

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Хіміко-технологічний факультет
Кафедра технології неорганічних речовин та загальної хімічної технології

До захисту допущено

В.о. завідувача кафедри

(підпис) **Н.М. Толстопалова**
(ініціали, прізвище)

“ ” _____ 20__ р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

з напрямку підготовки **6.051301 – Хімічна технологія**
(код і назва)

на тему: Відділення конверсії аміаку виробництва нітратної кислоти

Виконав: студент 4 курсу, групи ХН-32

Бондарчук Катерина Віталіївна
(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник доц., к.т.н. Концевой А.Л.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант:

з автоматичного регулювання
(назва розділу)

ст. викл. Лукінюк М.В.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

(підпис)

з економіко-організаційних рішень

(назва розділу)

доц., к.т.н. Підлісна О.А.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

(підпис)

з охорони праці

(назва розділу)

доц., к.т.н. Полукаров Ю.О.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент:

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2017 року
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»

Факультет хіміко-технологічний
(повна назва)

Кафедра технології неорганічних речовин та загальної хімічної технології
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Напрямок підготовки 6.051301 – Хімічна технологія
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

_____ Н.М. Толстопалова
(підпис) (ініціали, прізвище)

« ____ » _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проект студенту
Бондарчук Катерині Віталіївні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту: Відділення конверсії аміаку виробництва нітратної кислоти,
керівник проекту: доц., к.т.н. Концевой А.Л.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « ____ » _____ 20__ р. № _____

2. Термін подання студентом проекту _____

3. Вихідні дані до проекту: продуктивність схеми за 100%-ю кислотою 15 т/год,
вміст NH_3 в суміші, яка надходить на конверсію – 10, 57 %

4. Зміст пояснювальної записки: Обґрунтування та вибір способу і технологічної схеми виробництва. Характеристика продукції, сировини, допоміжних матеріалів, енергетичних носіїв. Характеристика і обґрунтування прийнятого методу виробництва. Хімізм та теоретичні основи. Опис технологічної схеми. Витратні коефіцієнти з сировини, напівпродуктів, допоміжних матеріалів та енергетичних носіїв. Автоматичне регулювання та контроль виробництва. Економіко-організаційні розрахунки. Охорона праці. Екологічна безпечність виробництва.

5. Перелік графічного матеріалу: технологічна схема цеху, схема дистанційного контролю та автоматичного регулювання технологічних параметрів, креслення загального вигляду головного апарата, плакат результатів розрахунку економіко-організаційної частини.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
7	ст. викл. Лукінюк М.В.		
8	доц. Підлісна О.А.		
9	доц. Полукаров Ю.О.		

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Обґрунтування та вибір способу і технологічної схеми виробництва. Описання технологічної схеми виробництва. Креслення технологічної схеми на форматі А4.	10 березня	
2	Характеристика продукції, сировини, допоміжних матеріалів, енергетичних носіїв. Характеристика прийнятого методу виробництва. Хімізм та теоретичні основи і обґрунтування норм технологічних режимів.	15 травня 20 березня	
3	Визначення витратних коефіцієнтів з сировини, напівпродуктів, допоміжних матеріалів та енергетичних носіїв: розрахунок матеріального балансу виробництва; розрахунок теплового балансу виробництва; розрахунок витратних коефіцієнтів; багатоваріантні технологічні розрахунки.	26 березня 31 березня 02 квітня 12 квітня	
4	Комп'ютерний набір технологічної частини пояснювальної записки.	16 квітня	
5	Характеристика технологічного обладнання: розрахунок та вибір основних реакторів; розрахунок і вибір допоміжного технологічного обладнання.	22 квітня 29 квітня	
6	Автоматичний контроль та керування виробництвом	15 травня	
7	Економіко-організаційні розрахунки	21 травня	
8	Екологічна безпека виробництва	25 травня	
9	Охорона праці виробничого процесу	31 травня	
10	Оформлення пояснювальної записки, виконання креслень та ілюстративних плакатів	15 червня	
11	Попередній захист	18 червня	

Студент

(підпис)

Бондарчук К.В.
(ініціали, прізвище)

Керівник проекту

(підпис)

Концевой А.Л.
(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка 123 с., 10 рис., 27 табл., 1 додаток, 11 посилань.

Розроблено проект процесу конверсії аміаку цеха виробництва нітратної кислоти. Вибрано вихідну сировину, допоміжні матеріали та напівпродукти у відповідності з діючими стандартами та технічними умовами.

Обґрунтовано вибір технологічних режимів та рішень, приведена технологічна схема процесу та її опис. З використанням ЕОМ розраховано матеріальний та тепловий баланс процесу. Розраховано контактний апарат і вибрано основне і допоміжне обладнання у відповідності з заданою потужністю виробництва. В проекті обґрунтовано встановлення теплообмінника в окиснювачі для підігріву повітря перед контактним апаратом. Розроблено схему автоматичного регулювання параметрів режиму і контролю якості готової продукції, приведено характеристику газових, рідких та твердих відходів і технічні рішення з охорони довкілля. Розраховано економічні показники відділення, виконано аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів і рекомендовані шляхи рішення питань охорони праці і запропоновані засоби безпечної експлуатації технологічного обладнання.

КОНВЕРСІЯ, АМІАК, ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА, МАТЕРІАЛЬНИЙ БАЛАНС, ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС, КОНТАКТНИЙ АПАРАТ, ОКИСНЮВАЧ, ЗАХИСТ ДОВКІЛЛЯ, ОХОРОНА ПРАЦІ.

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ABSTRACT

Explanatory note: 123 p., 10 figures, 27 tables, 5 applications, 11 references.

A project of the ammonia converting process was designed for synthesis of nitric acid department. The original raw materials, auxiliary materials and products in accordance with the applicable standards and specifications joined.

The choice of the process conditions and the decisions grounded the technological scheme and its description shown. The material and heat balance of the process with the use of computers calculated. The contact apparatus, main and auxiliary equipment in accordance with the given power output selected. The installing of the heat exchanger to heat the air before contact apparatus in oxidizer justified in the project. The scheme of automatic control mode setting and quality control of finished products, given the characteristics of the gas developed, liquid and solid waste management, and technical solutions for the protection of the environment submitted. The economic indicators of department calculated, the analysis of harmful and hazardous working environments developed, ways to deal with safety and provides a means of safe operation of process equipment recommended.

CONVERSIO, AMMONIA, PRODUCTION TECHNOLOGY, MATERIAL BALANCE, HEAT BALANCE, CONTACT APPARATUS, OXIDIZER, ENVIRONMENTAL PROTECTION, SAFETY

					XH3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ.....	7
1 Обґрунтування та вибір способу виробництва	8
2 Характеристика продукції, сировини, допоміжних матеріалів, енергетичних носіїв.....	15
3 Фізико – хімічні основи конверсії аміаку	18
4 Опис технологічної схеми виробництва	25
5 Визначення витратних коефіцієнтів з сировини, напівпродуктів, допоміжних матеріалів та енергетичних носіїв	29
5.1 Розрахунок матеріального балансу виробництва	29
5.2 Розрахунок теплового балансу виробництва.....	36
6 Розрахунок технологічного обладнання	43
6.1 Розрахунок та вибір технологічного реактора	44
6.2 Розрахунок та вибір основного технологічного обладнання.....	50
7 Автоматичне регулювання та контроль виробництва.....	86
7.1 Аналіз технологічного процесу як об'єкта автоматизації та обґрунтування задач автоматизації.....	86
7.2 Опис розробленої схеми автоматизації.....	91
8 Економіко – організаційні розрахунки	94
8.1 Технологічна підготовка виробництва.....	95
8.2 Калькуляція на вид продукції.	100
9 Охорона праці	107
9.1 Виявлення та аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів на проектуваному об'єкті. Заходи з охорони праці	107
9.2 Пожежна безпека.....	114
10 Екологічна безпека виробництва.....	117
Висновки.....	122
Перелік посилань.....	123

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Нітратна кислота належить до найважливіших мінеральних кислот. За обсягом виробництва в Україні вона займає перше місце.

Всезростаючий обсяг виробництва HNO_3 пояснюється величезним значенням нітратної кислоти і її солей для народного господарства.

Нітратна кислота є одним з вихідних продуктів для одержання більшості азотовмісних речовин. Неконцентрована нітратна кислота використовується для виробництва аміачної селітри, вапнякової аміачної селітри, адипінової кислоти, вибухових речовин майже всіх видів, у промисловості органічного синтезу а також для травлення металів та потреб народного господарства.

Промисловістю виробляється неконцентрована (60...62) % HNO_3 і концентрована (98...99) % HNO_3 кислота. У невеликих об'ємах випускається реактивна й нітратна кислота особливої чистоти. У виробництві вибухових речовин застосовують концентровану нітратну кислоту, для отримання добрив – неконцентровану.

Процес одержання нітратної кислоти достатньо складний комплекс хімічних перетворень, які протікають у різних фазах і в присутності каталізаторів. Хімічна схема процесу передбачає окиснення аміаку на платиновому каталізаторі, окиснення оксиду азоту до двооксиду, абсорбцію оксидів азоту, очищення викидного газу від оксидів азоту.

Метою даної роботи є проектування відділення конверсії аміаку виробництва нітратної кислоти.

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ОБГРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР СПОСОБУ І ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ВИРОБНИЦТВА

Процес одержання нітратної кислоти – досить складний комплекс хімічних перетворень, які відбуваються у різних фазах в присутності каталізаторів.

Одним з найбільш складних завдань, що виникають при розробці технологічної схеми агрегату нітратної кислоти високої потужності, є визначення оптимального тиску для кожної стадії виробництва.

Початковою сировиною є рідкий або газоподібний аміак, що подається в газоподібному вигляді (об'ємна частка до 10,5 %). Процес окиснення аміаку складний гетерогенний каталітичний процес. Як каталізатор найчастіше використовують платину та її сплави. Проводячи цей процес, потрібно враховувати вплив тиску, температури і характеристик каталізатора на ступінь перетворення (конверсії). Залежно від умов проведення процесу його значення може становити (92...97) %.

У промисловості розведену нітратну кислоту одержують, застосовуючи три типи технологічних схем, які працюють за різних тисків:

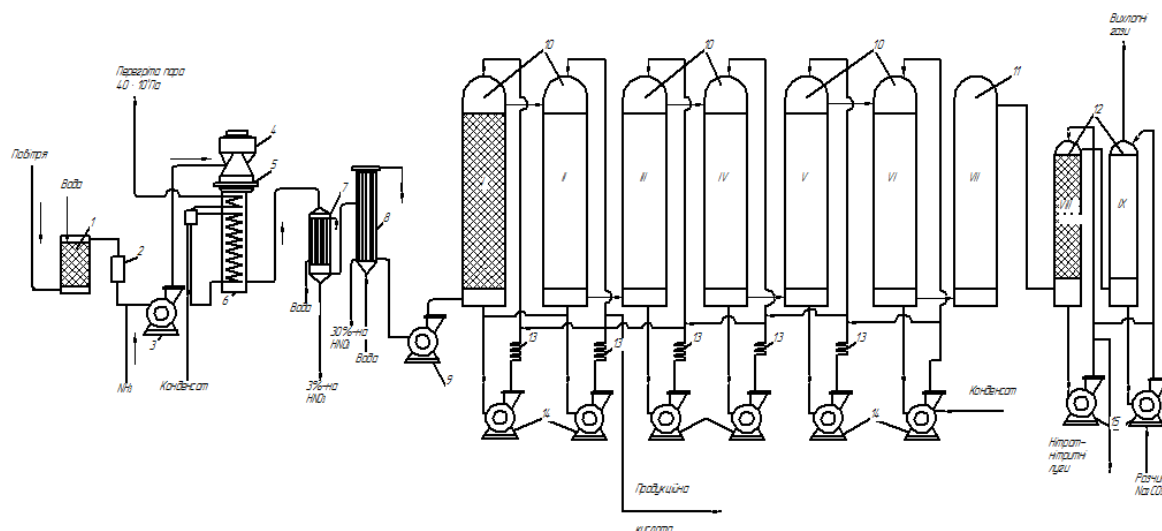
- 1) під атмосферним;
- 2) під підвищеним (0,716...0,8) МПа;
- 3) та комбінована схема (окиснення аміаку здійснюють за атмосферного тиску, а окиснення і абсорбція – за підвищеного; окиснення за тиску 0,4 МПа, абсорбція – 1,1 МПа).

Кожна із зазначених схем має свої переваги та недоліки. Більш детально розглянемо схеми, що працюють під атмосферним тиском та під підвищеним [1].

На рисунку 1.1 представлена схема для виробництва неконцентрованої нітратної кислоти під атмосферним тиском.

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Першою стадією процесу є підготовка аміаку і повітря. Рідкий аміак випаровують і збирають в газгольдері.



1 – водяний скруббер; 2 – рукавний фільтр; 3 – аміачно-повітряний вентилятор; 4 – картонний фільтр; 5 – контактний апарат; 6 – котел-утилізатор; 7,8 – холодильники; 9 – вентилятор нітрозних газів; 10 – башти кислотної абсорбції; 11 – окиснювальна башта; 12 – башти лужної абсорбції; 13 – кислотні холодильники; 14 – насоси для перекачування кислоти; 15 – насоси для перекачування лужних розчинів

Рисунок 1.1 – Виробництва неконцентрованої нітратної кислоти під атмосферним тиском

Очищують газ на тканинних фільтрах. Очищення повітря від зайвих газів кислого характеру зазвичай проводять промивкою розчином лугу або водою. Для видалення механічних домішок використовують тканинні фільтри. Очищене повітря вентилятором, який з'єднаний з аміачним вентилятором, подається через змішувач в контактний апарат.

В контактному апараті газову суміш фільтрують через поролитовий фільтр, який знаходиться в контактному апараті перед каталізаторними сітками.

Далі аміачно-повітряну суміш спалюють на каталізаторі за температури (750...850) °С. Нагріті гази проходять підігрівник повітря та паровий котел, де охолоджуються до (180...200) °С. Подальше охолодження газів відбувається в

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

трубчатих водяних холодильниках, де утворюється нітратна кислота, концентрація (3...20) %. Охолоджені нітрозні гази направляються в абсорбційну колону.

Кожна башта зрошується кислотою відповідної концентрації. Циркуляція кислоти відбувається за допомогою центробіжних насосів, які подають її через водяні холодильники.

Щоб уникнути втрат оксидів азоту, розчинених в готовій кислоті, кислоту, завчасно підігріту до (50...55) °С, продувають повітрям. Оксиди азоту, які відділилися при цьому, потрапляють назад в абсорбційну систему. Залишки оксидів азоту уловлюються в баштах, які зрошуються лугами. В якості поглиначи найчастіше використовують розчини соди.

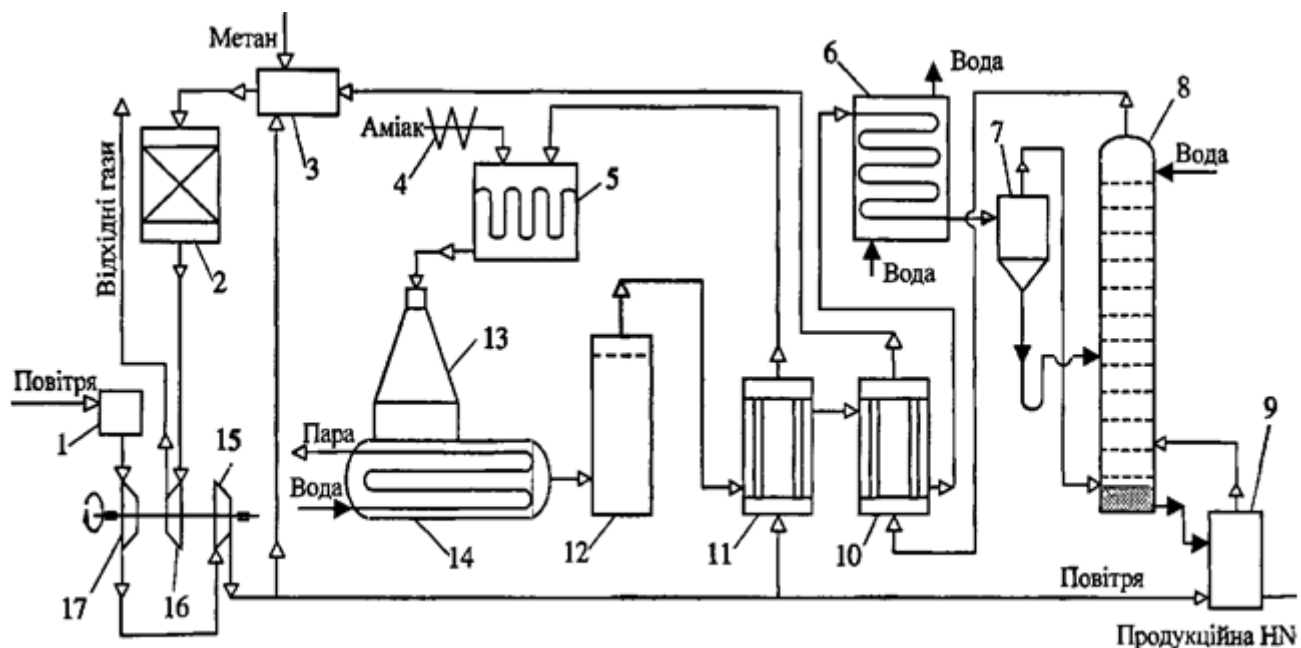
Головним недоліком даної технологічної схеми – найвища витрата металів на виготовлення апаратів. Це викликано тим, що для абсорбції потрібно встановлювати не одну абсорбційну колону (як в комбінованій схемі і схемі під підвищеним тиском), а декілька.

На рисунку 1.2 представлена схема для виробництва неконцентрованої нітратної кислоти під підвищеним тиском.

Потужність виробництва нітратної кислоти в схемі, яка працює під тиском 0,716 МПа, визначається числом агрегатів. Відновлення оксидів азоту відбувається на двоступінчатому каталізаторі АПК-2. Вміст оксидів азоту в газах після каталітичного очищення не більше 0,005 % об. У схемах під підвищеним тиском одержують найбільш концентровану продукційну кислоту. Саме тому технологічну схему виробництва нітратної кислоти за підвищеного (0,716 МПа) тиску розглянемо детальніше.

Атмосферне повітря, яке необхідне для окиснення аміаку, ретельно очищують у тканинному фільтрі. Очищене повітря стискають двоступеневим компресором. На першому ступені повітря стискається до 0,35 МПа, при цьому воно нагрівається до (165...175) °С внаслідок адіабатичного стиснення.

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



- 1 – фільтр для очищення повітря; 2 – реактор каталітичного знешкодження оксидів азоту; 3 – топка; 4 – підігрів аміаку; 5 – змішувач;
 6 – холодильник-конденсатор; 7 – сепаратор; 8 – абсорбційна колона;
 9 – продувна колона; 10 – підігрівач відхідних газів; 11 – підігрівач повітря;
 12 – окиснювач NO; 13 – контактний апарат; 14 – котел-утилізатор;
 15,17 – двоступеневий компресор; 16 — газова турбіна

Рисунок 1.2 – Технологічна схема виробництва неконцентрованої нітратної кислоти під тиском 0,716 МПа

Після проміжного охолодження (на схемі не показано) повітря подається на другий ступінь стиснення, де його тиск зростає до 0,716 МПа, а температура до (125...135) °С. В підігрівачі воно нагрівається до (250...270) °С теплотою нітрозних газів, а далі подається у змішувач, де змішується з аміаком.

Газоподібний аміак після випаровування скрапленого аміаку та очищення нагрівають у підігрівачі до температури 150 °С і подають у змішувач, оснащений керамічним фільтром. Тут аміак змішується з повітрям, а утворена аміачно-повітряна суміш (АПС) додатково очищається фільтрацією через керамічні трубки від залишків пилу, мастила тощо. Механічні домішки осідають на зовнішній поверхні трубок, а очищена АПС з вмістом аміаку не більше 10 % об.

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

подається в контактний апарат. Окиснення аміаку відбувається на платино-родієвих сітках за температури (890...910) °С. Ступінь окиснення NH₃ до NO дорівнює 96 %. Гарячі нітрозні газы надходять в котел-утилізатор, який змонтований разом з контактним апаратом, де охолоджуються до температури 170 °С. У котлі-утилізаторі випаровується очищена деаерована вода, яка перетворюється в пару з тиском 1,5 МПа і температурою 230 °С; одержана пара подається споживачу.

