної зони для змішування з потоком, що пройшов синтез в аксіальній зоні.

Нагріта до 420 °С суміш поступово проходить два шари каталізатора, де проходить реакція синтезу аміаку, потрапляє до нижнього теплообмінника, де охолоджуються приблизно до 380 °С.

Після виходу з реактора суміш переходить до парового котла 2, де генерується насичена пара під тиском 3,8 МПа. На виході з котла суміш має температуру 200 °С. Наступним апаратом до якого потрапляє суміш є теплообмінник 3, на виході з якого суміш має температуру 60 °С. Охолодження суміші до 30 °С відбувається у конденсаторі-сепараторі 4. Також в сепараційній частині цього апарату відбувається конденсація аміаку, який потім направляється до збірника 9 через магнітний фільтр 8, який очищує аміак від каталізаційного пилу. У збірнику тиск аміаку зменшують до 1,8 МПа, після чого його передають на склад.

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

2 РОХРАХУНОК МАТЕРІАЛЬНИХ БАЛАНСІВ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ У ПРОРАМІ CHEMCAD

В даному розділі виконується розрахунок матеріальних балансів процесу за допомогою програми-симулятора ChemCad. Дана програма дозволяє отримати дані витрат по всім заданим потокам у схемі. Вихідні дані для розрахунку приведені у таблиці нижче.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані до розрахунку матеріального балансу

Далі представлено основні стадії збірки та налаштування схеми у програмі ChemCad.

Схема у програмі ChemCad має наступний вигляд:

Рисунок 2.1 – Схема у програмі ChemCad

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

У цій схемі присутні наступні елементи:

1 – змішувач циркуляційного газу і свіжої азотоводневої суміші;

2 – холодний теплообмінник, що представлений у вигляді реактора, тому що в ньому вже починається реакція синтезу, і частина азотоводневої суміші переходить в аміак;

3 – сепаратор для відділення сконденсованого в апараті 2 аміаку і направлення його до змішувача 6;

4 – власне реактор аксіально-радіального типу в якому відбувається синтез аміаку;

5 – Конденсатор – сепаратор для відділення сконденсованого аміаку та направлення його до змішувача 6;

6 - змішувач для об'єднання потоків з двох сепараторів та подальшого направлення їх у збірник;

Варто відмітити, що у схемі не представлені теплообмінники. Це зроблено для спрощення схеми, та ніяк не вплине на розрахунок матеріального балансу, оскільки теплообмінники є виключно тепловими об'єктами і ніяк не впливають на матеріальний склад потоків що входять до них або виходять із них.

Перш ніж переходити до налаштування окремих об'єктів у симуляторі потрібно задати систему вимірювань та задати речовини, що будуть використані у технологічному процесі.

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Для вибору системи вимірювань потрібно перейти до пункту меню Format та підпункту Engineering Units та обрати Common SI.

Рисунок 2.2 – Вікно налаштувань системи вимірювань у ChemCad

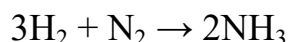
Для того, щоб задати необхідні речовини потрібно перейти до пункту меню Thermophysical підпункту Select Components та обрати зі списку всі необхідні речовини.

Рисунок 2.3 – Вікно вибору необхідних речовин у ChemCad

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після цього можна переходити власне до налаштувань апаратів у схемі.

Реактор 4 та теплообмінник 2 представлені у симуляторі за допомогою реакторів типу Equilibrium reactor (EREA). Даний тип моделі дозволяє симулювати процес перебігу декількох хімічних реакцій, та визначати ці реакції задаючи коефіцієнт перетворення. В даному випадку маємо лише одну реакцію синтезу аміаку із азоту та водню.



Для того, щоб налаштувати реактор перейдемо до пункту Edit UnitOp Data, та задамо наступні налаштування для реактора 4:

- Режим роботи ізотермічний (температура 430 °C);
- Коефіцієнт перетворення 0.15;
- Стехіометричні коефіцієнти відповідно до рівняння, наведеного вище;

Рисунок 2.4 – Налаштування реактора у програмі ChemCad

Налаштування теплообмінника 2 аналогічні, змінений лише коефіцієнт перетворення до 0,06 , та режим роботи обрано загальним.

Перейдемо до налаштувань сепараторів. Для представлення сепараторів у ChemCad існує апарат з назвою Component Separator (SEP). Для налаштування

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

цього сепаратора є лише два параметри це доля відділеної речовини та температура вихідних потоків.

Задамо значення цих параметрів відповідно до технологічної схеми.

Рисунок 2.5 – Налаштування сепараторів 3 та 5

Останнім кроком буде налаштування вхідного потоку відповідно до завдання на розрахунок матеріального балансу. Для цього розрахуємо масу газів у азотоводневій суміші.

Співвідношення масових частин азоту та водню у суміші впливає із стехіометричних коефіцієнтів реакції синтезу аміаку. Переведемо молярні частки газів у суміші у масові. Згідно до періодичної таблиці елементів молярна маса атому азоту дорівнює $14 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$, а водню $1 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$. Для молекул азоту та водню молярна маса складає $28 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$ та $2 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$ відповідно.

Згідно до рівняння реакції стехіометричне співвідношення складає 3 молі водню на 1 моль азоту. Відповідно маємо 6 грамів водню на 28 грамів азоту.

Маємо необхідні дані, щоб провести розрахунок масових часток речовин у суміші.

Масова частка водню:

$$\omega_{H_2} = \frac{6}{6 + 28} = 0,1764$$

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Масова частка водню:

$$\omega_{H_2} = \frac{28}{6 + 28} = 0,8236$$

Знаючи масові частки компонентів суміші та її кількість можемо розрахувати масу окремих компонентів.

Маса водню:

$$25\ 000 \cdot 0,1764 = 4411\ \text{кг}$$

Маса азоту:

$$25\ 000 \cdot 0,8236 = 20\ 589\ \text{кг}$$

Задамо отримані значення для вхідного потоку.

Рисунок 2.6 – Конфігурація вхідного потоку

Далі перейдемо до конфігурації трубопроводів. Найважливішим параметром при цьому буде номер трубопроводу, оскільки він визначає послідовність розрахунку схеми. Потоки потрібно нумерувати починаючи від входу сировини до схеми. Для зміни номеру потрібно у контекстному меню трубопроводу обрати пункт Edit ID. На рисунку 2.1 нумерація трубопроводів

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

виконана правильно, оскільки вхідний потік має номер 1, а вихідний номер 9 та всі останні розташовані у порядку зростання від східного до вихідного.

Можемо переходити до власне розрахунку матеріальних балансів. Для цього потрібно задати очікувані значення витрати речовин у потоці 7, оскільки саме його програма визначила як потік рецирку, та запустити симуляцію за допомогою пункту меню Run.

Рисунок 2.7 – Конфігурація потоку 7

Після проведення симуляції можемо отримати звіти з усією необхідною інформацією за допомогою пункту меню Report.

Отримаємо звіт по матеріальним балансам (Mass and Energy Balances) та звіт по всім потокам (Stream Report → All Streams).

На основі отриманих звітів складемо дві таблиці першу для оцінки витрати речовин у всіх потоках, а іншу тільки для входу та виходу (остаточний баланс).

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Таблиця 2.2 – витрати речовин по потокам

Таблиця 2.3 – Матеріальний баланс процесу синтезу аміаку

Можна зробити висновок що розрахунок матеріального балансу процесу синтезу аміаку у реакторі аксіально-радіального типу виконано з достатньою точністю. Нев'язка матеріального балансу (57,1 кг) не виходить за межі точності, встановленої у ChemCad.

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

3 КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РЕАКТОРА АКСІАЛЬНО-РАДІАЛЬНОГО ТИПУ

3.1 Технічне завдання

Розробити програмний модуль для конструктивного розрахунку реактора аксіально-радіального типу для виробництва аміаку.

Вихідні дані для розрахунку:

1. Об'ємна витрата газового потоку на вході в реактор, $\frac{\text{нм}^3}{\text{год}}$
2. Об'ємна витрата байпасного потоку, $\frac{\text{нм}^3}{\text{год}}$;
3. Об'єм каталізатора в аксіальній частині, м^3 ;
4. Об'єм каталізатора в радіальній частині, м^3 ;
5. Параметр теплообміну через стінку зовнішньої трубки Фільда;
6. Параметр теплообміну через стінку внутрішньої трубки Фільда;
7. Ступінь активності каталізатора;
8. Тиск у реакторі, атм;
9. Температура потоку на вході до реактора, К;

Результати розрахунку :

1. Температура по об'єму каталізатора у аксіальній частині, К;
2. Ступінь перетворення по об'єму каталізатора у аксіальній частині;
3. Доля аміаку у суміші по об'єму каталізатора у аксіальній частині;
4. Температура по об'єму каталізатора у радіальній частині, К;
5. Ступінь перетворення по об'єму каталізатора у радіальній частині;
6. Доля аміаку у суміші по об'єму каталізатора у радіальній частині;

Вимоги до програмного модуля:

1. Наявність полів для введення даних;
2. Виведення триманих результатів розрахунку на форму;
3. Графічне та текстове виведення інформації;
4. Розроблений у середовищі MS Visual Studio;

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

3.2 Математичне забезпечення програмного модуля

Даний об'єкт є складеним з точки зору математичного моделювання, адже складається з трьох основних зон:

- Аксіальна зона реактора;
- Зона змішування основного і байпасного потоків;
- Радіальна зона реактора;

В радіальній зоні відбувається процес синтезу аміаку із азотноводневої суміші, що рухається згори донизу через шар каталізатора. Цей процес є класичним прикладом, що розраховують за допомогою моделі РІВ.

В зоні змішування відбувається об'єднання потоку, що вже пройшов реакцію в аксіальній зоні, та потоку що був поданий напряму на вхід радіальної частини.

В радіальній зоні також відбувається процес синтезу аміаку, проте напрям руху суміші радіальний, тобто від стінок каталізаторної коробки до центру. Цей процес також описують за допомогою моделі РІВ.

В якості методу розв'язання систем рівнянь було обрано числовий метод Рунге-Кутта 4-го порядку. Основною перевагою використання такого методу, з точки зору комп'ютерного розрахунку, є те, що комп'ютеру, фактично, не доводиться мати справу із розрахунком похідної напряму, все обчислення заключається у ітеративному обчисленні значення однієї функції з подальшим домноженням його на певні коефіцієнти, які розраховуються за наступними формулами:

$$K_1 = f(x_i, y_i);$$

$$K_2 = f\left(x_i + \frac{h}{2}, y_i + \frac{h}{2} \cdot K_1\right);$$

$$K_3 = f\left(x_i + \frac{h}{2}, y_i + \frac{h}{2} \cdot K_2\right);$$

$$K_4 = f(x_i + h, y_i + h \cdot K_3);$$

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Де h – величина кроку, $f(x,y)$ – загальний вигляд функції, y - шукана величина, x – аргумент функції

Власне значення шуканої функції розраховується за наступною формулою :

$$y_{i+1} = y_i + \frac{h}{2} + (K_1 + 2 \cdot K_2 + 2 \cdot K_3 + K_4);$$

Математична модель даного апарату побудована з врахування наступних допущень:

1. Процес адіабатичний, тобто відсутній теплообмін з навколишнім середовищем;
2. Питомі теплоємності речовин не змінюються;
3. Нерухомий шар каталізатора підпорядковується квазі-гомогенній моделі, тобто розглядається як однорідний шар з неперервним розподілом температури і концентрації;
4. Впливом падіння тиску суміші при проходженні шару каталізатора можна знехтувати;
5. Процес синтезу аміаку відбувається в стаціонарному режимі;

З врахування допущень запишемо модель для аксіальної частини реактора:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dx}{dz} = \frac{1}{F_0} \cdot W(x, T) \\ \frac{dT}{dz} = \frac{\Delta T_{ад}}{F_0} \cdot W(x, T) - A_1 \cdot (T - T_1) \\ \frac{dT_1}{dz} = A_1 \cdot (T_1 - T) + A_2 \cdot (T_1 - T_2) \\ \frac{dT_2}{dz} = A_2 \cdot (T_1 - T_2) \end{array} \right.$$

Граничні умови:

$$\left\{ \begin{array}{l} X|_{z=0} = 0; \quad T|_{z=0} = T_1|_{z=0} \\ T_1|_{z=0} = T_n; \quad T_1|_{z=1} = T_2|_{z=1}; \quad T_2|_{z=0} = T_0 \end{array} \right.$$

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Де: z – координата об'єму реактора; x – ступінь перетворення; F_0 – молярний потік суміші; W – швидкість процесу утворення аміаку; T – температура в шарі каталізатора; $\Delta T_{ад}$ – величина адіабатичного нагріву; A_1 – параметр теплообміну через стінку зовнішньої трубки Фільда; A_2 – параметр теплообміну через стінку внутрішньої трубки Фільда; T_1 – температура газу у зовнішній трубці; T_2 – температура газу у внутрішній трубці;

Дана модель включає в себе чотири рівняння. Перше рівняння описує зміну ступеня перетворення по висоті шару каталізатора, друге рівняння описує зміну температури в шарі каталізатора залежності від його висоти, третє та четверте рівняння описують зміну температури в зовнішніх та внутрішніх трубках фільда від висоти шару каталізатора.

Додаткові розрахунки, що мають бути виконані для забезпечення моделі всіма необхідними значеннями включають:

- Розрахунок величини молярного потоку суміші F_0 ;
- Розрахунок величини адіабатичного нагріву $\Delta T_{ад}$;
- Розрахунок величин параметрів теплообміну A_1 та A_2 ;

Для розрахунку величини молярного потоку суміші використовують наступну формулу [2]:

$$F_0 = \frac{V_0}{22,4 \cdot V_{ка}}$$

Де: V_0 – об'ємна витрата газової суміші, $V_{ка}$ – об'єм каталізатора у аксіальній частині реактора;

Для розрахунку величини адіабатичного нагріву використовують наступну формулу [2]:

$$\Delta T_{ад} = 14,5 \cdot x \cdot 100;$$

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Для розрахунку величини швидкості реакції використовують наступну формулу [2]:

$$W(x,T) = \frac{x \cdot V_0 \cdot T}{V_{ка}}$$

Де: x – поточне значення ступеня перетворення; T – поточне значення температури у шарі каталізатора;

Для розрахунку величин параметрів теплообміну у трубках Фільда використовують наступні формули [2]:

$$A_1 = \frac{3600 \cdot T_1}{F_0 \cdot C_p};$$

$$A_2 = \frac{3600 \cdot T_2}{F_0 \cdot C_p};$$

Де: C_p – тепловий ефект реакції, постійна величина;

Результати розрахунку аксіальної частини наведені на рис 3.1

Рисунок 3.1 – Результати розрахунку аксіальної частини реактора

Варто зауважити, що значення температури були масштабовані за допомогою коефіцієнта 10^{-4} задля зручного розташування на графіку.