Після чого нітрозні газы надходять в окиснювач, де NO окиснюється до NO₂. Цей апарат є порожнистим із розміщеним у верхній частині фільтра для вловлювання часточок платинового каталізатора. Унаслідок перебігу реакції окиснення температура нітрозних газів зростає до (300...320) °С. Це тепло використовують для підігрівання повітря в підігрівачі. Охолоджені нітрозні газы надалі додатково охолоджуються в теплообміннику до температури 150 °С; при цьому відбувається нагрівання викидних (хвостових газів), які надходять на очищення. Подальше охолодження нітрозних газів відбувається в холодильнику-конденсаторі. Унаслідок цього з газів конденсується водяна пара й утворюється слабка нітратна кислота, яку відділяють від газу в сепараторі і подають на (6...8) тарілку абсорбційної колони. Нітрозні газы подають в нижню частину колони під першу тарілку. Колона зрошується охолодженим паровим конденсатом. Низько концентрований розчин нітратної кислоти, який утворюється у верхній частині колони, переміщуючись з тарілки на тарілку згори донизу, поступово концентрується внаслідок поглинання оксиду азоту(IV) і на виході з апарату концентрація кислоти сягає (60...62) %. Вона містить до 1 % розчинених оксидів азоту, які надають їй жовтуватого забарвлення. Для їх вилучення розчин нітратної кислоти подається у продувну колону, яку ще називають відбілюючою, бо кислота внаслідок віддування оксидів азоту знебарвлюється. Відбілена кислота подається на склад. Повітря, яке виходить з відбілюючої колони і містить оксиди азоту, подається в нижню частину абсорбційної колони – внаслідок цього досягається збільшення ступеня перетворення оксидів азоту до 99 %.

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Хвостові (викидні) гази, які виходять з колони з температурою 35 °С, містять до (0,15...0,2) % оксидів азоту, решта – елементарний азот. У підігрівачі вони нагріваються до (110...145) °С і надходять у топковий пристрій (камеру спалювання) установки каталітичного очищення. Процес окиснення ведуть так, щоб у газах містилось якомога більше оксиду вуглецю(II) та водню, бо саме вони є відновниками оксидів азоту до елементарного. Оскільки процеси окиснення метану є екзотермічними, то хвостові гази нагріваються до (390...430) °С.

Недоліки даної технологічної схеми – найвища витрата каталізатора, що спричинено високим тиском.

У виробництві нітратної кислоти за схемою комбінованого тиску присутні такі стадії [1]:

1) підготовка повітря та аміаку – очищення повітря від пилу, стиснення до 0,41 МПа, випаровування аміаку та його фільтрування, змішування газоподібного аміаку з повітрям, фільтрація аміачно-повітряної суміші;

2) одержання нітрозних газів та підготовка їх до абсорбції – окиснення (конверсія) аміаку киснем повітря, охолодження нітрозних газів і промивання їх від нітросполук амонію з одержанням 45 % кислоти, стиснення нітрозного газу до 1,1 МПа та охолодження нітрозного газу;

3) абсорбція оксидів азоту – очищення викидних газів і використання енергії стисненого газу – абсорбція оксидів азоту з утворенням 60 % кислоти, підігрівання викидних газів до 500 °С, каталітичне очищення газів, розширення газів у турбіні до 0,1 МПа та охолодження в підігрівнику [3].

Техніко-економічне порівняння ефективності різних схем виробництва розведеної нітратної кислоти можна здійснити на підставі показників їх роботи, наведених у таблиці 1.1 [1].

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1 Техніко-економічні показники роботи різних схем виробництва розведеної нітратної кислоти

Показники	Схема виробництва		
	Під атмосферним тиском	Під підвищеним тиском 0,716 МПа	Комбінована схема
Концентрація продукційної кислоти, %	48 ... 50	58 ... 60	60 ... 62
Вміст оксидів азоту в газі після абсорбції, % об.	8 ... 7	0,15 ... 0,2	0,15 ... 0,2
Втрата каталізатора, г/(1 т HNO ₃)	0,04 ... 0,06	0,1 ... 0,3	0,04 ... 0,06
Витрата електроенергії, кВт·год/(1 т HNO ₃)	80 ... 100	360 ... 380	210 ... 240
Витрата металів на виготовлення апаратів, т/(1 т HNO ₃)	2,1	0,9 ... 1,0	1,1

Як видно з таблиці 1.1 за основними показниками найбільш ефективною є схема під тиском 0,716 МПа, яка прийнята як прототип для дипломного проекту.

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОДУКЦІЇ, СИРОВИНИ, ДОПОМІЖНИХ МАТЕРІАЛІВ, ЕНЕРГЕТИЧНИХ НОСІЇВ

Основною сировиною для виробництва неконцентрованої нітратної кислоти в даний час є аміак, повітря і вода. Допоміжними матеріальними і енергетичними ресурсами є каталізатори окиснення аміаку і очищення викидних газів, природний газ, пара та електроенергія.

Аміак. За звичайних умов це безбарвний газ з різким запахом, добре розчинний у воді та інших розчинниках. Домішки в рідкому аміаку регламентуються ГОСТ 6221-82. Найбільш типовими домішками є вода, мастила, каталізаторний пил, окалина, карбонат амонію, розчинені гази (водень, азот, метан). При порушенні ГОСТ 6221-82 домішки які містяться в аміаку можуть потрапити в аміачно-повітряну суміш і знизити вихід оксиду азоту(II), а водень і метан – змінити межі вибуховості АПС.

Повітря. Для технічних розрахунків приймають, що сухе повітря містить (% об.): N_2 – 78,1; O_2 – 21,0; Ar_2 – 0,9; H_2O – (0,1 ... 2,8). У повітрі можуть бути присутні SO_2 , NH_3 , CO_2 . У районі промислових майданчиків повітря забруднене пилом різного походження, а також різноманітними компонентами неорганізованих газових викидів (SO_2 , SO_3 , H_2S , C_2H_2 , Cl_2 та ін.) Кількість пилу в повітрі становить (0,5...1,0) мг/м³.

Вода. Використовується у виробництві нітратної кислоти для: зрошування абсорбційної колони, отримання пари при утилізації тепла в котлах-утилізаторах, охолодження реакційних апаратів. Для абсорбції оксидів азоту використовують найчастіше паровий конденсат і хімічно очищену воду. У будь-якому випадку вода, що використовується для зрошування колон, не повинна містити вільного аміаку і твердих суспензій, вміст хлорид-іона має бути не більше 2 мг/дм³, мастила не більше 1 мг/л, NH_4NO_3 – не більше 0,5 г/дм³. Хімічно очищена вода для котлів-утилізаторів повинна відповідати вимогам ГОСТ 20995-75.

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Технічна вода, призначена для відводу теплоти в теплообмінниках та охолодження обладнання (оборотна вода), повинна відповідати таким вимогам:

- карбонатна твердість – не більше 3,6 мгекв/кг;
- вміст завислих речовин – не більше 50 мг/кг;
- значення рН (6,5...8,5).

Кисень. В окремих випадках використовується для збагачення АПС при отриманні неконцентрованої нітратної кислоти.

Оксиди азоту.

Оксид азоту NO утворюється при каталітичному окисненні аміаку і є проміжним продуктом в технології нітратної кислоти.

Оксид азоту NO₂ існує у вигляді коричнево-червоної сполуки і його безбарвного димера – N₂O₄. При взаємодії з водою оксид азоту(IV) утворює нітратну і азотисту кислоти, з лугами – суміш нітратів. Має високу розчинність в концентрованій азотній кислоті.

Гранично допустима концентрація оксиду азоту(II) становить 0,4 мг/м³, а оксиду азоту(IV) – 0,2 мг/ м³.

Отруєння оксидами викликають загальну слабкість, запаморочення, оніміння ніг, нудоту. В таблиці 2.1 наведені фізико-хімічні властивості сировини, матеріалів та готової продукції [2].

Таблиця 2.1 – Фізико-хімічні властивості сировини, матеріалів та готової продукції.

Найменування сировини, напівпродуктів, матеріалів, готової продукції	Показники стандартів обов'язкових для перевірки.	Регламентовані показники з допустимими відхиленнями
1	2	3
Аміак рідкий	ГОСТ 6221-82 марка А Масова частка Масова частка вологи	Не більше 99,6 % Не більше 0,06 %
Аміак газоподібний	ГОСТ 6221-82 марка А Масова частка заліза Масова концентрація мастила	1 мг/м ³ 0,005

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 2.1

1	2	3
Повітря атмосферне	Уніфіковані норми затвердженні В/О "Союз-Азот" 1.07.82 Масова концентрація сполук сірки, в перерахунку на сірку, мг/м ³	1
	Ступінь очистки в апараті очистки повітря	99 %
Природний газ	ГОСТ 5524-78 Масова концентрація сірчистих сполук Нижча теплотворна здатність	0,042 мг/м ³ 332185 кДж/м ³
Каталізаторні сітки з плати- нового сплаву	ГОСТ 3193-74 – сітки з платино- паладієвого сплаву з вмістом платини – 92,5 %	Діаметр: - дроту – 0,092 мм - сітки – 2875 мм Паспорт якості про- дукції на встановлену сітку має відповідати стандарту і марці
Паровий конденсат	Масова концентрація солей, мг/м ³ рН аміак	не більше 0,5 не менше 6,5 не нормується

Неконцентрована кислота, яка є кінцевим продуктом синтезу цеха нітра-
тної кислоти повинна відповідати вимогам ТУ У 24.1-33968601-001:2008.

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

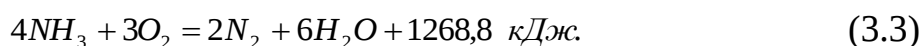
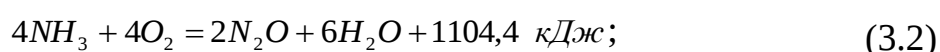
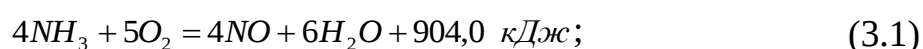
3 ХАРАКТЕРИСТИКА І ОБГРУНТУВАННЯ ПРИЙНЯТОГО МЕТОДУ ВИРОБНИЦТВА. ХІМІЗМ ТА ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ І ОБГРУНТУВАННЯ НОРМ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕЖИМІВ

На даний час єдиним промисловим способом отримання нітратної кислоти є каталітичне окиснення аміаку киснем повітря з подальшим поглинанням отриманих оксидів азоту водою.

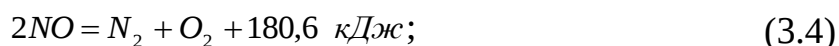
Стадія конверсії аміаку визначає показники всього виробництва нітратної кислоти. Саме від умов і якості її проведення залежать витратні коефіцієнти за аміаком, енергетичні можливості схеми.

Каталітичне окиснення аміаку є складним процесом і може з однаковим ступенем імовірності перебігати як до цільового продукту оксиду азоту(II), так і до молекулярного азоту або оксиду азоту(I).

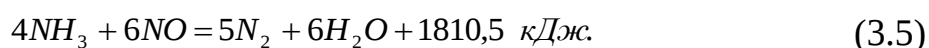
При взаємодії аміаку з киснем утворюються, в залежності від умов, різні продукти окиснення, що може бути представлено наступними рівняннями:



Крім основних реакцій, в залежності від умов окиснення аміаку, можуть перебігати кілька послідовних і паралельно-послідовних реакцій. Всі вони призводять до утворення молекулярного азоту, так, що утворений оксид азоту(II) може розкладатися:

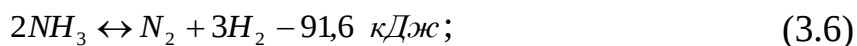


або взаємодіяти з аміаком:



Аміак, що надходить з аміачно-повітряною сумішшю (АПС), може розкладатися до молекулярного азоту і водню, причому останній потім згорає з утворенням парів води:

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Таким чином, для проведення процесу окиснення аміаку з метою отримання оксиду азоту(II) потрібен не лише активний, але і доволі селективний каталізатор.[2]

Окиснення аміаку до NO це гетерогенний процес (гази взаємодіють на поверхні твердого каталізатора з утворенням з ним перехідної нестійкої сполуки) і складається з наступних стадій:

- надходження реагуючих молекул з маси газу до зовнішньої поверхні каталізатора;
- дифузії (проникнення) цих речовин до внутрішньої поверхні каталізатора;
- взаємодії адсорбованих молекул з поверхнею каталізатора;
- дифузії речовин, що прореагували, з пор до зовнішньої поверхні каталізатора;
- надходження продуктів реакцій із зовнішньої поверхні каталізатора в газовий потік.

Згідно з адсорбційно-хімічною теорією каталізу механізм каталітичного окиснення аміаку можна зобразити таким чином. Кисень та аміак дифундують до поверхні каталізатора. Молекули кисню підходять до поверхні каталізатора з ослабленим ковалентним зв'язком внаслідок високої температури контактування. При адсорбції на поверхні каталізатора цей зв'язок розривається і атоми кисню утворюють зв'язок з атомами платини на поверхні каталізатора. У результаті його поверхня покривається шаром кисню. Молекули аміаку, які досягають поверхні каталізатора, адсорбуються, утворюють комплекси з платиною і руйнують слабкі зв'язки кисню з атомами поверхні. Виникають комплекси перехідного стану зі зв'язками між азотом і адсорбованим киснем, воднем і киснем. При наступному руйнуванні комплексів перехідного стану утворюється оксид азоту (II) і вода, які адсорбуються на каталізаторі менше, ніж вхідні компоненти, і вилучаються з його поверхні струмом газу. На поверхню, що звільнилася,

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

знову осідають, активуючись на ній, нові атоми кисню, які взаємодіють з новими молекулами аміаку.

Швидкість дифузії кисню до поверхні каталізатора вища, ніж швидкість дифузії аміаку. Це пояснює високий вихід оксиду азоту (II). На поверхні каталізатора, яка не зайнята киснем, аміак окислюється до елементарного азоту.

Для окиснення аміаку в більшості випадків його змішують з повітрям, до якого іноді додають кисень. Вирішальний вплив на швидкість процесу і вихід оксиду азоту(II) має відношення концентрацій реагуючих речовин у вихідній суміші.

Швидкість реакцій, що ведуть до утворення оксиду азоту(II), і його вихід, зростають із збільшенням відношення концентрації кисню та аміаку (найбільшого значення досягають при відношенні, близькому до 1,8:2. Подальше збільшення надлишку кисню не впливає на вихід оксиду азоту(II), який не збільшується і при застосуванні кисню замість повітря. Тому у виробничих умовах складають аміачно-повітряні суміші з вмістом (10...11) % об. NH_3 , що відповідає відношенню мольних концентрацій кисню і аміаку від 1,9 до 1,7. При підвищенні вмісту аміаку необхідно до повітря додати відповідну кількість кисню.

Підвищуючи вміст аміаку в реакційній суміші, необхідно враховувати вибухову здатність сумішей. Межа вибуховості аміаку (14...28) %. Від складу суміші залежить продуктивність установки, тому що зі збільшенням вмісту аміаку у вихідній суміші продуктивність контактного апарату (при однакових інших умовах) зростає.

Відомо багато речовин, за участю яких аміак окиснюється з високим виходом оксиду азоту(II). До них відноситься платина, а також її сплави з іншими металами платинової групи (платинові каталізатори) і оксиди ряду металів – заліза, марганцю, кобальту та ін. (неплатинові каталізатори). У промисловості застосовуються як платинові, так і неплатинові каталізатори.

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Платинові каталізатори.

Переважно сплави платини з родієм (до 5 %) та паладієм (до 10 %), застосовуються у вигляді сіток з тонких ниток (нитки мають діаметр від 0,06 до 0,09 мм, число плетінь на 1 см² дорівнює $32 \times 32 = 1024$. Домішки паладію і родію підвищують міцність платинового каталізатору. Такий вигляд платини застосовують для збільшення питомої поверхні каталізатору.

Оптимальний час перебування в зоні каталізу аміачно-повітряної суміші рівний ($10^{-4} \dots 10^{-5}$)с. Збільшення часу перебування в зоні каталізу, тобто зменшення швидкості газового потоку, веде до утворення елементарного азоту, збільшення до проскокування аміаку в потік нітрозного газу. Аміак, що проскочив, реагує з оксидом азоту, утворюючи елементарний азот.

Вихід оксиду азоту(II) зростає із збільшенням, до певної межі, числа послідовно встановлених сіток. При окисненні аміаку під атмосферним тиском необхідно пакет з (3...4) сіток, при окисненні під підвищеним тиском – з (12...16) сіток. Пакети утворюються з вільно накладених одна на одну сіток.

Максимальний вихід, який досягається на каталізаторі при найбільш сприятливих умовах, дорівнює (98...99) %. Решта аміаку окиснюється до азоту. Повністю виключити реакції, в результаті яких утворюється елементарний азот, до цих пір не вдалося.

Напруженість каталізатора є основним фактором (після температури), який впливає на вихід оксиду азоту(II). Напруженість каталізатора – це кількість аміаку, що припадає на 1м² активної поверхні каталізатора за добу. Для конверсії при атмосферному тиску рекомендується підтримувати напруженість каталізатора (500...900) кг/(м²·добу) [2]. Залежність виходу оксиду азоту (II), кількості сіток, питомих витрат каталізатору від питомої напруженості каталізатору зображена на рисунку 3.1.

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Окиснення аміаку на чистій платині починається при 145 °С, а при 300 °С вже спостерігається помітне утворення NO. При більш низьких температурах окиснення аміаку протікає з отриманням елементарного азоту, N₂O і невеликої кількості NO. Подальше підвищення температури сприяє збільшенню виходу NO і одночасно приводить до зростання швидкості реакції. В інтервалі від 700 до 1000 °С вихід оксиду азоту(II) може становити (95...98) %.

Оптимальний температурний режим окиснення аміаку при атмосферному тиску з урахуванням втрат каталізатора лежить в інтервалі (800...840) °С. В системах, що працюють під тиском (0,7...0,9) МПа, в межах (880...930) °С. Це дозволяє збільшити швидкість реакції приблизно в 3 рази.

Для досягнення високих виходів оксиду азоту(II) окиснення аміаку бажано вести при підвищених температурах, а для зменшення зростаючих втрат ка-

талізатора – платини необхідно обмежити верхню температурну межу процесу. Для установок, що працюють при атмосферному тиску, оптимальна температура становить (800...840) °С, а для установок, що працюють під тиском (0,7...0,9) МПа, в межах (880...930) °С [2].

При підвищенні тиску від атмосферного до 1 МПа максимальний вихід NO не змінюється, досягаючи при сприятливих умовах одного і того ж рівня – приблизно 98 %. Необхідні для досягнення цього виходу температура і час контактування залежать від тиску. При більш високому тиску потрібна вища температура і дещо більший час контактування. Так як обсяг газу обернено пропорційний тиску, а час контактування з підвищенням тиску майже не збільшується, то продуктивність каталізатора з підвищенням тиску зростає. Однак з підвищенням тиску швидко ростуть втрати платинового каталізатора.

У процесі експлуатації платинові сітки сильно розпушуються, їх гладенькі і блискучі нитки робляться крихкими. З утворенням губчастої розпушеної поверхні платини товщина ниток збільшується, завдяки чому поверхня сіток стає дуже розвиненою і каталітична активність платини зростає. З часом розпушення поверхні веде до її руйнування. Питома поверхня платинової сітки збільшується в 30 раз після використання.

Втрати платини та методи їх зменшення.

Під впливом реакційного середовища відбувається зміна структури платинового каталізатору, що супроводжується втратами його маси. Розрізняють 3 види втрат: хімічні, механічні і втрати за рахунок впливу домішок.

Хімічними, називають втрати викликані окисненням Pt киснем АПС до PtO₂. Температура плавлення оксиду платини 450 ° С. Утворений оксид виноситься з газовим потоком.

Механічні втрати відбуваються за рахунок руйнування поверхневого шару каталізатора при проходженні на ньому процесу окиснення аміаку, що супроводжується виділенням великої кількості енергії (каталітична ерозія).

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Під дією вібрації сіток і нерівномірності потоку газу відбувається відрив зруйнованих частинок поверхні і їх виніс.

Платинові каталізатори чутливі до дії ряду домішок, які можуть міститися в аміаку та повітрі. Повітря на хімічних заводах часто буває забруднене сірчистими сполуками, фосфористим воднем, пилом, а аміак - оксидами заліза і пилом залізного каталізатора синтезу аміаку. Пил і оксиди заліза засмічують сітки каталізатору, зменшують питому поверхню каталізатора і знижуючи ступінь окислення. Крім того, пил проникає в уловлюючі пакети, блокує їх поверхню і знижує ступінь уловлювання платини.

Найефективнішим способом зниження втрат платинового каталізатора є уловлювання платини. Існують різні способи уловлювання. Наприклад, застосування уловлюючого пакету з паладієвих сіток, який встановлюється після каталітичного пакету. Компоненти каталітичного пакету, що відірвались з кристалічної решітки сплаву каталізатора, розчиняються в паладії і таким чином залишаються в апараті.

Кращими для уловлювання платинового пилу є маси, що містять оксид кальцію в суміші з Al_2O_3 , здатні уловлювати близько 50 % втрат. Їх розміщують безпосередньо після платинових сіток. Особливістю їх є здатність уловлювати частинки платини розміром (0,104...0,15) мкм.

Близько 30% платини, що проскочила, уловлюються при фільтруванні конденсату, який утворюється під час охолодження нітрозного газу.

Також використовують спосіб повернення тієї частини платиноїдного каталізатора, що осів на поверхні (частково розчинився в металі) трубок котла нітрозних газів чи поверхні металу подальших, по ходу газу, апаратів. Це роблять шляхом знімання тонкого поверхневого шару металу або хімічного змивання поверхні нержавіючих апаратів.

Кількість платиноїдів, які можна повернути до циклу при очистці складає від 5 до 20 кг з агрегату залежно від терміну експлуатації (від 1 до 3 років).[4]

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ВІДДІЛЕННЯ КОНВЕРСІЇ АМІАКУ ВИРОБНИЦТВА НІТРАТОЇ КИСЛОТИ

Нітратна кислота є одним з вихідних продуктів для отримання більшості азотовмісних речовин. Основна кількість нітратної кислоти витрачається на отримання мінеральних добрив. В той же час нітратна кислота застосовується для отримання вибухових речовин, в ракетній техніці, як окиснювач в різноманітних процесах і в багатьох галузях промисловості.

В даному розділі розглядається відділення конверсії аміаку цеха синтезу нітратної кислоти з наступною рекуперацією енергії очищених хвостових газів. Особливістю даної схеми є підвищення температури повітря підігрівачем, встановленим в окиснювач, завдяки чому підвищується температура аміачно-повітряної суміші.

Атмосферне повітря осьовим компресором газотурбінної установки ГТТ-3М через трубопровід 3 всмоктується через повітрязабірну трубу в апарат очищення повітря 10, в якому проходить двоступінчасте очищення від пилу і твердих домішок на касетних фільтрах.

Із апарата 10 повітря надходить в газотурбінну установку ГТТ-3М. Осьовий компресор 11 стискає повітря до тиску від 0,250 МПа до 0,290 МПа з підвищенням температури не вище ніж 175 °С. Потім повітря охолоджується в повітроохолоджувачі 12 до температури не вище ніж 90 °С обіговою водою. Після повітроохолоджувача 12 повітря надходить в нагнітач 15, в якому стискається до тиску не вище 0,8 МПа з підвищенням температури до (140...180) °С.

Після нагнітача основна частина повітря по трубопроводу 3 направляється в підігрівач повітря, який вбудований в окиснювач, де відбувається його нагрівання до необхідної температури, а потім – в технологічний цикл безпосередньо на окиснення аміаку.

Крім того, повітря використовується в камері згоряння турбіни 16, в газовій турбіні 11 для охолодження елементів турбіни, проточної частини корпусу і

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

для розвантаження осьового зсуву ротора та в трубопроводі нітрозного газу для окиснення оксиду азоту в діоксид азоту.

Газоподібний аміак утворюється в процесі випаровування рідинного аміаку в випарнику вузла підготовки газоподібного аміаку

Рідинний аміак по трубопроводі 11р під тиском (1,3...1,5) МПа надходить в випарник 1 із мережі, попередньо очищений від механічних домішок і каталізаторного пилу на магнітному та сітчастому фільтрі, які розміщені на лініях подачі рідинного аміаку. Випаровування рідинного аміаку відбувається під тиском (1,08...1,20) МПа і за температури близько 30 °С за рахунок теплоти пари, яка надходить в трубний простір випарника з температурою (210...250) °С і під тиском не вище ніж 1,5 МПа. В міжтрубному просторі випарника знаходиться рідинний і газоподібний аміак.

В міру випаровування рідинного аміаку вміст оливи і механічних домішок в кубовій частині випарника збільшується. Для запобігання цьому передбачено відведення частини рідинного аміаку (до 20% від кількості аміаку, яка надходить в випарник) із випарника 1 по трубопроводу 11р в апарат підготовки аміаку 19, або збірник кубових залишків 20.

Із випарника 1 газоподібний аміак для очищення від оливи і механічних домішок надходить в фільтр 11, в якому в якості фільтрувальних матеріалів використовується склотканина ХПСТ-2 і картон.

Після фільтра 2 очищений газоподібний аміак по трубопроводу 11 надходить в дистиляційну колону 3. У верхній частині дистиляційної колони розміщений фільтр із титанових елементів.

Сконденсований рідинний аміак, олива і механічні домішки, які накопичуються в нижній частині дистиляційної колони, безперервно відводяться в апарат підготовки аміаку 19 або збірник кубових залишків 20.

В апараті підготовки аміаку 19 чи збірнику кубових залишків 20 рідинний аміак випаровується за рахунок теплоти пари, яка надходить в апарат під тиском не вище ніж 0,5 МПа і з температурою (190...230) °С.

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Газоподібний аміак із апарата підготовки аміаку 19 чи збірника кубових залишків 20 з температурою (50...110) °С і під тиском не вище ніж 0,4 МПа видається в мережу, а спрацьована олива через дренаж зливається в бочку і відправляється на регенерацію.

Газоподібний аміак після дистиляційної колони по трубопроводі 11 надходить в трубний простір підігрівача 4, в якому підігрівається до температури (90...110) °С за рахунок теплоти пари, яка надходить в міжтрубний простір підігрівача з температурою (190...230) °С і під тиском не вище ніж 0,5 МПа. Конденсат із випарника 1 та із підігрівача 4 надходить в збірник парового конденсату.

Після підігрівача 4 газоподібний аміак по трубопроводу 11 з температурою (90...110) °С направляється в змішувач 5. Частина газоподібного аміаку після вузла підготовки аміаку надходить в реактор селективного очищення.

Повітря з тиском не вище ніж 0,8 МПа і з температурою (180...220) °С надходить в змішувач 5, де змішується із газоподібним аміаком.

Газоподібний аміак надходить в змішувач з підігрівача газоподібного аміаку 13 під тиском не вище ніж 0,8 МПа і з температурою (90...110) °С.

Об'ємна частка газоподібного аміаку в аміачно-повітряній суміші підтримується в межах (9,5...11,0) %.

Після змішування аміаку і повітря в змішувачі 5 утворена аміачно-повітряна суміш очищується від пилу, механічних домішок, оливи на патронних фільтрах, розміщених в верхній частині змішувача. Як фільтрувальний елемент використовується склотканина, намотана на металевий каркас, або металокерамічні (титанові) фільтри.

Аміачно-повітряна суміш із змішувача 9 з температурою (140...230) °С по трубопроводу 28 надходить в контактний апарат 6, в якому за температури (850...910) °С на каталізаторі відбувається окиснення аміаку киснем, що знаходиться в аміачно-повітряній суміші, з утворенням оксиду азоту, водяної пари та елементарного азоту.

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Утворені на каталізаторі нітрозні гази (NO_x , N_2 , H_2O) з температурою (850...910) °C надходять в котел-утилізатор 7, де охолоджуються до температури (260...345) °C. За рахунок теплоти нітрозних газів в котлі відбувається випаровування деаерованої хімоочищеної води з утворенням пари під тиском не вище ніж 1,5 МПа і з температурою (210...250) °C.

Після котла-утилізатора 4 нітрозні гази по трубопроводу 29 надходять в окиснювач 5, де за рахунок наявного кисню при зменшенні швидкості потоку відбувається доокиснення нітрозного газу з підвищенням температури до 300...350 °C, і далі в міжтрубний простір підігрівача хвостових газів другого ступеня. Очищені хвостові гази після реактора селективного очищення по трубопроводу 30 проходять між зовнішнім і внутрішнім корпусами універсальної камери згоряння турбіни 16, змішуються з паливними газами, які виходять з камери згоряння турбіни, і з температурою не вище ніж 700 °C надходять в газову турбіну.

Відпрацьовані в турбіні гази з температурою не вище ніж 410 °C надходять в котел-утилізатор хвостових газів 17. Очищені хвостові гази після реактора селективного очищення 9 проходять між зовнішнім і внутрішнім корпусами універсальної камери згоряння турбіни 22, змішуються з паливними газами, які виходять з камери згоряння турбіни, і з температурою не вище ніж 700 °C надходять в газову турбіну.

Для підтримання необхідної температури перед турбіною в камеру згоряння турбіни подається природний газ та повітря в співвідношенні 1:10. Через камеру згоряння турбіни скидається і повітря, що не використовується в технологічній частині.

Відпрацьовані в турбіні гази з температурою не вище ніж 410 °C надходять в котел-утилізатор хвостових газів 17. Для живлення котлів-утилізаторів 7 та 17 використовується нагріта до температури 100 °C деаерована хімоочищена вода. Хвостові гази після котла-утилізатора 17 по трубопроводу 30 проходять через економайзер 18 і викидаються в атмосферу через викидні труби висотою 150 м.

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 ВИТРАТНІ КОЕФІЦІЄНТИ З СИРОВИНИ, НАПІВПРОДУКТІВ, ДОПОМІЖНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИХ ЗАСОБІВ

5.1 Розрахунок матеріального балансу

Вихідні дані:

Продуктивність схеми за 100%-вою кислотою, т/год: $Q = 15$.

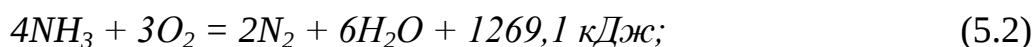
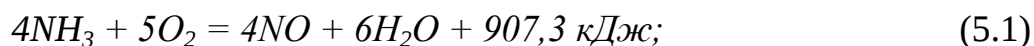
Ступінь конверсії аміаку, $\alpha_1 = 0,94$.

Ступінь абсорбції оксидів азоту, $\alpha_2 = 0,99$.

Тиск в конверторі, МПа: $P = 0,73$.

Вміст NH_3 в суміші, яка надходить на конверсію, %: $C = 10,57$.

Сумарна реакція утворення HNO_3 , не враховуючи побічні реакції, описується рівнянням:



Теоретична витрата аміаку T на 1 тону HNO_3 (100%) згідно рівняння (5.3) складає, кг:

$$T = \frac{M(NH_3)}{M(HNO_3)} \cdot 1000, \quad (5.1)$$

де $M(NH_3)$ – молярна маса аміаку, г/моль;

$M(HNO_3)$ – молярна маса азотної кислоти, г/моль.

$$T = \frac{17}{63} \cdot 1000 = 269,84 \quad (5.2)$$

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Враховуючи ступінь конверсії та адсорбції фактична витрата N аміаку складе, кг:

$$N = \frac{T}{\alpha_1 \cdot \alpha_2}, \quad (5.3)$$

$$N = \frac{269,84}{0,94 \cdot 0,99} = 289,96. \quad (5.4)$$

Витрата аміаку за одну годину складе, $m(NH_3)$, кг:

$$m(NH_3) = N \cdot Q, \quad (5.5)$$

$$m(NH_3) = 289,96 \cdot 15 = 4349,47. \quad (5.6)$$

Витрата аміаку за одну годину, в перерахунку на кількість кмоль аміаку:

$$n(NH_3)^* = \frac{m(NH_3)}{M(NH_3)}, \quad (5.7)$$

$$n(NH_3)^* = \frac{4349,47}{17} = 255,85. \quad (5.8)$$

Годинна витрата повітря складає, кмоль:

$$n_{(пов)} = n(NH_3)^* \cdot (100 - C) / C, \quad (5.9)$$

$$n_{(пов)} = 255,85 \cdot \frac{100 - 10,57}{10,57} = 2164,69. \quad (5.10)$$

Вважаючи, що об'ємна (молярна) частка кисню у повітрі становить 0,21 та азоту – 0,79 (разом з аргоном), визначають $n(O_2)$ – годинну витрату кисню, кмоль:

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$n(O_2) = n_{(нов)} \cdot 0,21, \quad (5.11)$$

$$n(O_2) = 2164,69 \cdot 0,21 = 454,58. \quad (5.12)$$

Годинна витрата кисню складе $m(O_2)$, кг:

$$m(O_2) = n(O_2) \cdot M(O_2), \quad (5.13)$$

де $M(O_2)$ – молярна маса кисню, кг/кмоль;

$$m(O_2) = 454,58 \cdot 32 = 14546,72. \quad (5.14)$$

Відповідно година витрата азоту $n(N_2)$ складе, кмоль:

$$n(N_2) = n_{(нов)} \cdot 0,79, \quad (5.15)$$

$$n(N_2) = 2164,69 \cdot 0,79 = 1710,11. \quad (5.16)$$

Годинна витрата азоту $m(N_2)$ складе, кг:

$$m(N_2) = n(N_2) \cdot M(N_2), \quad (5.17)$$

де $M(N_2)$ – молярна маса азоту, кг/кмоль;

$$m(N_2) = 1710,11 \cdot 28 = 47882,96. \quad (5.18)$$

Кількість (в m^3) кисню та азоту на 1 т моногідрату (МНГ) V_1 :

$$V_1 = 22,4 \cdot (n(N_2) + n(O_2)) / Q, \quad (5.19)$$

$$V_1 = 22,4 \cdot (1710,11 + 454,58) / 15 = 3232,6. \quad (5.20)$$

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Кількість газу, що надходить на конверсію K , кмоль за годину:

$$K = n(NH_3)^* + n(O_2) + n(N_2), \quad (5.21)$$

$$K = 255,85 + 454,58 + 1710,11 = 2420,54. \quad (5.22)$$

Кількість газу, що надходить на конверсію L , кг за годину:

$$L = m(NH_3) + m(O_2) + m(N_2), \quad (5.23)$$

$$L = 4349,47 + 14546,72 + 47882,96 = 66779,16. \quad (5.24)$$

Об'ємна (молярна) частка аміаку в суміші газів P_1 становить, %об.:

$$P_1 = \frac{n(NH_3)^*}{K} \cdot 100, \quad (5.25)$$

$$P_1 = \frac{255,85}{2420,54} \cdot 100 = 10,57, \quad (5.26)$$

що співпадає з вихідними даними і свідчить про правильність виконаних розрахунків.

Об'ємна (молярна) частка кисню в суміші газів P_2 становить, %об.:

$$P_2 = \frac{n(O_2)}{K} \cdot 100, \quad (5.27)$$

$$P_2 = \frac{454,58}{2420,54} \cdot 100 = 18,78. \quad (5.28)$$

Об'ємна (молярна) частка азоту в суміші газів P_3 становить, %об.:

$$P_3 = \frac{n(N_2)}{K} \cdot 100, \quad (5.29)$$

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_3 = \frac{1710,11}{2420,54} \cdot 100 = 70,65. \quad (5.30)$$

Масова частка аміаку в суміші газів, % мас.:

$$G_1 = \frac{m(NH_3)}{L} \cdot 100, \quad (5.31)$$

$$G_1 = \frac{4349,47}{66779,16} \cdot 100 = 6,51. \quad (5.32)$$

Масова частка кисню в суміші газів, % мас.:

$$G_2 = \frac{m(O_2)}{L} \cdot 100, \quad (5.33)$$

$$G_2 = \frac{14546,72}{66779,16} \cdot 100 = 21,78. \quad (5.34)$$

Масова частка азоту в суміші газів, % мас.:

$$G_3 = \frac{m(N_2)}{L} \cdot 100, \quad (5.35)$$

$$G_3 = \frac{47882,96}{66779,16} \cdot 100 = 71,70. \quad (5.36)$$

За реакцією (5.1) кількість NO M_1 на 1 т МНГ буде становити, кмоль:

$$M_1 = n(NH_3)^* \cdot \alpha_1, \quad (5.37)$$

$$M_1 = 255,85 \cdot 0,94 = 240,5. \quad (5.38)$$

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Маса NO N_1 буде становити, кг:

$$N_1 = M_1 \cdot M(\text{NO}), \quad (5.39)$$

де $M(\text{NO})$ – молярна маса NO , кг/моль;

$$N_1 = 240,5 \cdot 30 = 7215,01. \quad (5.40)$$

Кількість азоту X_1 , що утворюється за реакцією (5.3) складає, кмоль за годину:

$$X_1 = n(\text{NH}_3)^* \cdot (1 - \alpha_1) / 2, \quad (5.41)$$

$$X_1 = \frac{255,85 \cdot (1 - 0,94)}{2} \cdot 100 = 7,68. \quad (5.42)$$

Кількість пари води M_3 , що утворюються за реакціями (5.1, 5.2), кмоль за годину:

$$M_3 = n(\text{NH}_3)^* \cdot 1,5, \quad (5.43)$$

$$M_3 = 255,85 \cdot 1,5 = 383,77. \quad (5.44)$$

Маса пари води N_3 складе, кг за годину:

$$N_3 = M_3 \cdot M(\text{H}_2\text{O}), \quad (5.45)$$

де $M(\text{H}_2\text{O})$ – молярна маса води, кг/моль;

$$N_3 = 383,77 \cdot 18 = 6907,98. \quad (5.46)$$

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За обома реакціями (5.1, 5.2) кількість кисню X_2 , що прореагував, кмоль за годину:

$$X_2 = n(NH_3) \cdot 1,25 \cdot \alpha_1 + (n(NH_3) \cdot 0,75 \cdot (1 - \alpha_1)), \quad (5.47)$$

$$X_2 = 255,85 \cdot 1,25 \cdot 0,94 + (255,85 \cdot 0,75 \cdot (1 - 0,94)) = 312,14. \quad (5.48)$$

У нітрозному газі залишилося кисню M_2 , кмоль за годину:

$$M_2 = n(O_2) - X_2, \quad (5.49)$$

$$M_2 = 454,58 - 312,13 = 142,45. \quad (5.50)$$

Маса кисню в нітрозному газі N_2 , кг за годину:

$$N_2 = M_2 \cdot M(O_2), \quad (5.51)$$

$$N_2 = 142,45 \cdot 32 = 4558,29. \quad (5.52)$$

Загальна кількість азоту M_4 в нітрозному газі, кмоль за годину:

$$M_4 = n(N_2) + X_1, \quad (5.53)$$

$$M_4 = 1710,11 + 7,68 = 1717,78. \quad (5.54)$$

Маса азоту в нітрозному газі, кг за годину:

$$N_4 = M_4 \cdot M(N_2), \quad (5.55)$$

$$N_4 = 1717,78 \cdot 28 = 48097,88. \quad (5.56)$$

Загальна кількість речовин M , кмоль за годину:

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$M = M_1 + M_2 + M_3 + M_4, \quad (5.57)$$

$$M = 240,5 + 142,45 + 383,77 + 1717,78 = 2484,51. \quad (5.58)$$

Об'ємний (молярний) вміст NO_x в суміші газів, %:

$$P_4 = \frac{M_1}{M} \cdot 100, \quad (5.59)$$

$$P_4 = \frac{240,5}{2484,51} \cdot 100 = 9,68. \quad (5.60)$$

Об'ємний вміст O_2 в суміші газів, %:

$$P_5 = \frac{M_2}{M} \cdot 100, \quad (5.61)$$

$$P_5 = \frac{142,45}{2484,51} \cdot 100 = 5,73. \quad (5.62)$$

Об'ємний вміст H_2O в суміші газів, %:

$$P_6 = \frac{M_3}{M} \cdot 100, \quad (5.63)$$

$$P_6 = \frac{383,77}{2484,51} \cdot 100 = 15,45. \quad (5.64)$$

Об'ємний вміст N_2 в суміші газів, %:

$$P_7 = \frac{M_4}{M} \cdot 100, \quad (5.65)$$

$$P_7 = \frac{1717,78}{2484,51} \cdot 100 = 69,14. \quad (5.66)$$

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загальна маса продуктів реакцій, кг за годину:

$$N = N_1 + N_2 + N_3 + N_4, \quad (5.67)$$

$$N = 7215,01 + 4558,29 + 6907,98 + 48097,88 = 66779,16. \quad (5.68)$$

Масова частка NO в суміші газів, %:

$$G_4 = \frac{N_1}{N} \cdot 100, \quad (5.69)$$

$$G_4 = \frac{7215,01}{66779,16} \cdot 100 = 10,8. \quad (5.70)$$

Масова частка O₂ в суміші газів, %:

$$G_5 = \frac{N_2}{N} \cdot 100, \quad (5.71)$$

$$G_5 = \frac{4558,29}{66779,16} \cdot 100 = 6,83. \quad (5.72)$$

Масова частка H₂O в суміші газів, %:

$$G_6 = \frac{N_3}{N} \cdot 100, \quad (5.73)$$

$$G_6 = \frac{6907,98}{66779,16} \cdot 100 = 10,34. \quad (5.74)$$

Масова частка N₂ в суміші газів, %:

$$G_7 = \frac{N_4}{N} \cdot 100, \quad (5.75)$$

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$G_4 = \frac{44376,61}{48097,88} \cdot 100 = 72,03. \quad (5.76)$$

Всі розрахунки, які були проведені вище, представлені в таблиці (5.1).