Оскільки розрахунок зони змішування не включений у цикл, то його виконують за спрощеними формулами, а саме:

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Розрахунок ступеня перетворення на вході в радіальну частину:

$$x_p = \frac{V_0}{V_0 \cdot V_2} \cdot x_k + \frac{V_2}{V_0 \cdot V_2} \cdot 0.03;$$

Де: V_0 – витрата суміші на вході до реактора; V_2 – витрата байпасного потоку, x_k – ступінь перетворення на виході з аксіальної частини; 0,03 – вміст аміаку в байпасній суміші;

Розрахунок температури потоку на вході в радіальну частину:

$$T_p = \frac{V_0}{V_0 \cdot V_2} \cdot T_k + \frac{V_2}{V_0 \cdot V_2} \cdot T_0;$$

Де: T_k – температура суміші на виході з аксіальної частини; T_0 – температура байпасного потоку;

Перейдемо до математичного опису радіальної частини. Математична модель радіальної частини реактора аксіально-радіального типу виглядає наступним чином:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dz} = \frac{1}{F_p} \cdot W(x, T) \\ \frac{dT}{dz} = \frac{\Delta T_{ад}}{F_p} \cdot W(x, T) \end{cases}$$

Граничні умови:

$$\begin{cases} X|_{z=0} = X_p; \\ T|_{z=0} = T_p; \end{cases}$$

Де: z – координата об'єму реактора; x – ступінь перетворення; F_p – молярний потік суміші; W – швидкість процесу утворення аміаку; T – температура в шарі каталізатора; $\Delta T_{ад}$ – величина адіабатичного нагріву; T_k – температура суміші

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

на виході з аксіальної частини; X_p - ступінь перетворення на вході в радіальну частину; T_p - температура суміші на вході в радіальну частину;

Аналогічно до розрахунку у аксіальній зоні розраховують величину $\Delta T_{ад}$, проте розрахунок F_p дещо відрізняється.

Формула для розрахунку F_p [2]:

$$F_p = \frac{V_p}{\cos 30^\circ} \cdot \frac{1}{22,4 \cdot V_{кр}} \cdot 0.03;$$
$$V_p = V_0 + V_2;$$

Де: V_p – об’ємна витрата змішаного потоку; $V_{кр}$ – об’єм каталізатора у радіальній частині реактора;

Результати розрахунку радіальної частини приведені на рис 3.2.

Рисунок 3.2 – Результати розрахунку радіальної частини реактора.

Розрахунки проводились безпосередньо у програмному модулі, написаному у середовищі C#, структура та особливості роботи з модулем наведені у наступному підрозділі.

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

3.3 Програмний модуль для розрахунку процесу виробництва аміаку у реакторі аксіально-радіального типу.

Програмний модуль призначений для розрахунку параметрів процесу синтезу аміаку, а саме ступені перетворення x , температури в шарі каталізатора T , та концентрації аміаку в суміші C_{NH_3} .

Модуль має послідовну структуру. Така структура впливає з побудови реактора, який розраховується у якому дві активні зони розташовані одна за одною.

Алгоритм програмного модуля наведено на рисунку 3.3

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Рисунок 3.3, аркуш 1 - Блок схема алгоритму обчислювального модуля

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Рисунок 3.3, аркуш 2

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Як видно із блок-схеми наведеної вище алгоритм програмного модуля передбачає послідовне виконання наступних основних кроків :

- Введення вихідних даних (1);
- Задання граничних умов для розрахунку аксіальної зони (2);
- Обрахунок додаткових параметрів i_{max} та F_0 (3-4);
- Створення масивів для запису результатів розрахунку аксіальної зони (5);
- Цикл розрахунку аксіальної зони (6-11);
- Задання граничних умов для розрахунку радіальної зони (12);
- Обрахунок додаткових параметрів V_p, F_p, X, T (13-14);
- Створення масивів для запису результатів розрахунку радіальної зони (15);
- Цикл розрахунку радіальної зони (16-20);
- Виведення результатів розрахунку у графічній та табличній формі (21-24);

Обчислювальний модуль було розроблено у середовищі Visual Studio на мові C#.

Структура обчислювального модуля наступна:

- Файли форм – MyForm1;
- Файл проекту – WindowsFormsApplication6;

Основні елементи модуля зведено у таблицю 3.1

Таблиця 3.1 – основні елементи програмного модуля

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Продовження таблиці 3.1

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В даному модулі передбачено три процедури – це натискання кнопки «виконати розрахунок», яка виконує процес розрахунку математичних моделей двох частин реактора послідовно із застосуванням метода Рунге-Кутта 4-го порядку. Натискання кнопки очистити поля переводить програму до початкового вигляду, тобто очищує всі поля введення і поля виведення інформації. Натискання кнопки «Ввести оптимальні значення заповнює всі поля введення інформації оптимальними значеннями для даної технологічної схеми.

Далі на рис 3.3 наведено типовий вигляд програми після виконання розрахунку.

Рисунок 3.4 – Вигляд програмного модулю після виконання розрахунку

Даний програмний модуль забезпечує розрахунок основних параметрів процесу синтезу аміаку із задовільною точністю, якщо потрібно підвищити точність, то можна скористатись можливістю зміни кроку інтегрування. Код програмного модулю наведено у додатку Б.

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА АМІАКУ

4.1 Розробка схеми автоматизації

З сучасними темпами розвитку виробництв, та зростанням конкуренції серед підприємств не можна не звернути увагу на автоматизацію, як можливість для поліпшення якості продукції та зменшення його собівартості внаслідок скорочення втрат.

САР –це система, метою якої є підтримання постійних режимів роботи обладнання, тобто збереження таких основних технологічних параметрів як витрата, тиск, температура та рівень у балансі, або зміна цих параметрів за певним законом, якщо цього потребує технологічний процес.

Проте в сучасному світі система автоматичного керування стала не лише опцією, від якої можна відмовитись задля економії. З появою більш складних систем керування, в розпорядженні яких знаходяться сотні, а подекуди й тисячі технологічних параметрів, з'явилися процеси , які просто не можуть бути виконані в ручному режимі, і вони потребують обов'язкової автоматизації.

Процес синтезу аміаку теоретично можна провести без використання засобів автоматизації, як це робили на початку ХХ сторіччя, але таке виробництво буде неконкурентноспроможним на сучасному ринку.

Метою процесу є отримання рідкого аміаку у заданій кількості та заданої якості, для досягнення цього потрібно провести аналіз технологічної схеми.

Під час процесу синтезу аміаку основними параметрами, які впливають на перебіг процесу та на якість продукції можна вважати температуру у активній зоні реактору, температуру у верхній частині реактору (важливо для ініціації синтезу) , та температуру на виходах теплообмінних апаратів (для зрідження аміаку) , також у схемі присутній відцентровий компресор, який розвиває тиск 34,5 МПа, і тому він потребує дуже швидкого управління.

Це основні параметри для яких потрібно створити контури автоматичного управління.

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Також аналіз схеми показав, що у схемі присутні інші апарати, які не є основними, але тим не менш потребують такого управління або контролю.

Наведемо список всіх другорядних контурів:

- регулювання температури аміаку на виході з парового котла;
- регулювання температури азотоводневої суміші на виході з випарника ;
- контроль витрати азотоводневої суміші на вході до реактора;
- контроль витрати аміаку на виході з конденсатора-сепаратора;
- контроль витрати аміаку на виході з теплообмінника з сепаратором;
- контроль витрати азотоводневої суміші на вході до установки;
- контроль витрати аміаку на виході зі збірника;
- контроль і сигналізація тиску у реакторі;
- контроль температури у теплообміннику з сепаратором;
- сигналізація концентрації аміаку у виробничому приміщенні;

Параметри контролю та керування процесом синтезу аміаку наведені у таблиці 4.1

Таблиця 4.1 – параметри контролю та керування процесом

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 4.1

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Згідно з розробленою схемою, та керуючись створеною таблицею підібрані технічні засоби автоматизації, які мають відповідну шкалу вимірювання, необхідний клас точності та достатню швидкодію, якщо цього потребує процес.