Таблиця 5.1 – Матеріальний баланс конверсії аміаку

Компонент	Статті приходу				Статті витрат			
	нм ³ /год	%об.	кг/год.	%мас.	нм ³ /год.	%об.	кг/год	%мас.
NH ₃	5731,07	10,57	4349,47	6,51	-	-	-	-
O ₂	10182,71	18,78	14546,72	21,78	6381,6	10,85	4558,29	6,83
N ₂	38306,37	70,65	47882,96	71,71	38478,3	65,40	48097,88	72,03
NO	-	-	-	-	5387,2	9,16	7215,01	10,8
H ₂ O	-	-	-	-	8596,6	14,6	6907,98	10,34
Разом	54220,15	100	66779,16	100	58843,82	100	66779,15	100

5.2 Розрахунок теплового балансу

Вихідними даними для розрахунку є результати матеріального балансу і задана температура нітрозних газів.

Температура конверсії $t_k = 900^\circ\text{C}$.

Температура аміаку на вході у змішувач $t_{NH_3} = 100^\circ\text{C}$.

Температура АПС визначається з рівняння теплового балансу:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_4 + Q_5. \quad (5.77)$$

Прихід теплоти Q_1 реакції окиснення аміаку (5.1), кДж/год.:

$$Q_1 = 907300 \cdot \alpha_1 \cdot n(NH_3)^* / 4, \quad (5.78)$$

де 907300 – тепловий ефект реакції (5.1), кДж/кмоль;

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

α_1 – ступінь конверсії аміаку, частки;

$n(NH_3)^*$ – витрата аміаку, кмоль/год.:

$$Q_1 = \frac{907300 \cdot 0,94 \cdot 255,85}{4} = 54551468. \quad (5.79)$$

Прихід теплоти Q_2 реакції окиснення аміаку (5.3) кДж/год.:

$$Q_2 = 1269100 \cdot (1 - \alpha_1) \cdot n(NH_3)^* / 4, \quad (5.80)$$

де 1269100 – тепловий ефект реакції (20.3), кДж/кмоль.

$$Q_2 = \frac{1269100 \cdot (1 - 0,94) \cdot 255,85}{4} = 4870514 \quad (5.81)$$

Теплоємність NH_3 в залежності від температури $t, ^\circ C$, визначається за рівнянням, кДж/(кмоль·гр.):

$$c_{NH_3} = 4,1868 \cdot (8,5439999 + t \cdot (0,0041 - 0,000588/1000 \cdot t)), \quad (5.82)$$

Теплоємність двоатомних газів O_2 , N_2 та NO в залежності від температури $t, ^\circ C$, становить, кДж/(кмоль·гр.):

$$c = 4,1868 \cdot (7,08 + t \cdot (0,000198 + 0,0001065/1000 \cdot t)). \quad (5.83)$$

Теплоємність H_2O , кДж/(кмоль·гр.):

$$c_{H_2O} = 4,1868 \cdot (7,76 + t \cdot (0,001548 - 0,000114/1000 \cdot t)). \quad (5.84)$$

Розраховують теплоємність NO , O_2 , N_2 , H_2O та теплоємність суміші c_k за

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

правилом адитивності за температури аміаку і конверсії $t_n=100^{\circ}\text{C}$ і $t_k=900^{\circ}\text{C}$.

Таблиця 5.2 – Розрахунок теплоємності

Теплоємність		
	t_n	T_k
NH_3	37,46	-
$\text{N}_2, \text{O}_2, \text{NO}$	29,73	30,75
H_2O	33,13	37,94
Суміш	30,55	31,80

Розраховують фізичну теплоту нітрозних газів Q_4 , кДж/год., за рівнянням:

$$Q_4 = M \cdot c_k \cdot t_k, \quad (5.85)$$

де M – витрата нітрозного газу, кмоль/год.;

c_k – теплоємність нітрозного газу, кДж/(кмоль·гр.).

$$Q_4 = \left(\frac{58843}{22,4} \right) \cdot 900 \cdot 31,80 = 75182536. \quad (5.86)$$

Фізична теплота АПС Q_3 , кДж/год., визначається за рівнянням:

$$Q_3 = K \cdot c_0 \cdot t_0, \quad (5.87)$$

де K – витрата АПС, кмоль/год.;

c_0 – теплоємність АПС, кДж/(кмоль·гр.);

t_0 – невідома температура АПС, $^{\circ}\text{C}$.

Втрати теплоти Q_5 розраховуємо за рівнянням, кДж/год.:

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_5 = Q_4 \cdot 0,01, \quad (5.88)$$

$$Q_5 = 75182536 \cdot 0,01 = 751825,36. \quad (5.89)$$

Фізична теплота АПС Q_3 , кДж/год., визначається за рівнянням:

$$Q_3 = Q_4 + Q_5 - Q_1 - Q_2. \quad (5.90)$$

$$Q_3 = 75182536 + 751825,36 - 54551468 - 4870514 = 16512381. \quad (5.91)$$

Температура АПС становить, °С:

$$t_0 = Q_3 / (c_0 \cdot K), \quad (5.92)$$

де K – витрата АПС, кмоль/год.;

$$t_0 = \frac{16512381}{2420,54 \cdot 30,55} = 223,32. \quad (5.93)$$

Для забезпечення даної температури АПС, яка надходить до КА, необхідно підігріти повітря до температури:

$$t_{нов.} = \frac{Q_3 - \frac{V_{NH_3}^0}{22,4} \cdot c_{NH_3}^t \cdot t_{NH_3}}{\left(\frac{V_{O_2}^0 + V_{N_2}^0}{22,4} \right) \cdot 29,5}, \quad (5.94)$$

Теплоємність аміаку на вході у змішувач при температурі 100 °С становить 37,46 кДж/(кмоль·гр.). Температура повітря становитиме, °С:

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$t_{нов} = \frac{16512381 - \frac{5731,07}{22,4} \cdot 37,46 \cdot 100}{\left(\frac{10182,71 + 38306,37}{22,4} \right) \cdot 29,5} = 243,57^{\circ}C. \quad (5.95)$$

Результати розрахунків, що проведено вище, наведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Тепловий баланс конверсії аміаку

Прихід			Вихід		
Стаття	кДж/год.	%	Стаття	кДж/год.	%
Теплота реакції утворення NO	54551469	71,84	Теплота нітрозних газів	75182536	99
Теплота реакції утворення N ₂	4870514	6,42			
Фізична теплота АПС	16512381	21,74	Втрати тепло-ти	751825,36	1
Всього:	75934362	100	Всього:	75934362	100

6 ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

6.1 Розрахунок та вибір технологічного реактора

Розрахунок контактного апарату

Вихідні дані для відділення конверсії аміаку вітчизняного цеху виробництва нітратної кислоти потужністю 15 т/год (схема під єдиним тиском 0,73 МПа):

Діаметр платиногового дроту $d = 0,009$ см, число плетінь на 1 см^2 сітки $n = 1024$.

Активна поверхня сітки $S_{akt} = 1,81 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

Коефіцієнт запасу каталізатору $K_3 = 2$.

Діаметр стандартної сітки $Dr = 1,65$ м.

Вільний об'єм сітки $EPS = 0,548$.

Таблиця 6.1 – Склад газу на вході в конвертор

Компонент	Статті приходу			
	нм ³ /год	%об.	кг/год.	%мас.
NH ₃	5731,07	10,57	4349,47	6,51
O ₂	10182,71	18,78	14546,72	21,78
N ₂	38306,37	70,65	47882,96	71,71
Разом	54220,15	100	66779,16	100

Ступінь конверсії аміаку, $\alpha_1 = 0,94$.

Температура газу на вході в реактор, °C $t_0 = 223,32$.

Температура газу на виході з каталізатору, °C $t_k = 900$.

- Проводять попередні розрахунки.

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 6.1 заповнюється за результатами стехіометричних розрахунків згідно вище наведених рівнянь.

Таблиця 6.2 – Склад газу на виході з конвертора

Статті витрат				
Компонент	нм ³ /год.	%об.	кг/год	%мас.
NH ₃	-	-	-	-
O ₂	6381,6	10,85	4558,29	6,83
N ₂	38478,3	65,40	48097,88	72,03
NO	5387,2	9,16	7215,01	10,8
H ₂ O	8596,6	14,6	6907,98	10,34
Разом	58843,82	100	66779,15	100

Переводимо температуру t_0 і t_K в T_0 і T_K , К.

$$T_0 = 273 + t_0 = 273 + 223,32 = 496,32; \quad (6.1)$$

$$T_K = 273 + t_K = 273 + 900 = 1173. \quad (6.2)$$

Розраховують середньологарифмічну температуру газової суміші ΔT .

$$\Delta T = \frac{T_K - T_0}{\ln\left(\frac{T_K}{T_0}\right)} = \frac{1173 - 496,32}{\ln\left(\frac{1173}{496,32}\right)} = 786,75. \quad (6.3)$$

Розглядають вихідну суміш (таблиця 6.1) як бінарну: аміак і азот разом з киснем (обидва газу двохатомні з близькими властивостями).

Кінематична в'язкість газової суміші становить $1,4204 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$.

Бінарний коефіцієнт дифузії газової суміші становить $1,0101 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$.

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 6.1.1 Розрахунок кількості каталізатора.

Надходження та витрати газів в перерахунку на робочі умови становить, м³/год.:

$$V_{0(P.V.)} = \frac{V_0 \cdot T_0}{273 \cdot P} = \frac{54220,15 \cdot 496,32}{273 \cdot 7,3} = 13503,14; \quad (6.4)$$

$$V_{K(P.V.)} = \frac{V_K \cdot T_K}{273 \cdot P} = \frac{58843,72 \cdot 1173}{273 \cdot 7,3} = 34634,79. \quad (6.5)$$

Концентрація аміаку, кмоль/м³, враховуючи робочі умови:

$$C(NH_{30}) = \frac{V_{NH_3}^0}{V_{0(P.V.)} \cdot 22,4} = \frac{5731,07}{13503,14 \cdot 22,4} = 0,018947; \quad (6.6)$$

$$C(NH_{3K}) = \frac{V_{NH_3}^K}{V_{K(P.V.)} \cdot 22,4} = \frac{343,864}{34634,79 \cdot 22,4} = 0,0004432, \quad (6.7)$$

де $V_{NH_3}^0$ – витрата аміаку згідно таблиці 6.1, м³/год,

$V_{NH_3}^K = V_{NH_3}^0 \cdot (1 - \alpha_1)$ – врахування основної реакції окиснення.

Рушійна сила процесу:

$$\Delta C = \frac{C(NH_{30}) - C(NH_{3K})}{\ln\left(\frac{C(NH_{30})}{C(NH_{3K})}\right)} = \frac{0,018947 - 0,0004432}{\ln\left(\frac{0,018947}{0,0004432}\right)} = 0,00493. \quad (6.8)$$

Еквівалентний діаметр дроту, м:

$$d_{екв} \approx d \cdot 10^{-2} = 0,00009 \quad (6.9)$$

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Площа перетину реактору, м²:

$$Sr = \frac{\pi \cdot (Dr)^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 1,65^2}{4} = 2,137. \quad (6.10)$$

Середньоарифметична витрата газу за нормальних умов, м³/год.:

$$\Delta V = \frac{V_0 + V_K}{2} = \frac{54220,15 + 58843,72}{2} = 56531,93. \quad (6.11)$$

Середньоарифметична витрата газу за робочих умов, м³/год.:

$$\Delta V_{P.Y.} = \frac{\Delta V \cdot \Delta T}{273 \cdot P} = \frac{56531,93 \cdot 786,75}{273 \cdot 7,3} = 22317,33. \quad (6.12)$$

Середня лінійна швидкість W_l , м/с, за робочих умов:

$$W_l = \frac{\Delta V_{P.Y.}}{Sr \cdot EPS \cdot 3600} = \frac{22317,33}{2,137 \cdot 0,548 \cdot 3600} = 5,29 \quad (6.13)$$

Коефіцієнт масовіддачі β , м/с:

$$\beta = \frac{0,395 \cdot W_l^{2/3} \cdot D_l^{2/3}}{d_{екк}^{1/3} \cdot v^{2/3}} = \frac{0,395 \cdot 5,29^{2/3} \cdot (1,0101 \cdot 10^{-5})^{2/3}}{0,00009 \cdot (1,4204 \cdot 10^{-5})^{2/3}} = 0,453. \quad (6.14)$$

Швидкість процесу окиснення, кмоль/с:

$$\omega = \frac{V_{NH_3}^0 - V_{NH_3}^K}{22,4 \cdot 3600} = \frac{5731,07 - 343,864}{22,4 \cdot 3600} = 0,0668. \quad (6.15)$$

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зовнішня поверхня каталізатору, м², необхідні для реалізації процесу:

$$F = \frac{\omega}{\beta \cdot \Delta C} = \frac{0,0668}{0,453 \cdot 0,00493} = 289,93. \quad (6.16)$$

Кількість сіток, шт.:

$$m_l = \frac{K_s \cdot F}{Sr \cdot Sakt} = \frac{2 \cdot 29,93}{2,137 \cdot 1,81} = 14,91. = 15 \quad (6.17)$$

6.1.2 Кінетичний розрахунок конвертора

Розрахунок базується на визначенні часу контактування газової суміші з каталізатором за рівнянням швидкості процесу і необхідної для цього поверхні.

Вихідні дані:

Тиск, атм: $P = 7,3$.

Ступінь конверсії аміаку до NO : $\alpha_1 = 0,94$.

Температура газу на виході з каталізатору, К: $T = 1173$.

Визначають граничний ступінь перетворення NH_3 у NO , частка:

$$\alpha_{\text{пер}} = \frac{3,9 \cdot T_k^{0,46} \cdot P^{-0,02}}{100}; \quad (6.18)$$

$$\alpha_{\text{пер}} = \frac{3,9 \cdot 1173^{0,46} \cdot 7,3^{-0,02}}{100} = 0,967. \quad (6.19)$$

Визначають константу швидкості:

$$K = A \cdot e^{\left(\frac{-33494}{8,31T_K}\right)}, \quad (6.20)$$

де A – коефіцієнт, що розраховується за формулою (6.19):

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$m_l = \frac{K_s \cdot F}{Sr \cdot Sakt} = \frac{2 \cdot 29,93}{2,137 \cdot 1,81} = 14,91. = 15 \quad (6.21)$$

$$A = 9 \cdot 10^5 \cdot a^{(-0,013 \cdot P^2)} - 3,5 \cdot 10^3 \cdot P + 7,8 \cdot 10^5, \quad (6.22)$$

$$A = 9 \cdot 10^5 \cdot 0,97235^{(-0,013 \cdot 8^2)} - 3,5 \cdot 10^3 \cdot 8 + 7,8 \cdot 10^5 = 1673243 \quad (6.23)$$

Тоді:

$$K = 1673243 \cdot 2,71^{\left(\frac{-33494}{9,31 \cdot 1173}\right)} = 54428. \quad (6.24)$$

Визначення часу контактування АПС з каталізатором, с:

$$\tau = \frac{1}{K} (\alpha_{nep} \ln \frac{\alpha_{nep}}{\alpha_{nep} - \alpha_1}), \quad (6.25)$$

$$\tau = \frac{1}{54428} \cdot (0,967 \cdot \ln \frac{0,967}{0,967 - 0,94} - 0,94) = 6,63 \cdot 10^{-5}; \quad (6.26)$$

де α_1 – ступінь перетворення NH_3 у NO , частка.

Кількість платино паладієвих сіток розраховують за формулою:

$$m = 1,43 + 1,57 \cdot P. \quad (6.27)$$

$$m = 1,43 + 1,57 \cdot 7,73 = 13,89 = 14 \text{ шт.} \quad (6.28)$$

Витрата АПС, nm^3/c , згідно таблиці 6.1:

$$V_0 = \frac{V_0}{3600} = \frac{54220,15}{3600} = 15,06. \quad (6.29)$$

Площа однієї контактної сітки, m^2 :

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$S = \frac{100 \cdot \tau \cdot V_0 \cdot T_k \cdot P_0}{1,1 \cdot m \cdot d \cdot P \cdot 273 \cdot (1 - 1,57 \cdot d \cdot (n)^{1/2})}, \quad (6.30)$$

де $P_0=1$ – розмірність величин згідно вихідних даних.

$$S = \frac{100 \cdot 6,63 \cdot 10^{-5} \cdot 15,06 \cdot 1173 \cdot 1}{1,1 \cdot 14 \cdot 0,009 \cdot 7,3 \cdot 273 \cdot (1 - 1,57 \cdot 0,009 \cdot 1024^{1/2})} = 2,45. \quad (6.31)$$

Діаметр платиноїдної сітки (доступної для суміші – перефінційна частина сітки зайнята під її кріплення), м:

$$D = \left(\frac{4 \cdot S}{\pi} \right)^{1/2} = \left(\frac{4 \cdot 2,45}{3,14} \right)^{1/2} = 1,7. \quad (6.32)$$

Загальної площа поверхні сіток, м²:

$$F_2 = S \cdot m \cdot Sakt = 2,45 \cdot 14 \cdot 1,81 = 87,42. \quad (6.33)$$

Напруженість 1 м² активної поверхні сіток у добу, кг/(м² · добу):

$$N_s = \frac{m_{NH_3} \cdot 24}{F_2} = \frac{4348,47 \cdot 24}{87,42} = 1193,77, \quad (6.34)$$

де витрату аміаку m_{NH_3} , кг/год, надано в таблиці 6.1.

Загальна маса сіток, якщо маса 1 м² сіток складає 875 г:

$$G = 875 \cdot m \cdot S = 875 \cdot 14 \cdot 87,42 = 1070895. \quad (6.35)$$

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Напруженість 1 г платинових сіток на добу, кг NH_3 / (г · добу):

$$N_g = \frac{(m_{NH_3} \cdot 24)}{G} = \frac{4349,47 \cdot 24}{1070895} = 97,47. \quad (6.36)$$

Основні елементи контактного апарату для окиснення аміаку виготовлені із нержавіючої сталі 08X18H10T, внутрішній циліндр і конус з нікелю, а підтримуючий пристрій з ніхрому Х15Н60. Його продуктивність складає 15 т МНГ/годину. Апарат працює при температурі аміачно-повітряної суміші 223,32 °С [1].

6.2 Розрахунок і вибір основного технологічного обладнання

6.2.1 Розрахунок котла-утилізатора нітрозних газів

Котел Г-420БПЕ – це горизонтальний двоходовий газотрубний теплообмінник з прямими трубками. В об'ємі котла частково проходить реакція окиснення оксиду азоту в двооксид азоту з виділенням теплоти.

Вихідні дані:

Температура нітрозного газу на вході до КУ, °С: $t_{\text{вх}} = 900$.

Температура нітрозного газу на виході з КУ, °С: $t_{\text{вих}} = 315$.

Таблиця 6.3 – Склад газу на вході до КУ:

Прихід				
Компонент	м ³ /год	%об.	кг/год	%мас.
NO ₂	0	0	0	0
NO	5387,21	9,15511	7215	10,919
O ₂	6381,6	10,845	9116,6	6,7646
H ₂ O	8596,6	14,6092	6908	10,345
N ₂	38478,3	65,3907	48098	71,972
Всього	58843,7	100	71337	100

Тиск в КУ, атм.: $P = 7,3$.

Товщина трубок, м: $S = 0,003$.

Діаметр трубок, м: $d_{\text{тр}} = 0,05$.

Довжина трубок, м: $l_{\text{тр}} = 6,3$.

Кількість трубок: $n_{\text{тр}} = 480$.

Температура живильної води на вході до КУ, °C: $t_{\text{вх}}^{H_2O} = 140$.

Тиск одержаної пари, атм., $P_{\text{пару}} = 15$.

Температура перегрітої пари на виході із КУ, °C: $t_{\text{пару}} = 250$.

Ентальпія живильної води, кДж/кг: $i_{\text{води}} = 589,93$.

Ентальпія пари, кДж/кг: $i_{\text{пари}} = 2922,428$.

Втрати теплоти в навколишнє середовище 2%.

6.2.1.1 Розрахунок матеріального балансу КУ.

Мета розрахунку: визначення ступеня окиснення оксиду азоту, складання матеріального балансу.