4.2 Опис розробленої схеми автоматизації

Схема автоматизації наведена на рисунку 4.1. Схема включає в себе 6 контурів керування, 6 контурів контролю, 1 контур контролю та сигналізації та 1 контур сигналізації небезпечного вмісту аміаку у приміщенні.

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 4.1 - Схема автоматизації процесу синтезу аміаку

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ

Контроль та регулювання температури: в якості пристрою вимірювання температури в реакторі (поз. 8-1, 9-1) обрано термоперетворювач з уніфікованим вихідним сигналом 4...20 мА з захисною гільзою 4.819.016. Цей пристрій призначений для вимірювання температури газів та рідин. Захисна гільза дозволяє пристрою працювати за тиску до 50 МПа. Для регулювання використовується ПІД-регулятор (поз. 8-2, 9-2, 10-2, 11-2, 13-2) з вихідним сигналом 4...20 мА. Виконавчий механізм (поз. 8-3, 9-3) має стандартний вхід 4...20 мА.

В якості пристрою вимірювання температури в трубопроводі після конденсатора-сепаратора, після випарника, та в теплообміннику з сепаратором використано мідний термоперетворювач опору (поз.11-1, 12-1, 13-1). Перетворювач передає сигнал на ПІД – регулятор (поз. 8-2, 9-2, 10-2, 11-2, 13-2), який в свою чергу керує виконавчим механізмом зі стандартним входом 4...20 мА (поз. 10-3, 11-3,12-3).

Контроль витрати: Для контролю витрати азотноводневої суміші та аміаку в якості звужуючих пристроїв використані діафрагми з умовним діаметром 125 мм (поз.1-1, 4-1, 5-1). Перепад тиску, створений діафрагмою вимірюється безшкальним дифманометром (поз.1-2, 4-2, 5-2), сигнал з якого передається на вторинний показувальний і реєструвальний прилад(поз.1-3 , 4-3, 5-3).

Для контролю витрати зрідженого аміаку у трубопроводах після теплообмінних апаратів в якості звужуючих пристроїв використовують діафрагми з умовним діаметром 100 мм (поз. 2-1) та 80 мм (поз. 3-1). Перепад тиску, створений діафрагмою вимірюється безшкальним дифманометром (поз. 2-2, 3-2), сигнал з якого передається на вторинний показувальний і реєструвальний прилад(поз. 2-3, 3-3).

Контроль і регулювання тиску: для виміру тиску у реакторі та в трубопроводі після відцентрового компресора у якості перетворювача використано тензорезистивний прилад зі стандартним вихідним сигналом

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

4...20 мА (поз. 6-1, 7-1). В якості вторинного приладу для контуру контролю тиску у реакторі використано показувально-реєструвальний прилад зі стандартним входом 4...20 мА (поз. 6-2). В якості регулятора тиску у трубопроводі після відцентрового компресора використовується ПІД-регулятор (поз. 7-2), який отримує стандартний сигнал та виробляє регулюючий вплив, що далі переходить до частотного перетворювача (поз. 7-3).

Контроль концентрації: в якості первинного перетворювача використано газоаналізатор повітря робочої зони зі стандартним виходом 4...20 мА (поз. 14-1). Оскільки цей газоаналізатор має максимально допустиму за паспортом довжину кабелю між датчиком та блоком індикації у 1200 м, то необхідність у вторинному перетворювачі відпадає.

Стандартний сигнал з первинного перетворювача направляється на сигналізуючий прилад (поз. 14-2) із лампою (поз. НЛ3).

Розроблена схема дозволяє успішно керувати процесом синтезу аміаку у реакторі аксіально-радіального типу з дотриманням всіх технологічних вимог до продукту.

Також було розроблено щит автоматизації, загальний вигляд якого представлено на рисунку 4.2. Креслення щита було виконано з РМЗ-82-90 На щит винесені всі щитові прилади, регулятори, а також сигнальні лампи.

Щит дозволяє оператору слідкувати за роботою контурів керування, а також контролювати значення тих параметрів, які не потребують регулювання.

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Рисунок 4.2 - Загальний вид щита автоматизації

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ

Арк.

42

На щиті керування, у верхній його частині, під позицією 1 знаходяться пневматичні показуючі прилади марки ФК0072. Ці прилади використовуються для відображення значень витрат у різних технологічних трубопроводах системи. Використано саме пневматичні прилади, оскільки вони спрощують організацію схеми, адже не потребують додаткового перетворення сигналу у електричний.

Для контурів керування витратами у схемі було підібрано прилад марки ТРМ212, який забезпечує регулювання за ПД – законом, та відображення поточного значення регульованої величини на цифровому дисплеї. Даний прилад має стандартний вхід та вихід у 4...20 мА, що спрощує його включення у систему, та забезпечує адекватне регулювання технологічних параметрів процесу.

Для контуру контролю тиску у реакторі окрім показуючого приладу передбачені також сигнальні лапи верхнього та нижнього допустимих тисків. Включення цього контуру у систему здійснено через те, що нормальний робочий тиск у реакторі складає 330 атм, що є потенційно небезпечним значенням, особливо при різкому зростанні або скиданні його.

Також згідно до вимог безпеки на підприємстві передбачено контур сигналізації небезпечного рівня вмісту аміаку у повітрі. Цей контур складається з газоаналізатора ОКА-Т-ННЗ, та сигнальної лампи червоного кольору. Чутливий елемент газоаналізатора встановлено під стелею приміщення, оскільки аміак легший за повітря, і у разі витоку накопичується у верхній частині приміщення.

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5– ОРГАНІЗАЦІЙНІ РОЗРАХУНКИ

Оскільки метою проекту є зокрема автоматизація процесу виробництва аміаку, то задля визначення економічного ефекту від автоматизації потрібно спочатку провести розрахунок техніко-економічних показників виробництва без встановленої системи автоматичного управління.

5.1 Класифікація виробничих процесів підприємства на основні, допоміжні, бічні, підсобні;

Виробничі процеси залежно від відношення до кінцевої продукції поділяються на: основні, допоміжні, побічні, підсобні.

Таблиця 5.1 - Основними процесами виробництва аміаку

Допоміжні процеси – енергозбереження, обслуговування, ремонт технологічного обладнання, підготовчі стадії до виробництва.

Бічні процеси – це процеси по переробленню відходів виробництва, сюди також включають утилізацію тепла.

Підсобні процеси забезпечують існування основних і допоміжних процесів (прибирання, транспортування, складські операції всіх видів тощо);

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.2 Визначення оптимального виду руху предметів праці

Вид руху предметів праці – порядок проходження предмету праці через всі стадії виробничого процесу. Існують такі основні види руху предметів праці, як:

- послідовний;
- паралельний;
- синхронізований;

Послідовний рух предметів праці, це такий рух, під час якого обробка продукції проводиться послідовно на кожній стадії з наступною передачею на чергову стадію цієї партії предметів, що обслуговується.