Середня температура нітрозних газів, °C:

$$\Delta t = \frac{t_{\text{вих}} - t_{\text{вх}}}{\ln \frac{t_{\text{вих}}}{t_{\text{вх}}}} = \frac{900 - 315}{\ln \frac{900}{315}} = 557,24. \quad (6.37)$$

Вільний об'єм котла-утилізатора, м³:

$$V_{\text{вл}} = V_{\text{мп}} = 0,785 \cdot (d_{\text{мп}} - 2 \cdot S) \cdot l_{\text{мп}} \cdot n_{\text{мп}} = 0,785 \cdot (0,05 - 2 \cdot 0,003)^2 \cdot 6,3 \cdot 480 = 4,6. \quad (6.38)$$

Витрата нітрозного газу в робочих умовах, м³/с:

$$V_0 = \frac{V_{\text{нз}} \cdot (\Delta t + 273)}{3600 \cdot 273 \cdot P} = \frac{58843,72 \cdot (557,24 + 273)}{3600 \cdot 273 \cdot 8} = 6,21. \quad (6.39)$$

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Час перебування газу в котлі-утилізаторі, с:

$$\tau = \frac{V_{\text{вл}}}{V_0} = \frac{4,6}{6,21} = 0,74. \quad (6.40)$$

Константа швидкості реакції окиснення оксиду азоту(II), $\text{атм}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$:

$$K = 4,2 \cdot \frac{705 - \Delta t}{36 + \Delta t} = 4,2 \cdot \frac{705 - 557,24}{36 + 577,24} = 1,04613. \quad (6.41)$$

Ступінь окиснення α можна визначити із рівняння:

$$K \cdot \tau \cdot P^2 = \frac{1}{(b-a)^2} \cdot \left[\frac{(b-a) \cdot \alpha}{(1-\alpha) \cdot a} + \ln \left(\frac{1-\alpha}{1-\alpha \cdot \frac{a}{b}} \right) \right]. \quad (6.42)$$

Половинна початкова концентрація оксиду азоту(II) становить, частка:

$$a = \frac{C_{NO}^0}{2 \cdot 100} = \frac{9,16}{2 \cdot 100} = 0,0458. \quad (6.43)$$

Початкова концентрація кисню, частка:

$$b = \frac{C_{O_2}^0}{100} = \frac{10,85}{100} = 0,1085. \quad (6.44)$$

Тоді рівняння для визначення ступеня окиснення набуде вигляду:

$$0 = \frac{1}{(0,108 - 0,0458)^2} \cdot \left[\frac{(0,108 - 0,0458) \cdot \alpha}{(1-\alpha) \cdot 0,0458} + \ln \left(\frac{1-\alpha}{1-\alpha \cdot \frac{0,0458}{0,108}} \right) \right] - 1,04613 \cdot 0,74 \cdot 8^2. \quad (6.45)$$

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За допомогою функції «Подбор параметра» знаходимо, що ступінь окиснення становить 0,098.

В результаті окиснення утворюється оксиду азоту(IV), $\text{нм}^3/\text{год.}$:

$$V_{\text{NO}_2} = V_{\text{NO}}^0 \cdot \alpha = 5387,2 \cdot 0,098 = 525,5. \quad (6.46)$$

Витрата кисню, на виході із котла-утилізатора, $\text{нм}^3/\text{год.}$:

$$V_{\text{O}_2} = V_{\text{O}_2}^0 - 0,5 \cdot V_{\text{NO}}^0 \cdot \alpha = 3490,1 - 0,5 \cdot 5387,2 \cdot 0,098 = 3233,15. \quad (6.47)$$

Витрата оксиду азоту(II) на виході із котла-утилізатора, $\text{нм}^3/\text{год.}$:

$$V_{\text{NO}} = V_{\text{NO}}^0 \cdot (1 - \alpha) = 5387,2 \cdot (1 - 0,098) = 4861,7. \quad (6.48)$$

Дані заносимо до таблиці матеріального балансу.

Таблиця 6.5 – Матеріальний баланс котла-утилізатора

Прихід					Витрата			
Компонент	$\text{м}^3/\text{год}$	%об.	$\text{кг}/\text{год}$	%мас.	$\text{м}^3/\text{год}$	%об.	$\text{кг}/\text{год}$	%мас.
NO_2	0	0	0	0	525,50	0,89705	1079,2	1,512
NO	5387,21	9,155	7215	10,114	4861,70	8,29912	6511,2	9,127
O_2	6381,6	10,845	9116,6	12,78	6118,85	10,4451	8741,2	12,25
H_2O	8596,6	14,6092	6908	10,345	8596,60	14,6747	6908	10,345
N_2	38478,3	65,390	48098	71,972	38478,3	65,684	48098	71,972
Всього	58843,7	100	71337	100	58580,96	100	71337	100

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6.2.1.2 Розрахунок теплового балансу

Мета розрахунку: визначення витрати живильної води і складання теплового балансу.

Теплоємність двоатомних газів O_2 , N_2 та NO в залежності від температури t , $^{\circ}C$, становить, $кДж/(кмоль \cdot гр.)$:

$$c = 4,1868 \cdot (7,08 + t \cdot (0,000198 + 0,0001065/1000 \cdot t)). \quad (6.49)$$

Теплоємність H_2O , $кДж/(кмоль \cdot гр.)$:

$$c_{H_2O} = 4,1868 \cdot (7,76 + t \cdot (0,001548 - 0,000114/1000 \cdot t)). \quad (6.50)$$

Теплоємність H_2O , $кДж/(кмоль \cdot гр.)$:

$$c_{NO_2} = 4,1868 \cdot (7,947 + 0,00339 \cdot t + 0,000000282 \cdot t^2) \quad (6.51)$$

Розраховують теплоємність компонентів на вході та виході із КУ, $кДж/(кмоль \cdot гр.)$:

Таблиця 6.6 – Розрахунок теплоємності

Теплоємність		
Компонент	Вхід	Вихід
O_2 , N_2 , NO	30,75	29,95
NO_2	-	37,86
H_2O	37,94	34,48

За правилом адитивності розраховуємо теплоємність нітрозного газу на вході та виході із котла-утилізатора, $кДж/(кмоль \cdot гр.)$:

$$c_{ex} = c_{ex} \cdot \frac{C_{NO}^0 + C_{O_2}^0 + C_{N_2}^0}{100} + c_{H_2O}^{ex} \cdot \frac{C_{H_2O}^0}{100} = 30,75 \cdot \frac{9,16 + 10,85 + 65,39}{100} + 37,94 \cdot \frac{14,61}{100} = 31,79; \quad (6.52)$$

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$c_{вих} = c_{вих} \cdot \frac{C_{NO} + C_{O_2} + C_{N_2}}{100} + c_{H_2O}^{вих} \cdot \frac{C_{H_2O}}{100} + c_{NO_2}^{вих} \cdot \frac{C_{NO_2}}{100}; \quad (6.53)$$

$$c_{вих} = 29,95 \cdot \frac{8,29 + 10,45 + 65,68}{100} + 34,48 \cdot \frac{14,67}{100} + 37,86 \cdot \frac{0,89}{100} = 30,68. \quad (6.54)$$

Прихід теплоти з нітрозними газами, МДж/год.:

$$Q_1 = \frac{V_{вх} \cdot c_{вх} \cdot t_{вх}}{22,4 \cdot 1000} = \frac{58843,72 \cdot 31,79 \cdot 900}{22,4 \cdot 1000} = 75182,5. \quad (6.55)$$

Теплота реакції окиснення оксиду азоту(II), МДж/год.:

$$Q_2 = 61,655 \cdot \frac{V_{NO}^0 \cdot \alpha}{22,4 \cdot 1000} = 61,655 \cdot \frac{5387,2 \cdot 0,097}{22,4 \cdot 1000} = 1,45. \quad (6.56)$$

Теплота, що вноситься із живильною водою, МДж/год.:

$$Q_3 = \frac{G_n \cdot i_{води}}{1000} = \frac{G_n \cdot 589,983}{1000} = 0,58998 \cdot G_n. \quad (6.57)$$

Теплота, що виноситься нітрозними газами, МДж/год.:

$$Q_4 = \frac{V_{вих} \cdot c_{вих} \cdot t_{вих}}{22,4 \cdot 1000} = \frac{58580,96 \cdot 30,68 \cdot 315}{22,4 \cdot 1000} = 25331,5. \quad (6.58)$$

Втрати теплоти в навколишнє середовище, МДж/год.:

$$Q_5 = 0,02 \cdot (Q_1 + Q_2 + Q_3) = 0,02 \cdot (75182,5 + 1,45 + 0,58998 \cdot G_n) = 1503,69 + 0,0118 \cdot G_n. \quad (6.59)$$

Теплота, що виноситься перегрітим паром із КУ, МДж/год.:

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_6 = \frac{G_n \cdot i_{\text{пару}}}{1000} = \frac{G_n \cdot 2922,482}{1000} = 2,9225 \cdot G_n. \quad (6.60)$$

Записують рівняння теплового балансу і вирішимо його відносно кількості отриманого пару, кг/год.

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_4 + Q_5 + Q_6; \quad (6.61)$$

$$75182,5 + 1,45 + 0,58998 \cdot G_n = 24740,94 + 1473,5 + 0,0118 \cdot G_n + 2,9225 \cdot G_n; \quad (6.62)$$

$$2,3443 \cdot G_n = 48348,75; \quad (6.63)$$

$$G_n = 20624. \quad (6.64)$$

За відомою витратою пари розрахуємо, МДж/год.:

$$Q_3 = 0,58998 \cdot G_n = 0,58998 \cdot 20624 = 12166,7. \quad (6.65)$$

$$Q_5 = 1503,69 + 0,0118 \cdot G_n = 1503,69 + 0,0118 \cdot 20624 = 1747,03. \quad (6.66)$$

$$Q_6 = 2,9225 \cdot G_n = 2,9225 \cdot 20624 = 60272,1. \quad (6.67)$$

Таблиця 6.7 – Тепловий баланс котла-утилізатора

Статті приходу			Статті витрат		
Стаття	МДж/год.	%	Стаття	МДж/год.	%
Теплота нітрозних газів	75182,53	86,0698	Теплота нітрозних газів	25331,5291	28,9998
Теплота окиснення NO	1,446423	0,00166	Втрати теплоти	1747,02546	2,00001
Теплота з живильною водою	12166,71	13,9286	Теплота з паром	60272,0995	69,0002
Разом	87350,68	100	Разом	87350,654	100

Котел-утилізатор виготовлений з вуглецевої сталі, футерований: жаростійкою цеглою, жаростійким глиноземом, шамотобетоном.

6.2.2 Розрахунок окиснювача з підігрівачем повітря

Окиснювач з підігрівачем повітря призначений для окиснення нітрозних газів і підігріву повітря.

Апарат складається із окиснювача із вбудованим у верхню частину його підігрівачем повітря.

Окиснювач призначений для окиснення оксиду азоту(II) до оксиду азоту(IV) киснем, що міститься в нітрозному газі.

Матеріал апарату – нержавіюча сталь, вуглецева сталь, ультрасупертонке волонко УТВ-10.

Вихідні дані:

Таблиця 6.8 – Склад газу на вході до окиснювача:

Компонент	м ³ /год	%об.
NO ₂	520,61218	0,95887
NO	4816,4578	8,87103
O ₂	2839,4339	5,22971
H ₂ O	8426,95	15,5209
N ₂	37690,8	69,4195
Всього	54294,254	100

Температура нітрозного газу на вході до окиснювача, °C: $t_{\text{вх}} = 315$.

Температура нітрозного газу на виході з окиснювача, °C: $t_{\text{вих}} = 250$.

Тиск в апараті, атм.: $P = 7,3$.

Внутрішній діаметр окиснювача, м: $D = 3,2$.

Висота окислювального об'єму, м: $H = 8$.

Температура повітря на вході в підігрівач, °C: $t_{\text{вх}}^{\text{нов}} = 170$.

Температура повітря на виході з підігрівача, °C: $t_{\text{вих}}^{\text{нов}} = 243,57$

Витрата повітря в підігрівач, м³/год.: $V_{\text{пов}} = 48489$.

Втрати теплоти в навколишнє середовище 2%

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6.2.2.1 Розрахунок матеріального балансу окиснювача з підігрівачем повітря

Мета розрахунку: визначення ступеня окиснення оксиду азоту, складання матеріального балансу.

Середня температура нітрозних газів, °C:

$$\Delta t = \frac{t_{вух} - t_{ох}}{\ln \frac{t_{вух}}{t_{ох}}} = \frac{315 - 250}{\ln \frac{315}{250}} = 281,25. \quad (6.68)$$

Вільний окиснювальний об'єм апарату, м³:

$$V_{віль} = 0,785 \cdot D^2 \cdot H = 0,785 \cdot 3,2^2 \cdot 8 = 64,3. \quad (6.70)$$

Витрата нітрозного газу в робочих умовах, м³/с:

$$V_0 = \frac{V_{нз} \cdot (\Delta t + 273)}{3600 \cdot 273 \cdot P} = \frac{54294,254 \cdot (281,25 + 273)}{3600 \cdot 273 \cdot 7,3} = 4,19. \quad (6.71)$$

Час перебування газу в окиснювачі, с:

$$\tau = \frac{V_{віль}}{V_0} = \frac{64,3}{4,19} = 15,33. \quad (6.72)$$

Константа швидкості реакції окиснення оксиду азоту(II), атм⁻²·с⁻¹:

$$K = 4,2 \cdot \frac{705 - \Delta t}{36 + \Delta t} = 4,2 \cdot \frac{705 - 281,25}{36 + 281,25} = 5,61. \quad (6.73)$$

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ступінь окиснення α можна визначити із рівняння:

$$K \cdot \tau \cdot P^2 = \frac{1}{(b-a)^2} \cdot \left[\frac{(b-a) \cdot \alpha}{(1-\alpha) \cdot a} + \ln \left(\frac{1-\alpha}{1-\alpha \cdot \frac{a}{b}} \right) \right] \quad (6.74)$$

Половинна початкова концентрація оксиду азоту(II) становить, частка:

$$a = \frac{C_{NO}^0}{2 \cdot 100} = \frac{8,87}{2 \cdot 100} = 0,0443. \quad (6.75)$$

Початкова концентрація кисню, частка:

$$b = \frac{C_{O_2}^0}{100} = \frac{5,23}{100} = 0,0523. \quad (6.76)$$

Тоді рівняння для визначення ступеня окиснення набуде вигляду:

$$0 = \frac{1}{(0,0523 - 0,0443)^2} \cdot \left[\frac{(0,0523 - 0,0443) \cdot \alpha}{(1-\alpha) \cdot 0,0443} + \ln \left(\frac{1-\alpha}{1-\alpha \cdot \frac{0,0443}{0,0523}} \right) \right] - 5,61 \cdot 15,33 \cdot 7,3^2. \quad (6.77)$$

За допомогою функції «Подбор параметра» знайдено, що ступінь окиснення становить 0,842.

В результаті окиснення утворюється оксиду азоту(IV), $\text{нм}^3/\text{год.}$:

$$V_{NO_2} = V_{NO_2}^0 + V_{NO}^0 \cdot \alpha = 520,61 + 4816,46 \cdot 0,842 = 4576,29 \quad (6.78)$$

Витрата кисню, на виході із котла-утилізатора, $\text{нм}^3/\text{год.}$:

$$V_{O_2} = V_{O_2}^0 - 0,5 \cdot V_{NO}^0 \cdot \alpha = 2839,43 - 0,5 \cdot 4816,46 \cdot 0,842 = 811,59. \quad (6.79)$$

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Витрата оксиду азоту(II) на виході із котла-утилізатора, $\text{нм}^3/\text{год.}$:

$$V_{NO} = V_{NO}^0 \cdot (1 - \alpha) = 4816,46 \cdot (1 - 0,842) = 760,78. \quad (6.80)$$

Дані заносимо до таблиці матеріального балансу.

Таблиця 6.9 – Матеріальний баланс окиснювача

Статті приходу					Статті витрат			
Компонент	$\text{м}^3/\text{год}$	%об.	$\text{кг}/\text{год}$	%мас.	$\text{м}^3/\text{год}$	%об.	$\text{кг}/\text{год}$	%мас.
NO_2	520,612	0,95887	1069,11	1,6332	4576,29	8,755703979	9397,74	14,3562
NO	4816,457	8,87103	6450,61	9,8541	760,778	1,455576301	1018,9	1,55649
O_2	2839,433	5,22971	4056,33	6,19655	811,594	1,552801709	1159,42	1,77116
H_2O	8426,95	15,5209	6771,66	10,3445	8426,95	16,12306908	6771,66	10,3445
N_2	37690,8	69,4195	47113,5	71,9716	37690,8	72,11284893	47113,5	71,9716
Всього	54294,25	100	65461,2	100	52266,4	100	65461,2	100

6.2.2.2 Розрахунок теплового балансу окиснювача з підігрівачем повітря

Мета розрахунку: визначення температури нітрозного газу на виході із окиснювача.

Теплоємність двоатомних газів O_2 , N_2 та NO в залежності від температури t , $^\circ\text{C}$, становить, $\text{кДж}/(\text{кмоль} \cdot \text{гр.})$:

$$c = 4,1868 \cdot (7,08 + t \cdot (0,000198 + 0,0001065/1000 \cdot t)). \quad (6.81)$$

Теплоємність H_2O , $\text{кДж}/(\text{кмоль} \cdot \text{гр.})$:

$$c_{\text{H}_2\text{O}} = 4,1868 \cdot (7,76 + t \cdot (0,001548 - 0,000114/1000 \cdot t)). \quad (6.82)$$

Теплоємність NO_2 , $\text{кДж}/(\text{кмоль} \cdot \text{гр.})$:

$$c_{\text{NO}_2} = 4,1868 \cdot (7,947 + 0,00339 \cdot t + 0,000000282 \cdot t^2) \quad (6.83)$$

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розраховують теплоємність компонентів на вході та виході із окиснювача та повітря на вході та виході із підігрівача, кДж/(кмоль·гр.):

Таблиця 6.10 – Розрахунок теплоємності

Теплоємність			Повітря	
Компонент	Вхід	Вихід	170 С	230 С
O ₂ , N ₂ , NO	29,947919	29,8777	29,7964	29,8777
NO ₂	37,860527	36,8946	-	-
H ₂ O	34,483776	34,08	33,5776	34,0399

За правилом адитивності розраховуємо теплоємність нітрозного газу на вході та виході із окиснювача та повітря на вході та виході із нагрівача, кДж/(кмоль·гр.):

$$c_{\text{вх}} = c^{\text{вх}} \cdot \frac{C_{\text{NO}}^0 + C_{\text{O}_2}^0 + C_{\text{N}_2}^0}{100} + c_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{вх}} \cdot \frac{C_{\text{H}_2\text{O}}^0}{100} + c_{\text{NO}_2}^{\text{вх}} \cdot \frac{C_{\text{NO}_2}^0}{100}; \quad (6.84)$$

$$c_{\text{вх}} = 29,95 \cdot \frac{8,87 + 5,23 + 69,42}{100} + 34,48 \cdot \frac{15,52}{100} + 37,86 \cdot \frac{0,96}{100} = 30,73; \quad (6.85)$$

$$c_{\text{вих}} = c^{\text{вих}} \cdot \frac{C_{\text{NO}} + C_{\text{O}_2} + C_{\text{N}_2}}{100} + c_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{вих}} \cdot \frac{C_{\text{H}_2\text{O}}}{100} + c_{\text{NO}_2}^{\text{вих}} \cdot \frac{C_{\text{NO}_2}}{100}; \quad (6.84)$$

$$c_{\text{вих}} = 29,88 \cdot \frac{1,46 + 1,55 + 72,11}{100} + 34,08 \cdot \frac{16,12}{100} + 36,89 \cdot \frac{8,76}{100} = 31,17; \quad (6.85)$$

$$c_{\text{вх}}^{\text{нов}} = c_{\text{O}_2, \text{N}_2}^{170} \cdot 0,985 + c_{\text{H}_2\text{O}}^{170} \cdot 0,015 = 29,8 \cdot 0,985 + 33,58 \cdot 0,015 = 29,85; \quad (6.85)$$

$$c_{\text{вих}}^{\text{нов}} = c_{\text{O}_2, \text{N}_2}^{243,57} \cdot 0,985 + c_{\text{H}_2\text{O}}^{243,57} \cdot 0,015 = 29,88 \cdot 0,985 + 34,04 \cdot 0,015 = 29,94; \quad (6.86)$$

Прихід теплоти з нітрозними газами, МДж/год.:

$$Q_1 = \frac{V_{\text{вх}} \cdot c_{\text{вх}} \cdot t_{\text{вх}}}{22,4 \cdot 1000} = \frac{54294,25 \cdot 30,73 \cdot 315}{22,4 \cdot 1000} = 23461,1. \quad (6.87)$$

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Теплота реакції окиснення оксиду азоту(ІІ), МДж/год.:

$$Q_2 = 61,655 \cdot \frac{V_{NO}^0 \cdot \alpha}{22,4 \cdot 1000} = 61,655 \cdot \frac{4816,46 \cdot 0,842}{22,4 \cdot 1000} = 11,16. \quad (6.88)$$

Теплота, що вноситься із повітрям в нагрівач, МДж/год.:

$$Q_3 = \frac{V_{пов} \cdot c_{вх}^{пов} \cdot t_{вх}^{пов}}{22,4 \cdot 1000} = \frac{48489 \cdot 29,85 \cdot 170}{22,4 \cdot 1000} = 10769. \quad (6.89)$$

Теплота, що виноситься повітрям з нагрівача, МДж/год.:

$$Q_4 = \frac{V_{пов} \cdot c_{вих}^{пов} \cdot t_{вих}^{пов}}{22,4 \cdot 1000} = \frac{48489 \cdot 29,94 \cdot 243,57}{22,4 \cdot 1000} = 17614,12. \quad (6.90)$$

Втрати теплоти в навколишнє середовище, МДж/год.:

$$Q_5 = 0,02 \cdot (Q_1 + Q_2 + Q_3) = 0,02 \cdot (23461,1 + 11,16 + 10769) = 684,83. \quad (6.91)$$

Теплота, що виноситься нітрозними газами із окиснювача, МДж/год.:

$$Q_6 = Q_1 + Q_2 + Q_3 - Q_4 - Q_5; \quad (6.92)$$

$$Q_6 = 23461,1 + 11,16 + 10769 - 17614,12 - 684,83 = 15942,27. \quad (6.93)$$

Температура нітрозних газів на виході із окиснювача, °С:

$$t = \frac{Q_6 \cdot 22,4 \cdot 1000}{V_{HI} \cdot c_{вих}} = \frac{15942,27 \cdot 22,4 \cdot 1000}{54294,25 \cdot 31,17} = 219,2. \quad (6.94)$$

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 6.11 – Тепловий баланс окислювача з підігрівачем повітря

Стаття приходу	МДж/год.	%	Стаття витрат	МДж/год.	%
Теплота з НГ на вході до окислювача	23461,1	68,517	Теплота НГ на виході з окислювача	17614,2	51,4413
Теплота реакції окиснення	11,1631	0,0326	Теплота з повітрям із підігрівача	684,825	2
Теплота з повітрям у підігрівач	10769	31,4504	Втрати теплоти	15942,3	46,5587
Всього	34241,3	100	Всього	34241,3	100

6.2.3 Розрахунок підігрівача повітря:

Мета розрахунку: розрахувати поверхню теплообміну підігрівача повітря.