Для послідовного ВРПП тривалість виробничого циклу рівна:

$$T_{\text{вц}}^{\text{посл}} = n \sum_{i=1}^m t_i$$

де n – кількість виробів за робочий день,

m – кількість операцій

t_i - тривалість операцій

$$n(10 + 15 + 120 + 15 + 15 + 15 + 15 + 15 + 20) \leq (24 \cdot 60)$$

$$n = T_{\text{вц}}^{\text{посл}} / \sum_{i=1}^m t_i = 1440 / 240 = 6$$

Звідси, фактична тривалість виробничого циклу при послідовному ВРПП буде рівна:

$$T_{\text{вц}}^{\text{посл}} = 6(10 + 15 + 120 + 15 + 15 + 15 + 15 + 15 + 20) = 1440 \text{ хв}$$

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Отже, при послідовному ВРПП підприємство за 1440 хвилин зможе виготовити 6 партії продукції, використовуючи 1 лінію обладнання при 2 операторах на лінію. Робочий час використовується нераціонально.

Рисунок 5.1 – Послідовий рух предметів праці

Паралельний рух предметів праці використовується безпосередньо в безперервних процесах при масовому виробництві продукції. Продукція передається з попередньої на наступну операцію, не очікуючи закінчення обробки всієї партії. Для паралельного ВРПП тривалість виробничого циклу рівна:

$$T_{\text{вц}}^{\text{пар}} = \sum_{i=1}^m t_i + (n - 1)t_{\text{max}}$$

де t_{max} – тривалість найдовшої операції

$$(10 + 15 + 120 + 15 + 15 + 15 + 15 + 15 + 20) + (n - 1) \cdot 120 \leq (24 \cdot 60)$$

$$n = \left(T_{\text{вц}}^{\text{пар}} - \sum_{i=1}^m t_i \right) / t_{\text{max}} + 1 = \frac{[1440 - 240]}{120} + 1 = 11$$

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Звідси, фактична тривалість виробничого циклу при паралельному ВРПП буде рівна:

$$T_{\text{вц}}^{\text{пар}} = (10 + 15 + 120 + 15 + 15 + 15 + 15 + 15 + 20) + (11 - 1)120 = 1440 \text{ хв}$$

Отже, при паралельному ВРПП підприємство за 1440 хвилин зможе виготовити 11 партії, використовуючи 2 лінії обладнання та 4 оператора лінії.

Рисунок 5.2 – Паралельний рух предметів праці

Синхронізований рух. В цьому випадку вироби передаються з однієї стадії на іншу за певним законом.

Для синхронізованого ВРПП тривалість виробничого циклу рівна:

$$T_{\text{вц}}^{\text{синх}} = \sum_{i=1}^m t_i + (n - 1)R$$

де R – ритм (в нашому випадку він рівний тривалості найменшої операції і дорівнює 10хв)

$$(10 + 15 + 120 + 15 + 15 + 15 + 15 + 15 + 20) + (n - 1) \cdot 10 \leq (24 \cdot 60)$$

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

$$n = \left(T_{\text{вц}}^{\text{синхр}} - \sum_{i=1}^m t_i \right) / R + 1 = \frac{[1440 - 240]}{10} + 1 = 121$$

Звідси, фактична тривалість виробничого циклу при синхронізованому ВРПП буде рівна:

$$T_{\text{вц}}^{\text{сх}} = (110 + 15 + 120 + 15 + 15 + 15 + 15 + 15 + 20) + (121 - 1)10 = 1440 \text{ хв}$$

Отже, при синхронізованому ВРПП підприємство за 1440 хвилин зможе виготовити 121 партію продукції, використовуючи 24 ліній обладнання, при чисельності персоналу 48 робітників.

Рисунок 5.3 – Синхронізований рух предметів праці

Висновки: Для виробництва аміаку буде обрано послідовний рух предметів праці, оскільки він здатний забезпечити оптимальне співвідношення між кількістю продукції та чисельністю персоналу і обладнання для такого підприємства.

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

5.3 Визначення середньорічної тривалості виробничого циклу, річного випуску продукції при обраному ВРПП

Керуючись обраною схемою руху предметів праці, визначимо:

1) тривалість виробничого процесу:

$$T_{\text{вц}}^{\text{факт}} = B \cdot \sum_{i=1}^m t_i = 6 \cdot 240 = 1440 \text{ хв} = 24 \text{ год}$$

2) середньорічну тривалість виробничого циклу для даного процесу за формулою:

$$T_{\text{вц}}^{\text{ср}} = \frac{T_p}{T_p^{\text{підпр}}} \cdot T_{\text{вц}}^{\text{факт}} = \frac{365 \cdot 24}{354 \cdot 24} \cdot 24 = 24,74 \text{ год} \approx 1484,7 \text{ хв}$$

оскільки в році 354 робочих днів, підприємство працює 7 днів на тиждень по 24 години в день, та в році 11 святкових днів:

$$T_p^{\text{підпр}} = 365 - 11 = 354$$

3) випуск продукції за рік (за умови, що кожна партія складається з 100000 кг. аміаку):

$$B_p = \frac{T_p^{\text{підпр}}}{T_{\text{вц}}^{\text{факт}}} \cdot m = \frac{354 \cdot 24}{24} \cdot 6 \cdot 100000 = 212\,400\,000 \text{ кг.}$$

5.4 Розрахунок кількості одиниць обладнання (основні фонди), кількості працюючих (явочну та за списком), графік роботи підприємства (графік змінності)

Таблиця 5.2 – Основні фонди підприємства

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.5 Чисельність персоналу: явочна і за списком.

Рисунок 5.4 – організаційна структура денного персоналу

Явочна чисельність – максимально допустима чисельність працівників, необхідна для виконання відповідного об'єму робіт та для повної комплектації робочих місць у кожному структурному підрозділі підприємства, протягом робочої зміни.

Явочна чисельність денного персоналу становить 8 осіб:

- директор;

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

- головний технолог;
- бухгалтер;
- 2 прибиральники;
- менеджер з продаж;
- водій;
- експедитор.

Директор,, бухгалтер, менеджер з продажу, водій, експедитор приходять кожного дня з 8:00 до 17:00 з понеділка по п'ятницю (включно).

Прибиральники виходять кожного дня у раніше встановлений директором час, для прибирання приміщень цеху.

Явочна чисельність для змінного персоналу, що працює у першу, другу та третю зміни становить по 6 осіб у 4 бригадах, (всього 24 особи) :

- технолог;
- аналітик (відповідає за контроль якості);
- 2 оператори;
- 2 робітники складу.

Чисельність за списком – потреба підприємства в кадрах. Крім явочної чисельності включає додатково необхідну для заміщення тих, хто у відпустці, хворіють або відсутні з інших поважних причин;

$$Ч_{сп} = Ч_{яв} \cdot K_{пер}$$

$$K_{пер} = \frac{T_{річ}}{T_{прац}}$$

$T_{річ}$ – річний час роботи підприємства в годинах;

$T_{прац}$ – річний час роботи працівника з урахуванням вихідних, святкових, відпусток.

Оскільки, персонал на підприємстві працює в 3 зміни є необхідність у використанні 4 бригад.

$$T_{прац} = \frac{365 - 11}{7} \cdot 40 - (8 - 1) \cdot 1 = 2015 \text{ год}$$

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

$$T_{\text{рік}} = 354 \cdot 24 = 8496 \text{ год}$$

$$K_{\text{пер}} = \frac{T_{\text{річ}}}{T_{\text{прац}}} = \frac{8496}{2015} = 4,21$$

$$\chi_{\text{сп}}^{\text{зм}} = \chi_{\text{яв}} \cdot K_{\text{пер}} = 6 \cdot 4,21 = 24 \text{ осіб}$$

Фактичний час роботи працівника складе:

$$T_{\text{прац}}^{\text{факт}} = \frac{8496}{4} = 2124 \text{ год}$$

Отже кінцеву чисельність за списком визначимо як суму чисельності за списком змінного персоналу та денного персоналу.

$$\chi_{\text{сп}} = \chi_{\text{сп}}^{\text{зм}} + \chi_{\text{сп}}^{\text{ден}} = 24 + 8 = 32 \text{ осіб}$$

Графік роботи підприємства. Підприємство працює 7 днів на тиждень з 00.00 до 24.00 у 3 зміни по 8 годин без вихідний.