Вихідні дані:

Продуктивність агрегату за моногідратом, т/год.: $G = 15$.

Витрата повітря в підігрівач, м³/год: $V_{\text{пов}} = 48489$.

Витратанітрозного газу в підігрівач, м³/год: $V_{\text{нг}} = 26133$.

Густина повітря, кг/м³: $\rho_{\text{пов}} = 1,293$.

Густина нітроз них газів, кг/м³: $\rho_{\text{нг}} = 1,0552$.

Тиск в апараті, атм.: $P_{\text{пари}} = 7,3$.

Температура повітря на вході у підігрівач, °С: $t_{\text{пов}}^0 = 170$.

Температура повітря на виході з підігрівача, °С: $t_{\text{пов}}^{\text{к}} = 243,57$.

Температура нітрозного газу на вході до підігрівача, °С: $t_{\text{не}}^0 = 330$.

Температура нітрозного газу на виході з підігрівача, °С: $t_{\text{не}}^{\text{к}} = 219$.

Ентальпія нітрозного газу на вході до підігрівача, кДж/кг: $i_{\text{нг}} = 2960,112$.

Ентальпія нітрозного газу на виході із підігрівача, кДж/кг: $i_{\text{нг}}^{\text{к}} = 2767,23$.

Діаметр підігрівача, м: $D = 1$.

Кількість труб, шт.: $n = 747$.

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Довжина труб, м: $L = 4$.

Зовнішній діаметр трубок, м: $d_3 = 0,025$.

Внутрішній діаметр труб, м: $d_{вн} = 0,021$.

Крок труб, м: $T = 0,032$.

Відстань між перегородками, м: $H = 0,3$.

Термічний опір стінки, $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$: $\sum r = 0,0000429$.

Динамічна в'язкість повітря, $\text{Па} \cdot \text{с}$: $\mu_{нов} = 3,9 \cdot 10^{-5}$.

Теплопровідність повітря, $\text{Вт} / (\text{м} \cdot \text{град.})$: $\lambda_{нов} = 0,0395$.

Динамічна в'язкість нітрозного газу, $\text{Па} \cdot \text{с}$: $\mu_{н2} = 2,55 \cdot 10^{-5}$.

Теплопровідність повітря, $\text{Вт} / (\text{м} \cdot \text{град.})$: $\lambda_{нг} = 0,0356$.

Розрахунок:

Витрата повітря, $\text{кг} / \text{с}$:

$$G_{нов} = \frac{V_{нов} \cdot \rho_{нов}}{3600} = \frac{48489 \cdot 1,293}{3600} = 17,42. \quad (6.95)$$

Витрата нітрозних газів, $\text{кг} / \text{с}$:

$$G_{н2} = \frac{V_{н2} \cdot \rho_{нг}}{3600} = \frac{26133 \cdot 1,0552}{3600} = 7,66. \quad (6.96)$$

Середня різниця температур, $^{\circ}\text{C}$:

$$\Delta t_1 = \frac{(t_{н2}^0 - t_{нов}^к) - (t_{н2}^к - t_{нов}^0)}{\ln\left(\frac{t_{н2}^0 - t_{нов}^к}{t_{н2}^к - t_{нов}^0}\right)} = \frac{(330 - 243,57) - (219 - 170)}{\ln\left(\frac{330 - 243,57}{219 - 170}\right)} = 65,95. \quad (6.97)$$

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Розрахунок коефіцієнту тепловіддачі від повітря

Повітря йде в міжтрубному просторі теплообмінника.

Середня температура аміаку, °C:

$$\Delta t_{нов} = \frac{t_{нов}^K - t_{нов}^0}{\ln\left(\frac{t_{нов}^K}{t_{нов}^0}\right)} = \frac{243,57 - 170}{\ln\left(\frac{243,57}{170}\right)} = 204,59. \quad (6.98)$$

Густина повітря в робочих умовах, кг/м³:

$$\rho_{нов}^{p.y.} = \rho_{нов} \cdot \frac{273 \cdot P}{1,033 \cdot (273 + \Delta t_{нов})} = 1,293 \cdot \frac{273 \cdot 7,3}{1,033 \cdot (273 + 204,59)} = 5,223. \quad (6.99)$$

Витрата повітря, м³/с:

$$V_{нов} = \frac{G_{нов}}{\rho_{нов}^{p.y.}} = \frac{17,42}{5,223} = 3,33. \quad (6.100)$$

Площа живого перетину міжтрубного простору, м²:

$$S_1 = 0,786 \cdot d_{вн}^2 \cdot n = 0,786 \cdot 0,025^2 \cdot 747 = 0,37. \quad (6.101)$$

Швидкість потоку повітря, м/с:

$$W_{нов} = \frac{V_{нов}}{S_1} = \frac{3,33}{0,37} = 9,01. \quad (6.102)$$

Критерій Рейнольдса для повітря:

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\text{Re}_{\text{нов}} = \frac{W_{\text{нов}} \cdot \rho_{\text{нов}}^{p.y.} \cdot d_{\text{вн}}}{\mu_{\text{нов}}} = \frac{9,01 \cdot 5,223 \cdot 0,021}{3,9 \cdot 10^{-5}} = 25587. \quad (6.103)$$

Критерій Нусельта для повітря:

$$\text{Nu}_{\text{нов}} = 0,018 \cdot \text{Re}_{\text{нов}}^{0,8} = 0,018 \cdot 25587^{0,8} = 60,49. \quad (6.104)$$

Коефіцієнт тепловіддачі від повітря, Вт/(м·град.):

$$\alpha_{\text{нов}} = \frac{\text{Nu}_{\text{нов}} \cdot \lambda_{\text{нов}}}{d_{\text{вн}}} = \frac{60,49 \cdot 0,0395}{0,021} = 95,58. \quad (6.105)$$

- Розрахунок коефіцієнту тепловіддачі від перегрітого пару

Нітрозні гази проходять у трубному просторі теплообмінника.

Середня температура нітрозних газів, °С:

$$\Delta t_{\text{н2}} = \frac{t_{\text{н2}}^K - t_{\text{н2}}^0}{\ln\left(\frac{t_{\text{н2}}^K}{t_{\text{н2}}^0}\right)} = \frac{330 - 219}{\ln\left(\frac{330}{219}\right)} = 270,72. \quad (6.106)$$

Густина пари при робочих умовах, кг/м³:

$$\rho_{\text{н2}}^{p.y.} = \rho_{\text{н2}} \cdot \frac{273 \cdot P}{1,033 \cdot (273 + \Delta t_{\text{н2}})} = 1,0552 \cdot \frac{273 \cdot 7,3}{1,033 \cdot (273 + 270,72)} = 3,744. \quad (6.107)$$

Витрата нітрозних газів, м³/с:

$$V_{\text{н2}} = \frac{G_{\text{н2}}}{\rho_{\text{н2}}^{p.y.}} = \frac{7,66}{3,744} = 2,046. \quad (6.108)$$

Площа перетину трубного простору, м²:

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$S = 0,786 \cdot d_{\text{BH}}^2 \cdot n = 0,786 \cdot 0,021^2 \cdot 747 = 0,259. \quad (6.109)$$

Швидкість потоку нітрозних газів, м/с:

$$W_{\text{H}_2} = \frac{V_{\text{H}_2}}{S} = \frac{2,046}{0,259} = 7,911. \quad (6.110)$$

Критерій Рейнольдса для нітрозних газів:

$$\text{Re}_{\text{H}_2} = \frac{W_{\text{H}_2} \cdot \rho_{\text{H}_2}^{p,y} \cdot d_{\text{BH}}}{\mu_{\text{H}_2}} = \frac{7,911 \cdot 3,744 \cdot 0,021}{2,55 \cdot 10^{-5}} = 24393. \quad (6.111)$$

Критерій Нусельта для нітрозних газів, Вт/(м·град.):

$$\text{Nu}_{\text{H}_2} = 0,018 \cdot \text{Re}^{0,8} = 0,018 \cdot 24393^{0,8} = 58,22. \quad (6.112)$$

Коефіцієнт тепловіддачі від нітрозних газів, Вт/(м·град.):

$$\alpha_{\text{H}_2} = \frac{\text{Nu}_{\text{H}_2} \cdot \lambda_{\text{H}_2}}{d_{\text{BH}}} = \frac{58,22 \cdot 0,033}{0,0356} = 98,7. \quad (6.113)$$

Коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м·град.):

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{H}_2}} + \sum r + \frac{1}{\alpha_{\text{H}_2}}} = \frac{1}{\frac{1}{95,58} + 0,000429 + \frac{1}{98,7}} = 48,46. \quad (6.114)$$

Тепловий потік, Вт:

$$Q = G_{\text{H}_2} \cdot 1025 \cdot (t_{\text{H}_2}^{\text{K}} - t_{\text{H}_2}^0) = 7,66 \cdot 1025 \cdot (243,57 - 170) = 577625. \quad (6.115)$$

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Площа теплообміну, м^2 :

$$F_1 = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_1} = \frac{577625}{48,46 \cdot 65,95} = 180,74. \quad (6.116)$$

Площа теплообміну з урахуванням 10% запасу:

$$F = F_1 + F_1 \cdot 0,1 = 180,74 + 180,74 \cdot 0,1 = 198,82. \quad (6.117)$$

Підігрівач повітря призначений для підігріву повітря перед контактним апаратом. Апарат являє собою кожухотрубний, одноходовий теплообмінник з прямими трубками. Підігрів здійснюється за рахунок теплоти нітрозних газів, що виходять із окиснювача. Повітря рухається по міжтрубному просторі.

6.2.4 Розрахунок випарника рідинного аміаку

Мета розрахунку: визначити кількість перегрітої пари, яка циркулює у випарнику та поверхню теплообмін випарника.

Вихідні дані:

Продуктивність агрегату за моногідратом, т/год.: $G = 15$.

Витрата рідкого аміаку на 1 т МНГ, кг/т: $G_{\text{NH}_3} = 270$.

Тиск перегрітої пари, атм.: $P_{\text{пари}} = 15$.

Температура перегрітої пари на вході у випарник, $^{\circ}\text{C}$: $t_{\text{пару}}^0 = 200$.

Температура конденсату на виході з випарника, $^{\circ}\text{C}$: $t_{\text{пару}}^{\kappa} = 140$.

Ентальпія перегрітого пару на вході до випарника, кДж/кг: $i_{\text{пари}} = 2922,428$.

Ентальпія парового конденсату, кДж/кг: $i_{\text{конденсату}} = 589,983$.

Температура кипіння аміаку, $^{\circ}\text{C}$: $t_{\text{NH}_3} = 30$.

Кількість випарників, шт.: $N = 1$.

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Втрати холоду: 5%.

Поверхня випарника, м^2 : $S_{\text{вип}} = 67$.

Кількість труб, шт.: $n = 106$.

Кількість ходів по трубах, шт.: $N_{\text{ходів}} = 2$.

Внутрішній діаметр труб, м: $d = 0,021$.

Термічний опір стінки, $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$: $\sum r = 0,00095$.

Теплова нагрузка, $\text{кДж} / (\text{м}^2 \cdot \text{год.})$: $q = 21788$.

Густина водяної пари, $\text{г} / \text{м}^3$, $\rho = 6,583$.

Розрахунок:

Теплоту випаровування аміаку можна визначити із апроксимаційної залежності:

$$c_{\text{вип}}^{\text{NH}_3} = -0,0128 \cdot t^2 - 3,5101 \cdot t + 1262,5; t = [-4 \dots 10] \quad (6.118)$$

$$c_{\text{вип}}^{\text{NH}_3} = 0,049 \cdot t^3 - 2,3027 \cdot t^2 + 30,935 \cdot t + 1098,1; t > 10. \quad (6.119)$$

Теплота випаровування рідинного аміаку, $\text{кДж} / (\text{кг} \cdot \text{град.})$:

$$c_{\text{вип}}^{\text{NH}_3} = 0,049 \cdot 30^3 - 2,3027 \cdot 30^2 + 30,935 \cdot 30 + 1098,1 = 1276,72. \quad (6.120)$$

Холодопродуктивність випарної установки, $\text{кДж} / \text{год.}$:

$$Q = G_{\text{NH}_3} \cdot c_{\text{вип}}^{\text{NH}_3} \cdot G = 270 \cdot 1276,72 \cdot 15 = 5170716. \quad (6.121)$$

Витрата перегрітої пари, що циркулює через випарник, $\text{кг} / \text{год.}$:

$$W = \frac{Q \cdot (100 - 5)}{100 \cdot (i_{\text{пари}} - i_{\text{конденсату}})} = \frac{5170716 \cdot (100 - 5)}{100 \cdot (2922,428 - 589,983)} = 2106,02. \quad (6.122)$$

Середній температурний напір:

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta t = \frac{(t_{napu} - t_{NH3}) - (t_{к-му} - t_{NH3})}{\ln\left(\frac{t_{napu} - t_{NH3}}{t_{к-му} - t_{NH3}}\right)} = \frac{(200 - 30) - (140 - 30)}{\ln\left(\frac{200 - 30}{140 - 30}\right)} = 137,83. \quad (6.123)$$

Площа перетину одного ходу по трубах, м²:

$$S = 0,785 \cdot d^2 \cdot \frac{n}{N_{ходи}} = 0,785 \cdot 0,021^2 \cdot \frac{106}{2} = 0,018. \quad (6.124)$$

Швидкість потоку пари в випарнику, м/с:

$$W_1 = \frac{W}{\rho \cdot 3600 \cdot S \cdot N} = \frac{2106,02}{6,583 \cdot 3600 \cdot 0,018 \cdot 1} = 4,84. \quad (6.125)$$

Динамічну в'язкість можна визначити з апроксимаційної залежності, 10⁻⁶ Па·с:

$$\mu = 2 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 + 0,0357 \cdot t + 8,2076 = 2 \cdot 10^{-5} \cdot 137,83^2 + 0,0357 \cdot 137,83 + 8,2076 = 13,51. \quad (6.126)$$

Критерій Рейнольдса для пари:

$$Re = \frac{W_1 \cdot \rho \cdot d}{\mu} = \frac{4,84 \cdot 6,583 \cdot 0,021}{13,51 \cdot 10^{-6}} = 49568. \quad (6.127)$$

Теплопровідність пари можна розрахувати з апроксимаційної залежності, Вт/(м²·град):

$$\lambda = 1 \cdot 10^{-9} \cdot t^3 - 2 \cdot 10^{-7} \cdot t^2 + 8 \cdot 10^{-5} \cdot t + 0,0168; \quad (6.128)$$

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\lambda = 1 \cdot 10^{-9} \cdot 137,83^3 - 2 \cdot 10^{-7} \cdot 137,83^2 + 8 \cdot 10^{-5} \cdot 137,83 + 0,0168 = 0,0266. \quad (6.129)$$

Критерій Прандтля:

$$Pr = \frac{(i_{пару} - i_{к-ту}) \cdot \mu \cdot 1000}{\lambda} = \frac{(2922,428 - 589,983) \cdot 13,51 \cdot 10^{-6} \cdot 1000}{0,0266} = 1182,45. \quad (6.130)$$

Коефіцієнт тепловіддачі від пари до стінки труби, Вт/(м²·град.):

$$\alpha_1 = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \cdot \frac{\lambda}{d} = 0,023 \cdot 49568^{0,8} \cdot 1182,45^{0,4} \cdot \frac{0,0266}{0,021} = 2821,01. \quad (6.131)$$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки труби до аміаку, Вт/(м²·град.):

$$\alpha_2 = (3,59 + 0,018 \cdot t_{NH_3}) \cdot \left(\frac{q}{4,19} \right)^{0,7} \cdot \frac{4190}{3600} = (3,59 + 0,018 \cdot 30) \cdot \left(\frac{21788}{4,19} \right)^{0,7} \cdot \frac{4190}{3600} = 1919. \quad (6.132)$$

Коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²·град.):

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum r + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{2821,01} + 0,00095 + \frac{1}{1919}} = 547,76. \quad (6.133)$$

Площа поверхні теплообміну, м²:

$$F = \frac{Q \cdot 1000}{K \cdot \Delta t \cdot 3600} = \frac{5170716 \cdot 1000}{547,76 \cdot 137,83 \cdot 3600} = 19,02. \quad (6.134)$$

Коефіцієнт запасу:

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_3 = \frac{S_{\text{вин}}}{F} = \frac{67}{19,02} = 3,52. \quad (6.135)$$

Випарник аміаку являє собою горизонтальний теплообмінник з U-подібними трубками. Апарат виготовлений із сталі X18H10T та 12X18H10T. Аміак рухається у міжтрубному просторі, пара у трубному.

6.2.5 Розрахунок підігрівача газоподібного аміаку

Мета розрахунку: визначити витрату перегрітого пару і поверхню теплообміну.

Вихідні дані:

Продуктивність агрегату за моногідратом, т/год.: $G = 15$.

Витрата рідкого аміаку на 1 т МНГ, кг/т: $G_{\text{NH}_3} = 270$.

Тиск перегрітої пари, атм.: $P_{\text{пари}} = 5$.

Температура перегрітої пари на вході у підігрівач, °C: $t_{\text{пари}}^0 = 200$.

Температура перегрітої пари на виході з підігрівача, °C: $t_{\text{пари}}^{\kappa} = 160$.

Ентальпія перегрітого пару на вході до підігрівача, кДж/кг: $i_{\text{пари}} = 2960,112$.

Ентальпія перегрітого пару на виході із підігрівача, кДж/кг: $i_{\kappa} = 2767,23$.

Температура аміаку на вході у підігрівач, °C: $t_{\text{NH}_3}^0 = 30$.

Температура аміаку на виході з підігрівача, °C: $t_{\text{NH}_3}^{\kappa} = 100$.

Поверхня підігрівача, м²: $S_{\text{п}} = 61$.

Діаметр підігрівача, м: $D = 0,6$.

Кількість труб, шт.: $n = 261$.

Довжина труб, м: $L = 3$.

Зовнішній діаметр трубок, м: $d_3 = 0,025$.

Внутрішній діаметр труб, м: $d_{\text{вн}} = 0,021$.

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Крок труб, м: $T = 0,032$.

Відстань між перегородками, м: $H = 0,3$.

Термічний опір стінки, $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$: $\sum r = 0,0000429$.

Тиск, атм.: $P = 7,3$.

Розрахунок:

Витрата аміаку, $\text{кг} / \text{с}$:

$$G_1 = \frac{G \cdot G_{\text{NH}_3}}{3600} = \frac{15 \cdot 270}{3600} = 1,125. \quad (6.136)$$

Середня теплоємність аміаку, $\text{кДж} / (\text{кг} \cdot \text{град.})$:

$$C_a = (8,5439 + 0,0041T_a - 5,88 \cdot 10^{-7} T_a^2) \cdot 4,19/17 \quad (6.137)$$

Теплоємність аміаку на вході та виході з підігрівача відповідно, $\text{кДж} / (\text{кг} \cdot \text{град.})$:

$$C_0 = (8,5439 + 0,0041 \cdot 30 - 5,88 \cdot 10^{-7} \cdot 30^2) \cdot 4,19/17 = 2,136. \quad (6.138)$$

$$C_K = (8,5439 + 0,0041 \cdot 100 - 5,88 \cdot 10^{-7} \cdot 100^2) \cdot 4,19/17 = 2,205. \quad (6.139)$$

Витрата перегрітої пари, $\text{кг} / \text{с}$:

$$G_{\text{пару}} = \frac{G_1 \cdot (C_K \cdot t_{\text{NH}_3}^K - C_0 \cdot t_{\text{NH}_3}^0)}{i_{\text{пару}} - i_K} = \frac{1,125 \cdot (2,205 \cdot 100 - 2,136 \cdot 30)}{2960,112 - 2767,23} = 0,913. \quad (6.140)$$

Тепловий потік, Вт :

$$Q_1 = G_{\text{пару}} \cdot (i_{\text{пару}} - i_K) \cdot 1000 = 0,913 \cdot (2960,112 - 2767,23) \cdot 1000 = 176020. \quad (6.141)$$

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Середня різниця температур, °С:

$$\Delta t_1 = \frac{(t_{napu}^0 - t_{NH3}^0) - (t_{napu}^K - t_{NH3}^K)}{\ln\left(\frac{t_{napu}^0 - t_{NH3}^0}{t_{napu}^K - t_{NH3}^K}\right)} = \frac{(200 - 30) - (160 - 100)}{\ln\left(\frac{200 - 30}{160 - 100}\right)} = 105,62. \quad (6.142)$$

- Розрахунок коефіцієнту тепловіддачі від аміаку

Аміак йде в трубному просторі теплообмінника.

Середня температура аміаку, °С:

$$\Delta t_{NH3} = \frac{t_{NH3}^K - t_{NH3}^0}{\ln\left(\frac{t_{NH3}^K}{t_{NH3}^0}\right)} = \frac{100 - 30}{\ln\left(\frac{100}{30}\right)} = 58,14. \quad (6.143)$$

Густина аміаку в робочих умовах, кг/м³:

$$\rho_{NH3} = 0,7714 \cdot \frac{273 \cdot P}{1,033 \cdot (273 + \Delta t_{NH3})} = 0,7715 \cdot \frac{273 \cdot 7,3}{1,033 \cdot (273 + 58,14)} = 4,494. \quad (6.144)$$

Витрата аміаку, м³/с:

$$V_{NH3} = \frac{G_1}{\rho_{NH3}} = \frac{1,125}{4,494} = 0,25. \quad (6.145)$$

Площа живого перетину міжтрубного простору, м²:

$$S_1 = D \cdot \left(1 - \frac{d_3}{T}\right) \cdot H = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{0,025}{0,032}\right) \cdot 0,3 = 0,039. \quad (6.146)$$

Швидкість потоку аміаку, м/с:

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$W_{NH_3} = \frac{V_{NH_3}}{S_1} = \frac{0,25}{0,039} = 6,357. \quad (6.147)$$

Динамічна в'язкість аміаку, Па·с:

$$\mu_a = 9,18 \cdot 10^{-6} \frac{273 + 626}{(\Delta t_{NH_3} + 273) + 626} \left[\frac{\Delta t_{NH_3} + 273}{273} \right]^{1,5}, \quad (6.148)$$

$$\mu = 9,18 \cdot 10^{-6} \frac{273 + 626}{(58,14 + 273) + 626} \left[\frac{58,14 + 273}{273} \right]^{1,5} = 11,5 \cdot 10^{-6}. \quad (6.149)$$

Критерій Рейнольдса для аміаку:

$$Re_{NH_3} = \frac{W_{NH_3} \rho_{NH_3} d_{вн}}{\mu_{NH_3}} = \frac{6,357 \cdot 4,494 \cdot 0,021}{11,5 \cdot 10^{-6}} = 52147,4. \quad (6.150)$$

Теплопровідність аміаку, Вт/(м·град.):

$$\lambda_{NH_3} = \frac{0,0215 \cdot (273 + 359,4)}{(\Delta t_{NH_3} + 273) + 359,4} \left[\frac{\Delta t_{NH_3} + 273}{273} \right]^{1,5}, \quad (6.151)$$

$$\lambda_{NH_3} = \frac{0,0215 \cdot (273 + 359,4)}{(58,14 + 273) + 359,4} \left[\frac{58,14 + 273}{273} \right]^{1,5} = 0,0263. \quad (6.152)$$

Середня теплоємність аміаку, кДж/(кг·град.):

$$C_{NH_3} = (8,5439 + 0,0041 \cdot 58,14 - 5,88 \cdot 10^{-7} \cdot 58,14^2) \cdot 4,19/17 = 2,164. \quad (6.153)$$

Критерій Прандтля для аміаку:

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\text{Pr}_{\text{NH}_3} = \frac{C_{\text{NH}_3} \mu_{\text{NH}_3}}{\lambda_{\text{NH}_3}} 1000 = \frac{2,164 \cdot 11,5 \cdot 10^{-6}}{0,0263} \cdot 1000 = 0,947. \quad (6.154)$$

Критерій Нусельта для аміаку:

$$\text{Nu}_{\text{NH}_3} = 0,41 \cdot \text{Re}_{\text{NH}_3}^{0,6} \cdot \text{Pr}_{\text{NH}_3}^{0,36} = 0,41 \cdot 52089^{0,6} \cdot 0,948^{0,36} = 271,9. \quad (6.155)$$

Коефіцієнт тепловіддачі від аміаку, Вт/(м·град.):

$$\alpha_{\text{NH}_3} = \frac{\text{Nu}_{\text{NH}_3} \cdot \lambda_{\text{NH}_3}}{d_{\text{вн}}} = \frac{271,9 \cdot 0,0263}{0,021} = 340,59. \quad (6.156)$$

- Розрахунок коефіцієнту тепловіддачі від перегрітого пару

Перегрітий пар рухається в міжтрубному просторі теплообмінника.

Середня температура пари, °С:

$$\Delta t = \frac{t_{\text{пару}}^K - t_{\text{пару}}^0}{\ln\left(\frac{t_{\text{пару}}^K}{t_{\text{пару}}^0}\right)} = \frac{200 - 160}{\ln\left(\frac{200}{160}\right)} = 179,3. \quad (6.157)$$

Густина пари при робочих умовах, кг/м³:

$$\rho = \frac{18}{22,4} \cdot \frac{273 \cdot P}{1,033 \cdot (273 + \Delta t)} = \frac{18}{22,4} \cdot \frac{273 \cdot 7,3}{1,033 \cdot (273 + 179,3)} = 3,428. \quad (6.158)$$

Витрата перегрітої пари, м³/с:

$$V = \frac{G_{\text{пару}}}{\rho} = \frac{0,913}{3,428} = 0,266. \quad (6.159)$$

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Площа перетину трубного простору, м²:

$$S = 0,786 \cdot d_{\text{вн}}^2 \cdot n = 0,786 \cdot 0,021^2 \cdot 261 = 0,09. \quad (6.160)$$

Швидкість потоку пари, м/с:

$$W = \frac{V}{S} = \frac{0,266}{0,09} = 2,943. \quad (6.161)$$

Динамічну в'язкість можна визначити з апроксимаційної залежності, 10⁻⁶ Па·с:

$$\mu = 2 \cdot 10^{-5} \cdot \Delta t^2 + 0,0357 \cdot \Delta t + 8,2076 = 2 \cdot 10^{-5} \cdot 179,3^2 + 0,0357 \cdot 179,3 + 8,2076 = 15,3. \quad (6.162)$$

Критерій Рейнольдса для пари:

$$\text{Re} = \frac{W \cdot \rho \cdot d_{\text{вн}}}{\mu} = \frac{2,943 \cdot 3,428 \cdot 0,021}{15,3 \cdot 10^{-6}} = 13891. \quad (6.163)$$

Теплопровідність пари можна розрахувати з апроксимаційної залежності, Вт/(м²·град):

$$\lambda = 1 \cdot 10^{-9} \cdot \Delta t^3 - 2 \cdot 10^{-7} \cdot \Delta t^2 + 8 \cdot 10^{-5} \cdot \Delta t + 0,0168; \quad (6.164)$$

$$\lambda = 1 \cdot 10^{-9} \cdot 179,3^3 - 2 \cdot 10^{-7} \cdot 179,3^2 + 8 \cdot 10^{-5} \cdot 179,3 + 0,0168 = 0,031. \quad (6.165)$$

Критерій Нусельта для пари:

$$\text{Nu} = 0,018 \cdot \text{Re}^{0,8} = 0,018 \cdot 13891^{0,8} = 37,11. \quad (6.166)$$

Коефіцієнт тепловіддачі від пари, Вт/(м·град.):

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_{\text{вн}}} = \frac{37,11 \cdot 0,031}{0,021} = 53,85. \quad (6.167)$$

Коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м·град.):

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{NH}_3}} + \sum r + \frac{1}{\alpha}} = \frac{1}{\frac{1}{340,59} + 0,000429 + \frac{1}{53,85}} = 46,41. \quad (6.168)$$

Площа теплообміну, м²:

$$F_1 = \frac{Q_1}{K \Delta t_1} = \frac{176020}{46,41 \cdot 105,62} = 35,91. \quad (6.169)$$

Коефіцієнт запасу:

$$K_z = \frac{S_n}{F_1} = \frac{61}{35,61} = 17. \quad (6.170)$$

Апарат являє собою вертикальний одноходовий теплообмінник виготовлений з вуглецевої сталі та нержавіючої сталі.

6.2.6 Розрахунок відділення компресії повітря

6.2.6.1 Розрахунок повітроохолоджувача

Вихідні дані:

Температура навколишнього середовища, °С: $t_0 = 20$.

Тиск навколишнього середовища, атм.: $P_0 = 0,9$.

Абсолютний тиск після компресора, атм.: $P_1 = 3$.

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Абсолютний тиск після нагнітача, атм.: $P_2 = 7,3$.

Витрата повітря, м³/год.: $V_{\text{пов}} = 48489$.

Тиск охолоджуючої води, атм.: $P = 3$.

Температура води на вході в охолоджувач, °C: $t_{\text{вх}}^{H_2O} = 25$.

Температура води на виході з охолоджувач, °C: $t_{\text{вх}}^{H_2O} = 80$.

Температура після нагнітача, °C: $t_3 = 170$.

Ентальпія води на вході, кДж/кг: $i_{\text{вх}} = 105,027$.

Ентальпія води на виході, кДж/кг: $i_{\text{вих}} = 335,127$.

Втрати теплоти в навколишнє середовище 2%.

Показник адіабаты: $K=1,4$.

Адiabатичний коефіцієнт корисної дії: $\eta = 0,8$.

- Розрахунок теплового балансу повітроохолоджувача

Мета розрахунку: визначення витрати води на охолодження повітря між ступеннями стиснення.

Температура повітря перед повітроохолоджувачем, °C:

$$t_1 = (t_0 + 273) \cdot \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^{\frac{K-1}{K} \cdot \frac{1}{\mu}} - 273 = (20 + 273) \cdot \left(\frac{3}{0,9} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4} \cdot \frac{1}{0,8}} - 273 = 177,4. \quad (6.171)$$

Температура повітря після повітроохолоджувача, °C:

$$t_2 = (t_3 + 273) \cdot \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{K-1}{K} \cdot \frac{1}{\eta}} - 273 = (170 + 273) \cdot \left(\frac{3}{7,3} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4} \cdot \frac{1}{0,8}} - 273 = 50. \quad (6.172)$$

Теплоємність двоатомних газів O₂, N₂ в залежності від температури t , °C, становить, кДж/(кмоль·гр.):

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$c = 4,1868 \cdot (7,08 + t \cdot (0,000198 + 0,0001065/1000 \cdot t)). \quad (6.173)$$

Теплоємність H_2O , кДж/(кмоль·гр.):

$$c_{H_2O} = 4,1868 \cdot (7,76 + t \cdot (0,001548 - 0,000114/1000 \cdot t)). \quad (6.174)$$

Розраховують теплоємність компонентів на вході та виході із повітроохолоджувача, кДж/(кмоль·гр.):

Таблиця 6.12 – Розрахунок теплоємності

Теплоємність		
Компонент	Вхід	Вихід
O ₂ , N ₂	29,80	29,68
H ₂ O	33,62	32,81

За правилом адитивності розраховують теплоємність повітря на вході та виході із повітроохолоджувача, кДж/(кмоль·гр.):

$$c_{ex} = c_{O_2, N_2}^{ex} \cdot 0,985 + c_{H_2O}^{ex} \cdot 0,015 = 29,80 \cdot 0,985 + 33,62 \cdot 0,015 = 29,86. \quad (6.175)$$

$$c_{вих} = c_{O_2, N_2} \cdot 0,985 + c_{H_2O} \cdot 0,015 = 29,68 \cdot 0,985 + 32,81 \cdot 0,015 = 29,73; \quad (6.176)$$

Прихід теплоти з повітрям, МДж/год.:

$$Q_1 = \frac{V_{нов} \cdot c_{ex} \cdot t_1}{22,4 \cdot 1000} = \frac{48489 \cdot 29,86 \cdot 177,4}{22,4 \cdot 1000} = 11467,8. \quad (6.177)$$

Теплота, що вноситься з водою на охолодження, МДж/год.:

$$Q_2 = \frac{G \cdot i_{ex}}{1000} = \frac{G \cdot 105,027}{1000} = 0,10503 \cdot G. \quad (6.178)$$

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Витрата теплоти з повітрям на виході з повітроохолоджувача, МДж/год.:

$$Q_3 = \frac{V_{\text{пов}} \cdot c_{\text{вих}} \cdot t_2}{22,4 \cdot 1000} = \frac{48489 \cdot 29,75 \cdot 50}{22,4 \cdot 1000} = 3183,16. \quad (6.179)$$

Втрати теплоти, МДж/год.:

$$Q_4 = 0,02 \cdot (Q_1 + Q_2) = 0,02 \cdot (11467,8 + 0,10503 \cdot G) = 302,23 + 0,0021 \cdot G. \quad (6.180)$$

Теплота, що виноситься водою з охолоджувача, МДж/год.:

$$Q_5 = \frac{G \cdot i_{\text{вих}}}{1000} = \frac{G \cdot 335,127}{1000} = 0,33513 \cdot G. \quad (6.181)$$

Записують рівняння теплового балансу і вирішують його відносно витрати охолоджуючої води, кг/год.:

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4 + Q_5; \quad (6.182)$$

$$11467,8 + 0,10503 \cdot G = 3183,16 + 302,23 + 0,0021 \cdot G + 0,33513 \cdot G; \quad (6.183)$$

$$0,2322 \cdot G = 8055,34; \quad (6.184)$$

$$G = 34691,3; \quad (6.185)$$

За відомою витратою води розраховують, МДж/год.:

$$Q_2 = 0,10503 \cdot G = 0,10503 \cdot 34691,3 = 3643,52. \quad (6.186)$$

$$Q_4 = 302,23 + 0,0021 \cdot G = 302,23 + 0,0021 \cdot 34691,3 = 220,3. \quad (6.187)$$

$$Q_5 = 0,33513 \cdot G = 0,33513 \cdot 34691,3 = 6247,1. \quad (6.188)$$

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 6.13 – Тепловий баланс повітроохолоджувача

Статті приходу			Статті витрат		
Стаття	МДж/год.	%	Стаття	МДж/год.	%
Теплота повітря на вході	9056,86	84,94	Теплота повітря на виході	4547,26	49,94
			Втрати тепла	220,3	2
Теплота води на вході	1957,81	15,06	Теплота води на виході	6247,1	48,06
Всього	11014,7	100	Всього	11014,7	100

Повітроохолоджувач складається із двох трубних пучків із водяними камерами. Кожен пучок по воді чотириходовий, по повітрю – одноходовий. Матеріал апарату – латунь Л68 та чавун.

6.2.6.2 Розрахунок компресора і нагнітача повітря

Вихідні дані:

Температура повітря на вході в компресор, К: $t_1 = 293$.

Температура повітря на вході в нагнітач, К: $t_1 = 323$.

Тиск повітря на вході, атм.: $P_1 = 0,9$.

Тиск повітря на виході із компресора, атм.: $P_2 = 3$.

Тиск повітря на виході із нагнітача, атм.: $P_3 = 7,3$.

Витрата повітря, на вході у компресор кмоль/год.: $V_{\text{пов}} = 3354,77$.

Показник адіабати: $K=1,4$.

Адiabатичний коефіцієнт корисної дії: $\eta = 0,8$.

Температура повітря на виході із компресора, К:

$$t_2 = t_1 \cdot \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{K-1}{K}} = 293 \cdot \left(\frac{3}{0,9} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} = 450,41. \quad (6.189)$$

Робота, яку споживає компресор, кДж:

$$L_1 = 8,31 \cdot V_{\text{ноб}} \cdot t_1 \cdot \left(\frac{K}{K-1} \right) \cdot \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right]; \quad (6.190)$$

$$L_1 = 8,31 \cdot 3354,77 \cdot 293 \cdot \left(\frac{1,4}{1,4-1} \right) \cdot \left[\left(\frac{3}{0,9} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} - 1 \right] = 958183,1. \quad (6.191)$$

При внутрішньому ККД = 0,8 і механічному ККД = 0,98 потужність, яку споживає компресор, становить, кВт:

$$N_1 = \frac{L_1}{3600 \cdot 0,8 \cdot 0,98} = 339,49. \quad (6.192)$$

Температура повітряна виході із нагнітача, К:

$$t_4 = t_3 \cdot \left(\frac{P_3}{P_2} \right)^{\frac{K-1}{K} \cdot \frac{1}{\mu}} = 323 \cdot \left(\frac{7,3}{3} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4} \cdot \frac{1}{0,8}} = 443. \quad (6.193)$$

Робота, яку споживає нагнітач, кДж:

$$L_2 = 8,31 \cdot V_{\text{ноб}} \cdot t_1 \cdot \left(\frac{K}{K-1} \right) \cdot \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right]; \quad (6.194)$$

$$L_2 = 8,31 \cdot 3354,77 \cdot 323 \cdot \left(\frac{1,4}{1,4-1} \right) \cdot \left[\left(\frac{7,3}{3} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} - 1 \right] = 744216,9. \quad (6.195)$$

При внутрішньому ККД = 0,8 і механічному ККД = 0,98 потужність, яку споживає нагнітач, становить, кВт:

$$N_2 = \frac{L_2}{3600 \cdot 0,8 \cdot 0,98} = 263,68. \quad (6.196)$$

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						86
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загальна потужність споживання компресора і нагнітача повітря, кВт:

$$N_3 = N_1 + N_2 = 603,17. \quad (6.197)$$

Компресор одновального типу, обертова частота ротора турбокомпресора 5100 об/хв. Апарат виготовлений із сталі 20Х13, сталі 34ХМ, чавуну та сталі 15Х11МФ.

Нагнітач являє собою одноциліндровий апарат одностороннього всмоктування, виготовлений із чавуну.

6.2.6.3 Розрахунок відділення рекуперації енергії

Вихідні дані:

Температура очищених газів на вході в турбіну, К: $t_m^{ex} = 973$.

Тиск очищених газів на вході в турбіну, атм.: $P_{вх.} = 7,3$.

Тиск очищених газів на виході з турбіни, атм.: $P_{вих.} = 3$.

Температура відпрацьованих газів на виході із турбіни, К:

Таблиця 6.14 – Склад очищених газів на виході із реактора селективного очищення

Назва	м ³ /ГОД	кг/ГОД	кмоль/ГОД	%
1	2	3	4	5
NO	0,67	0,897321	0,029911	0,00041
NO ₂	3,63	7,454464	0,16942	0,0022
CH ₄	4554,3	3253,071	203,317	2,76276
CO	157215,2	196519	7018,536	95,3709
H ₂	257,3	22,97321	11,48661	0,15608
CO ₂	283,07	556,0304	12,63705	0,17172
N ₂	1984,43	2480,538	88,59063	1,20381
H ₂ O	547,5	439,9554	24,44196	0,33213
Всього	164846,1	203279,9	7359,209	100

$$t_m^{ex} = t_m^{ex} \cdot \left(\frac{P_{ex.}}{P_{ex.}} \right)^{\frac{K-1}{K} \cdot \frac{1}{\mu}} = 973 \cdot \left(\frac{7,3}{3} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4} \cdot \frac{1}{0,8}} = 708,24. \quad (6.198)$$

Знаходять кількість тепла, що несуть із собою очищенні гази, кДж/год:

$$Q_1 = V_{оч.г.} \cdot t_m^{ex} \cdot c_p = 7359,21 \cdot 973 \cdot 30,9 = 159179684; \quad (6.199)$$

$$Q_2 = V_{оч.г.} \cdot t_m^{exu} \cdot c_p = 7359,21 \cdot 708,24 \cdot 30,9 = 96251981. \quad (6.200)$$

Кількість енергії, що повертається турбіною, кДж/год:

$$Q_m = Q_1 - Q_2 = 159179684 - 96251981 = 62927703. \quad (6.201)$$

Потужність газової турбіни при механічному ККД = 0,98 становить, кВт:

$$N_m = \frac{Q_m \cdot 0,98}{3600} = 17130,32. \quad (6.202)$$

Газотурбінна установка ГТТ-3М виготовлена із жаростійкої сталі EI-802, сталі 34ХМ, нержавіючої сталі 2Х1, сталі перлітного класу 1Х11МФ, чавуну, латуні Л68, сталі Х23Н18.