Графік змінності:

1 зміна (00:01-8:00) : Головний технолог, 2 оператори, аналітик, 2 робітники складу;

2 зміна (8:01-16:00) : Головний технолог, 2 оператори, аналітик, 2 робітники складу;

3 зміна (16:01-24:00): Головний технолог, 2 оператори, аналітик, 2 робітники складу;

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.3 – Графік змінності

5.6 Визначення порядку технічного контролю на виробництві: об'єкти, суб'єкти, види і методи контролю, виконавці

Технічний контроль проводиться головним технологом, а за його відсутності – технологом . Контроль сировини та готової продукції проводиться аналітиком.

Об'єкт контролю – технологічний процес, сировина, готова продукція.

Суб'єкти - головний технолог, технолог, аналітик.

Готова продукція повинна відповідати і контролюватися відповідно ГОСТ 6221-90. Контроль виконується аналітиками з відділу контролю та якості.

Підприємство має сертифікат ISO 9001.

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.7 Розрахунок оборотних засобів підприємства

Таблиця 5.4 - Заробітна плата

Розрахуємо ФОП

$$\text{ФОП} = \text{ЗП} \cdot K_{\text{нарах}} = 3\,618\,000 \cdot 1,22 = 4\,414\,000 \text{ грн}$$

Таблиця 5.5 - Оборотні засоби підприємства

Вартість ремонтних робіт складає 500 000 грн/рік.

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.6- Калькуляція на випуск продукції

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.8 Розрахунок техніко-економічних показників

Підприємство виготовляє 212 400 000 кг аміаку на рік.

$$B = 212\,400\,000 \text{ кг.}$$

Нехай запланована ринкова ціна за метр готової продукції $C = 4,3$ грн/кг.

Тоді сума за реалізовану продукцію за рік:

$$B_{\text{вир}} = B \cdot C = 212\,400\,000 \cdot 4,3 = 913\,320\,000 \text{ грн.}$$

Прибуток становить:

$$\Pi = B_{\text{вир}} - C = 913\,320\,000 - 800\,393\,250 = 112\,926\,750 \text{ грн.}$$

Прибуток на одиницю продукції:

$$\Pi_{\text{од}} = \frac{\Pi}{B} = \frac{112\,926\,750}{212\,400\,000} = 0,53 \text{ грн/кг}$$

Рентабельність:

$$P = \frac{\Pi}{C} \cdot 100 = \frac{112\,926\,750}{800\,393\,250} \cdot 100 = 14,1 \%$$

Капіталовкладення:

$$K = O\Phi + O\text{б}\Phi = 4\,050\,000 + 800\,393\,250 = 804\,443\,250 \text{ грн.}$$

Термін повернення капіталовкладень:

$$T_{\text{пов}} = \frac{K}{\Pi} = \frac{804\,443\,250}{112\,926\,750} = 7,12 \text{ років}$$

Економічна ефективність:

$$E = \frac{\Pi}{K} = \frac{112\,926\,750}{804\,443\,250} = 0,14$$

Фондовіддача:

$$\Phi B = \frac{B_{\text{вир}}}{O\Phi} = \frac{913\,320\,000}{4\,050\,000} = 225,5$$

Фондоємність:

$$\Phi C = \frac{1}{\Phi B} = \frac{1}{225,5} = 0,0044$$

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

5.9 Розрахунок економічної ефективності проведення автоматизації

Проведемо матеріальну та організаційно-економічну підготовку підприємства ще раз, але з урахуванням встановлення системи автоматичного управління, розробленої в цьому дипломному проєкті.

До основних засобів буде додано декілька пунктів, а саме : польове обладнання автоматизації, шафа з контролерами та щит управління оператора, а також витрати на розробку системи (нематеріальні активи).

Таблиця 5.7 – Додаткові основні фонди (засоби автоматизації)

Отже, додавши значення цих витрат до розрахованих раніше значень основних фондів та амортизації отримаємо:

Вартість основних фондів з урахуванням автоматизації:

$$OF = 4\,050\,000 + 1\,150\,000 = 5\,200\,000 \text{ грн}$$

Амортизація з урахуванням автоматизації:

$$A = 178\,800 + 112\,500 = 291\,300 \text{ грн}$$

Чисельність персоналу: явочна і за списком

Явочна чисельність за умови автоматизації виробництва зміниться, оскільки відпадає необхідність у другому операторі у зміні та необхідність у другому робітнику складу.

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

Отже чисельність зміни скоротиться з 6 до 4 робітників, а чисельність денного персоналу збільшиться на 1 людину(інженер автоматизації) і відповідно явочна чисельність скоротиться з 32 осіб до 25 осіб.

Чисельність за списком складатиме :

$$Ч_{сп} = Ч_{сп}^{зм} + Ч_{сп}^{ден} = 16 + 9 = 25 \text{ осіб}$$

Коефіцієнт перерахування залишається таким самим, оскільки режим роботи підприємства не змінився.

Розрахунок оборотних фондів на підприємстві

Оборотні фонди також зазнають змін у зв'язку з автоматизацією, оскільки зміниться чисельність персоналу і, відповідно, ФОП, а також зміниться потреба підприємства у сировині за рахунок зменшення меж якості та за рахунок використання більш ефективного автоматичного рециркуляції непрореагованих газів. Потреба у сировині скоротиться приблизно на 5%.

Таблиця 5.8 - Заробітна плата з урахуванням автоматизації

Розрахуємо ФОП з урахуванням змін у складі персоналу

$$ФОП = ЗП \cdot K_{нарах} = 2\,901\,000 \cdot 1,22 = 3\,539\,000 \text{ грн}$$

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Таблиця 5.9 - Оборотні засоби автоматизованого підприємства

Таблиця 5.10 - Калькуляція на випуск продукції з урахуванням автоматизації

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок техніко-економічних показників з урахуванням автоматизації.

Підприємство виготовляє 212 400 000 кг аміаку на рік.

$$B = 212\,400\,000 \text{ кг.}$$

Нехай запланована ринкова ціна за метр готової продукції $C = 4,3$ грн/кг.

Тоді сума за реалізовану продукцію за рік:

$$B_{\text{вир}} = B \cdot C = 212\,400\,000 \cdot 4,3 = 913\,320\,000 \text{ грн.}$$

Прибуток становить:

$$\Pi = B_{\text{вир}} - C = 913\,320\,000 - 761\,975\,150 = 151\,344\,850 \text{ грн.}$$

Прибуток на одиницю продукції:

$$\Pi_{\text{од}} = \frac{\Pi}{B} = \frac{151\,344\,850}{212\,400\,000} = 0,71 \text{ грн/кг}$$

Рентабельність:

$$P = \frac{\Pi}{C} \cdot 100 = \frac{151\,344\,850}{761\,975\,150} \cdot 100 = 19,9 \%$$

Капіталовкладення:

$$K = O\Phi + O\phi\Phi = 5\,200\,000 + 761\,193\,150 = 767\,175\,150 \text{ грн.}$$

Термін повернення капіталовкладень:

$$T_{\text{пов}} = \frac{K}{\Pi} = \frac{767\,175\,150}{151\,344\,850} = 5,07 \text{ років}$$

Економічна ефективність:

$$E = \frac{\Pi}{K} = \frac{151\,344\,850}{767\,175\,150} = 0,197$$

Фондовіддача:

$$\Phi B = \frac{B_{\text{вир}}}{O\Phi} = \frac{913\,320\,000}{5\,200\,000} = 175,6$$

Фондоємність:

$$\Phi\epsilon = \frac{1}{\Phi B} = \frac{1}{175,6} = 0,0057$$

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

Таблиця 5.11 - Порівняння техніко-економічних показників

З наведеної вище таблиці можна зробити висновок, що автоматизоване виробництво, у ядрі якого закладено модель процесу, що була розроблена у даному проекті, є значно ефективнішим з економічної точки зору. Період повернення капіталовкладень скорочується з 7,12 до 5,07 років, прибуток також збільшується на 35 %.

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6 ОХОРОНА ПРАЦІ

При виробництві рідкого аміаку використовуються наступні види сировини: азот та водень у газоподібному стані, каталізатор, вода. Використовується значна кількість електропристроїв, теплових агрегатів, що працюють під високим тиском, експлуатуються трубопроводи та газопроводи високого тиску. При цьому на виробництві знаходяться шкідливі, пожежо- і вибухонебезпечні речовини, використовується електрична та теплова енергія.

Даний розділ проекту направлений на аналіз та виявлення шкідливих та небезпечних факторів виробництва рідкого аміаку, та розробку заходів, що здатні усунути або значно зменшити вплив цих факторів на умови праці, та безпеку людей, що знаходяться на виробництві.

6.1 Виявлення і аналіз шкідливих і небезпечних факторів на об'єкті, що проектується. Заходи з охорони праці.

6.1.1 Повітря робочої зони

У проектуваному цеху, згідно ДСН 3.3.6.042-99, робота відноситься до категорії середньої важкості (IIa). Температура внутрішніх поверхонь робочої зони (стіни, підлога, стеля), технологічного устаткування, навантажених поверхонь технологічного устаткування, захисних конструкцій не виходить за межі оптимальних значень температури повітря для даної категорії робіт.

Оптимальні показники повинні бути дотримані у всій робочій зоні. В таблиці 6.1 представлені санітарні норми значень параметрів мікроклімату цеху, та очікувані проектні значення цих параметрів.

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

Таблиця 6.1 – Значення параметрів мікроклімату цеху

Вимірювання значень температури і відносної вологості повітря виконується гігрометром типу ВІТ-1. Вимірювання швидкості руху повітря виконується за допомогою анемометрів.

Установка синтезу аміаку, що є основною технологічною системою цеху, включає в себе каскад теплообмінних апаратів, що забезпечують охолодження аміаку, що відводиться від реактору синтезу. Через це задля підтримання оптимальної температури у робочій зоні потрібно встановити додаткові засоби терморегуляції приміщення.

Коротка санітарно технічна характеристика цеху наведена у таблиці 6.2.

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 6.2 – Коротка санітарна характеристика цеху

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

6.1.2 Виробниче освітлення

Освітлення регламентується нормами ДБН В.2.5-28-06. Для забезпечення необхідного рівня освітлення природних джерел освітлення недостатньо, тому є необхідність у штучних джерелах.

За ДБН В.2.5-28-06, роботи в цеху за зоровими умовами відносяться до розряду IVг. Природне освітлення бокове двохстороннє. Штучне освітлення в цеху здійснюється за допомогою газорозрядних ламп низького тиску (люмінесцентні типу ЛБ-40).

Таблиця 6.3 – Норми значень освітленості

Проектом передбачені системи освітлення з різним функціональним призначенням: робоче, аварійне, евакуаційне, ремонтне, охоронне. При втраті основного робочого освітлення передбачено систему аварійного освітлення.

Розрахунок штучного освітлення проведемо для кімнати площею 40 м², ширина А якої складає 8м, довжина В – 5м, висота – 3м. Скористаємося методом використання світлового потоку.

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Для визначення потрібної кількості світильників, які повинні забезпечити нормований рівень освітленості, визначимо світловий потік, що падає на робочу поверхню за формулою :

$$F = \frac{E \cdot K \cdot S \cdot Z}{\eta}$$

де F – світловий потік, Лм;

E – нормована мінімальна освітленість, Лк; $E = 200$ Лк

S – площа освітлюваного приміщення;

$K = 1,5$ – коефіцієнт запасу;

η – коефіцієнт використання світлового потоку.

Обчислюємо індекс приміщення:

$$I = \frac{S}{h_p(A + B)} = \frac{40}{1 \cdot (8 + 5)} = 3,07$$

де h_p – розрахункова висота підвісу.

Знаючи індекс приміщення I знаходимо значення $\eta = 0,5$. Підставимо всі значення світлового потоку:

$$F = \frac{200 \cdot 1,5 \cdot 40 \cdot 1,1}{0,5} = 26\,400 \text{ Лм}$$

Для освітлення приміщення в якості джерела світла обираємо світильники типу ПВЛ-6 напругою 220 В з люмінесцентними лампами білого кольору ЛБ-40. Даний світильник пилонепроникний, та встановлена в ньому лампа забезпечить світловий потік одного світильника в 3120 Лм.

Розрахуємо необхідну кількість ламп у вибраних світильниках, за формулою:

$$N = \frac{F}{F_{\text{л}}} = \frac{26\,400}{3\,120} = 9$$

В приміщенні потрібно встановити 9 світильників ПВЛ-6 з лампами ЛБ-40 для забезпечення нормального рівня освітленості для роботи оператора.

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		66

6.1.3 Виробничий шум і вібрації

У виробничому приміщенні джерелами шуму можуть стати технологічні трубопроводи, оскільки тиск в них перевищує 30 МПа, клапани скидання тиску, а також двигун відцентрового компресора, що має забезпечувати тиск у системі.

Згідно ДСН 3.3.6.0.37-99, допустимий рівень звуку в цеху складає 80 дБА. Очікуваний рівень шуму у цеху - 76 дБА. При значному перевищенні норми повинні бути використані засоби індивідуального захисту слуху: беруші та навушники.

Оскільки очікуваний рівень шуму має значення досить близьке до допустимого, то потрібно організувати періодичні заміри рівня шуму у цеху. Заміри проводяться за допомогою шумомірів фірм benetech або testo.

6.1.4 Електробезпека

Цех, що проектується, відноситься до класу приміщень з особливою електричною небезпекою для людей, оскільки в цеху струмопровідна залізобетонна підлога, і напруга електричній мережі ~ 380/220 В, 50 Гц.

Причинами ураження людей струмом можуть стати:

– напруга на конструктивних частинах виробничого устаткування в результаті: пошкодження ізоляції проводок частин; замикання фази електромережі; контакт людини з неізольованим дротом.

– виникнення напруги кроку на ділянці землі, де знаходиться людина.

Живлення обладнання забезпечується трифазною чотирьохпровідною мережею змінного струму з глухозаземленою нейтраллю.

Згідно ГОСТ 12.1.038-82, допустимі рівні напруг дотику (U_d) і струму (I_d): при нормальному режимі роботи електрообладнання $U_d=2$ В, $I_d=0,3$ мА.

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		67

Проведемо розрахунок цих величин для нормального режиму роботи при випадковому дотику персоналу до неізольованої частини обладнання, що опинилася під напругою стандартної для виробництва електромережі.

$$I_{л} = \frac{I_{\phi} \times 10^3}{R_{л} + R_{o}}$$

$$I_{л} = \frac{220 \cdot 10^3}{2000 + 4} = 110 \text{ mA}$$

$$U_{\partial} = I_{л} \times R_{л}$$

$$U_{\partial} = 0.11 \times 2000 = 220 \text{ V}$$

При порівнянні отриманих розрахункових значень із допустимими можемо бачити, що такий контакт робітника з електричною мережею може призвести до тяжких електричних травм. Тому на підприємстві всі дроти та металеві частини обладнання повинні бути ізольовані та заземлені. Ізоляція повинна мати опір вище 0.5 МОм.

Також потрібно передбачити системи аварійного відключення електродвигунів та електронагрівачів від мережі.

6.1.5 Безпека технологічних процесів та обслуговування обладнання

В даному виробництві використовується велика кількість потенційно небезпечних одиниць обладнання, а саме: реактор аксіально-радіального типу, парогенератор, теплообмінники, збірники для рідкого аміаку, а також власне технологічні трубопроводи високого тиску.

Також велику небезпеку несе двигун відцентрового компресора, адже він повинен забезпечувати тиск понад 30 МПа, і тому має досить високу потужність.

В нормальному режимі роботи робітники не повинні знаходитись у контакті з цими небезпечними одиницями обладнання. Проте передбачене також поточне обслуговування обладнання. Саме при проведенні поточного обслуговування робітники вступають в контакт з обладнанням, і як наслідок опиняються у потенційно небезпечній ситуації.

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		68

Варто врахувати, що металеві частини обладнання мають значну теплоємність і можуть бути небезпечними навіть після вимкнення обладнання, тому всі частини, що гріються теплоізовані, або, якщо це неможливо, через технологічні особливості, мають спеціальні позначки, що попереджають про небезпеку.

Особливої уваги до себе потребує реактор аксіально-радіального типу. Цей апарат має значну висоту, і для його обслуговування потрібно підійматися на його верхівку, тим самим наражаючи себе на небезпеку. Реактор оснащений спеціальним містком, що закріплений згори та збоку від його кришки, з якого робітник може отримати доступ до всіх необхідних з'єднань трубопроводів з кришкою та до місць встановлення датчиків. Проте падіння з містка для обслуговування може призвести до тяжких травм, тому місток оснащений поручнем та ворітцями, що закриваються.

Також джерелом потенційної небезпеки є технологічні трубопроводи високого тиску. Якщо перед проведенням обслуговування з якоїсь причини не було скинуто тиск у трубопроводі(відмова клапану скидання тиску, необачність оператора), то при роботі з трубопроводом робітник може отримати травму внаслідок раптового вивільнення тиску. Для запобігання такої ситуації на всіх важливих вузлах та під'єднаннях трубопроводів до апаратів встановлені місцеві аналогові показуючі манометри.

6.2 Пожежна безпека

Температури на даному виробництві варіюються від 0 С до 520 С, тому засоби пожежної безпеки потребують до себе особливої уваги.

До потенційних джерел займання на даному виробництві можна віднести сильно нагріті металеві частини апаратів, іскри з електродвигунів, місця скидання тиску з технологічних трубопроводів, статична напруга.

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		69

Для забезпечення пожежної безпеки було прийнято ряд заходів, а саме:

- Будівельні матеріали та технології будівництва були підібрані таким чином, щоб забезпечити необхідну міцність несучих конструкційних елементів як у нормальному режимі роботи так і при виникненні пожежі. Межа вогнестійкості елементів встановлена в 1 годину.
- Приміщення обладнане блискавковідводом та відноситься до III-ї категорії за захистом від блискавки.
- У приміщенні цеху передбачено 3 виходи на випадок пожежі.
- Всі апарати установки та елементи управління заземлені для запобігання появи статичного струму.
- Під стелею цеху встановлено газоаналізатор на випадок витіку азотноводневої суміші, і як наслідок накопичення водню у повітрі. Передбачена вентиляція приміщення для зменшення концентрації водню.
- Передбачено протипожежний трубопровід з декількома гідрантами на території цеху.
- Передбачена необхідна кількість вогнегасників різних типів.
- Зовні будівлі змонтована пожежні сходи.
- Для сповіщення про пожежу передбачено звукову сигналізацію.
- Для аварійного зв'язку передбачені гучномовець та переносні радіостанції короткого радіусу дії.

Для гасіння виниклої пожежі використовується внутрішній протипожежний водопровід. Гідранти розташовані на висоті 1.35 метрів від підлог. Типи вогнегасників, що використовуються у цеху: вуглекислотний ОУ-5 та порошковий ОПС-6. В якості засобу для запобігання виникнення пожеж, на електропроводах мається ізоляція. Також на території цеху розміщено декілька стендів з планом евакуації та періодично проводиться інструктаж з техніки безпеки.

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		70

В процесі синтезу аміаку використовуються пожежо- і вибухонебезпечні речовини. Таблиця цих речовин наведена нижче.

Таблиця 6.4 – Показники пожежо- і вибухонебезпеки речовин і матеріалів

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

ВИСНОВКИ

В ході виконання дипломного проекту було розроблено програмний модуль для розрахунку параметрів процесу виробництва аміаку у реакторі аксіально-радіального типу. Попередньо було досліджено матеріальні баланси схеми за допомогою програми ChemCAD 7. За результатами розрахунку матеріальні баланси збіглися, що дало попереднє уявлення про обрані показники роботи установки.

Була розроблена схема автоматизації процесу виробництва аміаку у реакторі аксіально-радіального типу. Схема включила в себе 6 контурів регулювання, 6 контурів контролю, та 1 контур сигналізації та контролю, та 1 контур сигналізації небезпечного рівня концентрації азоту у приміщенні.

Було проведено розрахунок техніко-економічних показників виробництва, та було чисельно оцінено доцільність проведення автоматизації на підприємстві. Автоматизація підприємства дозволила скоротити чисельність персоналу з 32 до 25 осіб, та скоротити термін повернення капіталовкладень з 7 до 5 років.

Було проведено аналіз небезпечності виробництва, та розроблено засоби щодо зменшення ризиків аварійних ситуацій, та зменшення наслідків цих аварій. Також розраховане виробниче освітлення, що повинно забезпечити комфорт працівникам виробництва.

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		72

Список використаних джерел

1. Бойко Т. В., Бендюг В. І., Потяженко І. О. Математичне моделювання та застосування ЕОМ в хімічній технології. К.: НТУУ «КПІ», 2007. 128с.
2. Статюха Г. О., Бугаева Л. М., Безносик Ю. О. Системний аналіз хіміко-технологічних комплексів. К.: НТУУ «КПІ», 2014. 132с.
3. Царева З. М., Товажнянский Л. Л., Орлова О. І. Основы теории химических реакторов. М.: Высшая школа, 1997. 621с.
4. Справочник азотчика: физико-химические свойства газов и жидкостей. Производство технологических газов. Синтез аммиака. – 2-е изд., перераб. М.: Химия, 1986. 512с.
5. Ганз. С. Н. Теоретические основы и технология синтеза аммиака. К.:Вища школа, 1996. 259с.
6. Полоцкий Л. М., Лапшенков Г. И. Автоматизация химических производств. Теория, расчет и проектирование систем автоматизации. М.:Химия, 1982. 296 с.
7. 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.
8. Технічні характеристики ФК0072. URL: <https://electro.mashinform.ru/pribory-dlya-izmereniya-i-regulirovaniya-temperature.html>. (дата звернення 18.05.2019).
9. Організація контролю якості. URL: http://pidruchniki.com/15890315/ekonomika/organizatsiya_kontrolyu_ya_kosti_produktsiyi (дата звернення 10.03.2019).

					ДП ХА 5102 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		73