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7 АВТОМАТИЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ТА КОНТРОЛЬ ВІДДІЛЕННЯ КОНВЕРСІЇ АМІАКУ ВИРОБНИЦТВА НІТРАТНОЇ КИСЛОТИ

7.1 Опис технологічної схеми відділення конверсії аміаку виробництва нітратної кислоти.

В даному розділі розглядається відділення конверсії аміаку виробництва нітратної кислоти з наступною рекуперацією енергії очищених хвостових газів. Особливістю даної схеми є підвищення температури повітря підігрівачем, встановленим в окиснювач, завдяки чому підвищується температура аміачно-повітряної суміші.

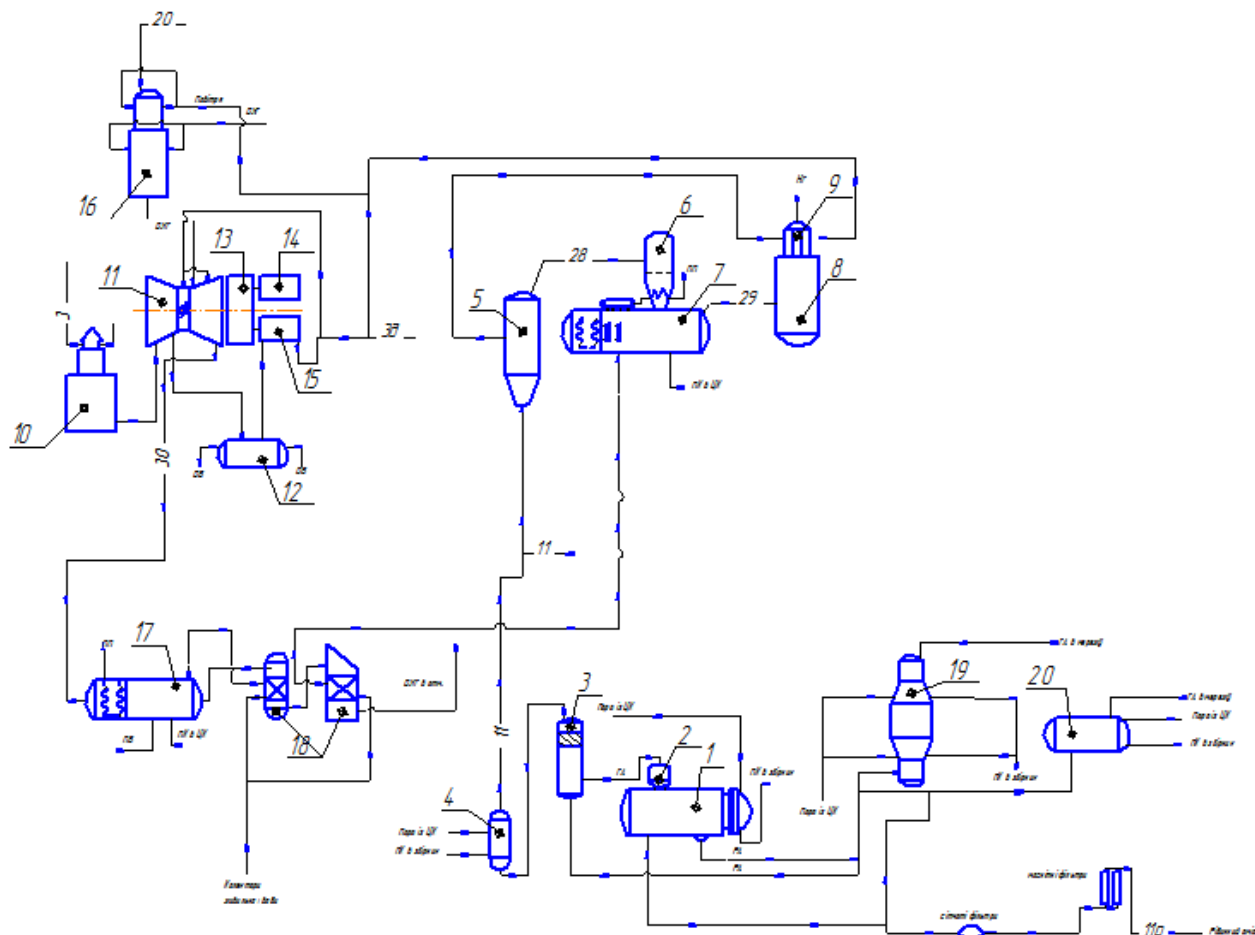
Автоматизації підлягає відділення конверсії аміаку від подачі повітря та аміаку в цех до процесу доокиснення нітрозних газів. Принципова технологічна схема наведена на рисунку 7.1.

Атмосферне повітря осьовим компресором газотурбінної установки ГТТ-3М через трубопровід 3 всмоктується через повітрязабірну трубу в апарат очищення повітря 10, в якому проходить двоступінчасте очищення від пилу і твердих домішок на касетних фільтрах.

Із апарата 10 повітря надходить в газотурбінну установку ГТТ-3М. Осьовий компресор 11 стискає повітря до тиску від 0,250 МПа до 0,290 МПа з підвищенням температури не вище ніж 175 °С. Потім повітря охолоджується в повітроохолоджувачі 12 до температури не вище ніж 90 °С обіговою водою. Після повітроохолоджувача 12 повітря надходить в нагнітач 15, в якому стискається до тиску не вище 0,8 МПа з підвищенням температури до 140 ...180 °С.

Після нагнітача основна частина повітря по трубопроводу 3 направляється в підігрівач повітря, який вбудований в окиснювач, де відбувається його нагрівання до необхідної температури, а потім – в технологічний цикл безпосередньо на окиснення аміаку.

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						89
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



1 – випарник рідинного аміаку; 2 – фільтр газоподібного аміаку; 3 – дистиляційна колона; 4 – підігрівач газоподібного аміаку; 5 – змішувач; 6 – контактний апарат; 7 – котел-утилізатор; 8 – окиснювач; 9 – підігрівач повітря; 10 – апарат очищення повітря; 11 – осьовий компресор і турбіна; 13 – редуктор; 14 – розгінний електродвигун; 15 – нагнітач; 16 – камера згоряння турбіни; 17 – котел-утилізатор; 18 – економайзер; 19 – апарат підготовки аміаку; 20 – аварійний збірник;

Рисунок 7.1 – Принципова технологічна схема відділення конверсії аміаку цеха синтезу нітратної кислоти

Крім того, повітря використовується в камері згоряння турбіни 16, в газовій турбіні 11 для охолодження елементів турбіни, проточної частини корпусу і для розвантаження осьового зсуву ротора та в трубопроводі нітрозного газу для окиснення оксиду азоту в діоксид азоту.

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Газоподібний аміак утворюється в процесі випаровування рідинного аміаку в випарнику вузла підготовки газоподібного аміаку

Рідинний аміак по трубопроводі 11р під тиском 1,3...1,5 МПа надходить в випарник 1 із мережі, попередньо очищений від механічних домішок і каталізаторного пилу на магнітному та сітчастому фільтрі, які розміщені на лініях подачі рідинного аміаку. Випаровування рідинного аміаку відбувається під тиском 1,08 ...1,20 МПа і за температури близько 30 °С за рахунок теплоти пари, яка надходить в трубний простір випарника з температурою 210 ...250 °С і під тиском не вище ніж 1,5 МПа. В міжтрубному просторі випарника знаходиться рідинний і газоподібний аміак.

В міру випаровування рідинного аміаку вміст оливи і механічних домішок в кубовій частині випарника збільшується. Для запобігання цьому передбачено відведення частини рідинного аміаку (до 20% від кількості аміаку, яка надходить в випарник) із випарника 1 по трубопроводу 11р в апарат підготовки аміаку 19, або збірник кубових залишків 20.

Із випарника 1 газоподібний аміак для очищення від оливи і механічних домішок надходить в фільтр 11, в якому в якості фільтрувальних матеріалів використовується склотканина ХПСТ-2 і картон.

Після фільтра 2 очищений газоподібний аміак по трубопроводу 11 надходить в дистиляційну колону 3. В верхній частині дистиляційної колони розміщений фільтр із титанових елементів.

Сконденсований рідинний аміак, олива і механічні домішки, які накопичуються в нижній частині дистиляційної колони, безперервно відводяться в апарат підготовки аміаку 19 або збірник кубових залишків 20.

В апараті підготовки аміаку 19 чи збірнику кубових залишків 20 рідинний аміак випаровується за рахунок теплоти пари, яка надходить в апарат під тиском не вище ніж 0,5 МПа і з температурою 190...230 °С.

Газоподібний аміак із апарата підготовки аміаку 19 чи збірника кубових залишків 20 з температурою 50...110 °С і під тиском не вище ніж 0,4 МПа ви-

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						91
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дається в мережу, а спрацьована олива через дренаж зливається в бочку і відправляється на регенерацію.

Газоподібний аміак після дистиляційної колони по трубопроводі 11 надходить в трубний простір підігрівача 4, в якому підігрівається до температури 90...110 °С за рахунок теплоти пари, яка надходить в міжтрубний простір підігрівача з температурою 190...230 °С і під тиском не вище ніж 0,5 МПа.

Конденсат із випарника 1 та із підігрівача 4 надходить в збірник парового конденсату.

Після підігрівача 4 газоподібний аміак по трубопроводу 11 з температурою 90...110 °С направляється в змішувач 5. Частина газоподібного аміаку після вузла підготовки аміаку надходить в реактор селективного очищення.

Повітря з тиском не вище ніж 0,8 МПа і з температурою 180...220 °С надходить в змішувач 5, де змішується із газоподібним аміаком.

Газоподібний аміак надходить в змішувач з підігрівача газоподібного аміаку¹³ під тиском не вище ніж 0,8МПа і з температурою 90...110 °С.

Об'ємна частка газоподібного аміаку в аміачно-повітряній суміші підтримується в межах 9,5...11,0 %.

Після змішування аміаку і повітря в змішувачі 5 утворена аміачно-повітряна суміш очищується від пилу, механічних домішок, оливи на патронних фільтрах, розміщених в верхній частині змішувача. Як фільтрувальний елемент використовується склотканина, намотана на металевий каркас, або металокерамічні (титанові) фільтри.

Аміачно-повітряна суміш із змішувача 9 з температурою 140...230 °С по трубопроводу 28 надходить в контактний апарат 6, в якому за температури 850...910 °С на каталізаторі відбувається окиснення аміаку киснем, що знаходиться в аміачно-повітряній суміші, з утворенням оксиду азоту, водяної пари та елементарного азоту.

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						92
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Утворені на каталізаторі нітрозні гази (NO_x , N_2 , H_2O) з температурою 850...910 °С надходять в котел-утилізатор 7, де охолоджуються до температури 260...345 °С.

За рахунок теплоти нітрозних газів в котлі відбувається випаровування деаерованої хімічищеної води з утворенням пари під тиском не вище ніж 1,5 МПа і з температурою 210...250 °С.

Після котла-утилізатора 4 нітрозні гази по трубопроводу 29 надходять в окиснювач 5, де за рахунок наявного кисню при зменшенні швидкості потоку відбувається доокиснення нітрозного газу з підвищенням температури до 300...350 °С, і далі в міжтрубний простір підігрівача хвостових газів другого ступеня.

Очищені хвостові гази після реактора селективного очищення по трубопроводу 30 проходять між зовнішнім і внутрішнім корпусами універсальної камери згоряння турбіни 16, змішуються з паливними газами, які виходять з камери згоряння турбіни, і з температурою не вище ніж 700 °С надходять в газову турбіну.

Відпрацьовані в турбіні гази з температурою не вище ніж 410 °С надходять в котел-утилізатор хвостових газів 17. Очищені хвостові гази після реактора селективного очищення 9 проходять між зовнішнім і внутрішнім корпусами універсальної камери згоряння турбіни 22, змішуються з паливними газами, які виходять з камери згоряння турбіни, і з температурою не вище ніж 700 °С надходять в газову турбіну.

Для підтримання необхідної температури перед турбіною в камеру згоряння турбіни подається природний газ та повітря в співвідношенні 1:10. Через камеру згоряння турбіни скидається і повітря, що не використовується в технологічній частині.

Відпрацьовані в турбіні гази з температурою не вище ніж 410 °С надходять в котел-утилізатор хвостових газів 17. Для живлення котлів-утилізаторів 7 та 17 використовується нагріта до температури 100 °С деаерована хімічищена вода.

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						93
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Хвостові гази після котла-утилізатора 17 по трубопроводу 30 проходять через економайзер 18 і викидаються в атмосферу через викидні труби висотою 150 м.

7.2 Аналіз технологічного процесу як об'єкта автоматизації, обґрунтування задач автоматизації

Враховуючи фізико-хімічні особливості стадії окиснення оксидів азоту та апаратурне оформлення процесу сформульовано задачі для автоматизації, а саме слід передбачити:

- контроль та регулювання витрати вхідних повітря та аміаку (трубопровід 3 і 11);
- контроль та регулювання концентрації аміаку в змішувачі 5;
- контроль, регулювання та сигналізація рівня в котлах-утилізаторах 7 і 17;
- контроль, регулювання та сигналізація тиску повітря та аміаку в трубопроводах 3 і 11р;
- контроль температури нітрозних газів у трубопроводах 29 і 30;
- контроль, регулювання та сигналізація температури аміачно-повітряної суміші в контактному апараті 6 та трубопроводі 30.

Параметри регулювання та контролю наведені у таблиці 7.1.

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						94
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 7.1 — Параметри регулювання та контролю виробництва

№ п/п	Найменування стадії процесу (технологічний об'єкт), місце заміру параметра	Найменування параметра, що контролюється чи регулюється	Норми технологічного режиму та допустимі відхилення	Вимоги до схеми автоматизації (контроль, регулювання, сигналізація)
1	2	3	4	5
1	Трубопровід 3	Тиск	0,1 МПа	Контроль
2	Трубопровід 3	Температура	0...20 °С	Контроль
3	Трубопровід 3	Тиск	0,29 МПа	Контроль
4	Трубопровід 3	Температура	До 90 °С	Контроль
5	Трубопровід 3	Тиск	0,8 МПа	Контроль
6	Трубопровід 3	Температура	140...230 °С	Контроль, регулювання
7	Трубопровід 3	Витрата	До 40000 м ³ /год	Контроль
8	Трубопровід 11	Витрата	До 6000 м ³ /год	Контроль
9	Змішувач 5	Концентрація	9,5...11 %	Контроль, регулювання, сигналізація
10	Контактний апарат 6	Температура	850...910 °С	Контроль, регулювання, сигналізація
11	Котел-утилізатор 7 і 17	Рівень	До 2,2 м	Контроль, регулювання, сигналізація
12	Трубопровід 29	Температура	260...345 °С	Контроль,
13	Трубопровід 30	Температура	225...300 °С	Контроль
14	Трубопровід 30	Температура	До 700 °С	Контроль
15	Трубопровід 30	Температура	До 410 °С	Контроль
16	Трубопровід 11	Температура	90...110 °С	Контроль

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						95
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7.3 Опис розробленої схеми автоматизації

Для вимірювання тиску на схемі розроблено контури 1,3,6 які включають тензоперетворювачі тиску (поз. 1-1, 3-1, 6-1) автоматичні показувальні і реєструвальні вторинні прилади (поз. 1-2, 3-2, 6-2).

Для контролю та регулювання температури процесу використовуємо: термоперетворювачі опору (поз. 2-1, 4-1, 5-1, 15-1, 16-1, 17-1), термоелектричні перетворювачі (поз.11-1, 18-1), автоматичні показувальні і реєструвальні вторинні прилади (поз. 4-2, 5-2, 11-2, 15-2, 16-2, 17-2, 18-2), пневматичні показувальні і реєструвальні прилади (поз. 2-2), регулятори мікропроцесорні двоканальні (поз. 11-3, 18-3), електричні однообертові виконавчі механізми (поз. 11-4, 18-4).

Для контролю витрати повітря та аміаку в функціональній схемі автоматизації використано діафрагми камерні (поз. 7-1, 8-1), вимірювачі тензоперетворювальні різниці тисків із квадратичної функцією перетворення (поз. 7-2, 7-2), показувальні і реєструвальні прилади (поз. 1-3, 8-3).

Для регулювання рівня живильної води у котлах-утилізаторах на схемі передбачено рівнеміри буйкові (поз. 13-1, 21-1), перетворювачі пневмоелектричні (поз. 13-2, 21-1), автоматичні показувальні і реєструвальні вторинні прилади (поз.13-3, 21-1), регулятори мікропроцесорні двоканальні, (поз. 13-4, 21-4), електричні однообертові виконавчі механізми (поз. 13-5, 21-5).

Концентрація аміаку в аміачно-повітряній суміші на функціональній схемі вимірюється, контролюється та регулюється за допомогою індукційного перетворювача концентрації з комутуючими виходами (поз. 9-1), автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад (поз. 9-2), регулятор мікропроцесорний двоканальний (поз. 9-3), електричний однообертовий виконавчий механізм (поз. 9-4).

Специфікацію устаткування, виробів та матеріалів наведено у додатку А

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						96
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8 ЕКОНОМІКО – ОРГАНІЗАЦІНІ РОЗРАХУНКИ ВІДДІЛЕННЯ КОН- ВЕРСІЇ АМІАКУ ВИРОБНИЦТВА НІТРАТНОЇ КИСЛОТИ

Економіко-організаційні розрахунки є важливою частиною роботи, яка дає змогу обґрунтувати доцільність існування даного відділу підприємства. В умовах ринкової економіки від інженерно-технічного, технологічного персоналу підприємства власники цих підприємств очікують вміння застосовувати сучасні форми організації діяльності виробництва, формування нових моделей, організаційно-економічного забезпечення ефективної праці.

Технологічний процес складається з 5 основних стадій. Для того щоб не порушувалась його неперервність, кожна з них повинна виконуватись певний визначений проміжок часу. Перелік основних операцій наведений в таблиці 8.1.

Таблиця 8.1 – Основні операції технологічного процесу

	Операція	Час t_i , хв.
	Забір та очищення повітря	10
	Очищення аміаку від домішок	10
	Підігрів газоподібного аміаку	10
	Змішування аміаку з повітрям (утворення АПС)	10
	Окиснення АПС до оксидів азоту	10

Задана продуктивність для даного виробництва – 322 т/год. При безперервному виробництві для заданої продуктивності використовується змішаний ВРПП, який забезпечує необхідну продуктивність без введення додаткової виробничої лінії.

Підприємство працює 7 днів на тиждень у три зміни, тривалість зміни 8 годин. Кількість днів у році 365. Підприємство працює протягом 365 днів.

Середньорічна тривалість роботи виробництва:

$$T_{\text{вц}}^{\text{ср.р.}} = \frac{D_{\text{к}} \cdot 24}{T_{\text{р}} \cdot D_{\text{р}}} \cdot T_{\text{вц}}^{\text{ф}}, \quad (8.1)$$

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						97
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T_{\text{вц}}^{\text{ср.р.}} = \frac{365 \cdot 24}{24 \cdot 365} \cdot 24 = 24 \text{ год},$$

де 24 – кількість годин на добу; D_K – кількість календарних днів у році;
 T_p, D_p – тривалість роботи цеху протягом доби і кількість робочих днів цеху протягом року; $T_{\text{вц}}^{\phi}$ – фактична тривалість роботи.

Продуктивність відділення конверсії аміаку складає 322 т/добу. Отже, річний випуск продукції становить:

$$B = 365 \cdot 322 = 117\,530 \text{ т/рік.} \quad (8.2)$$

Кількість одиниць обладнання на один виробничий цикл: апарат очищення повітря, турбіна, осьовий компресор повітря, редуктор, повітроохолоджувач, електродвигун, нагнітач, випарник аміаку, дистиляційна колона, підігрівач аміаку, змішувач, контактний апарат, 2 котла-утилізатора, окиснювач, камера згоряння турбіни, 2 економайзера, апарат підготовки аміаку, аварійний збірник.

8.1 Організаційна структура відділення конверсії аміаку

Посади та схема підпорядкування цеху відображена на рисунку 8.2

Начальник цеху – здійснює керівництво виробничо-господарською діяльністю цеху, проводить роботу з удосконалення організації виробництва, його технології, механізації та автоматизації виробничих процесів.

Головний технолог - забезпечує організацію виробництва, дотримання технології, координує дії трудового колективу, відповідає за якість продукції, що випускається, за працездатність устаткування, його своєчасне технічне обслуговування, ремонт сторонніми організаціями.

Економіст – відповідає за фінансові операції та веде облік підприємства.

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						98
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

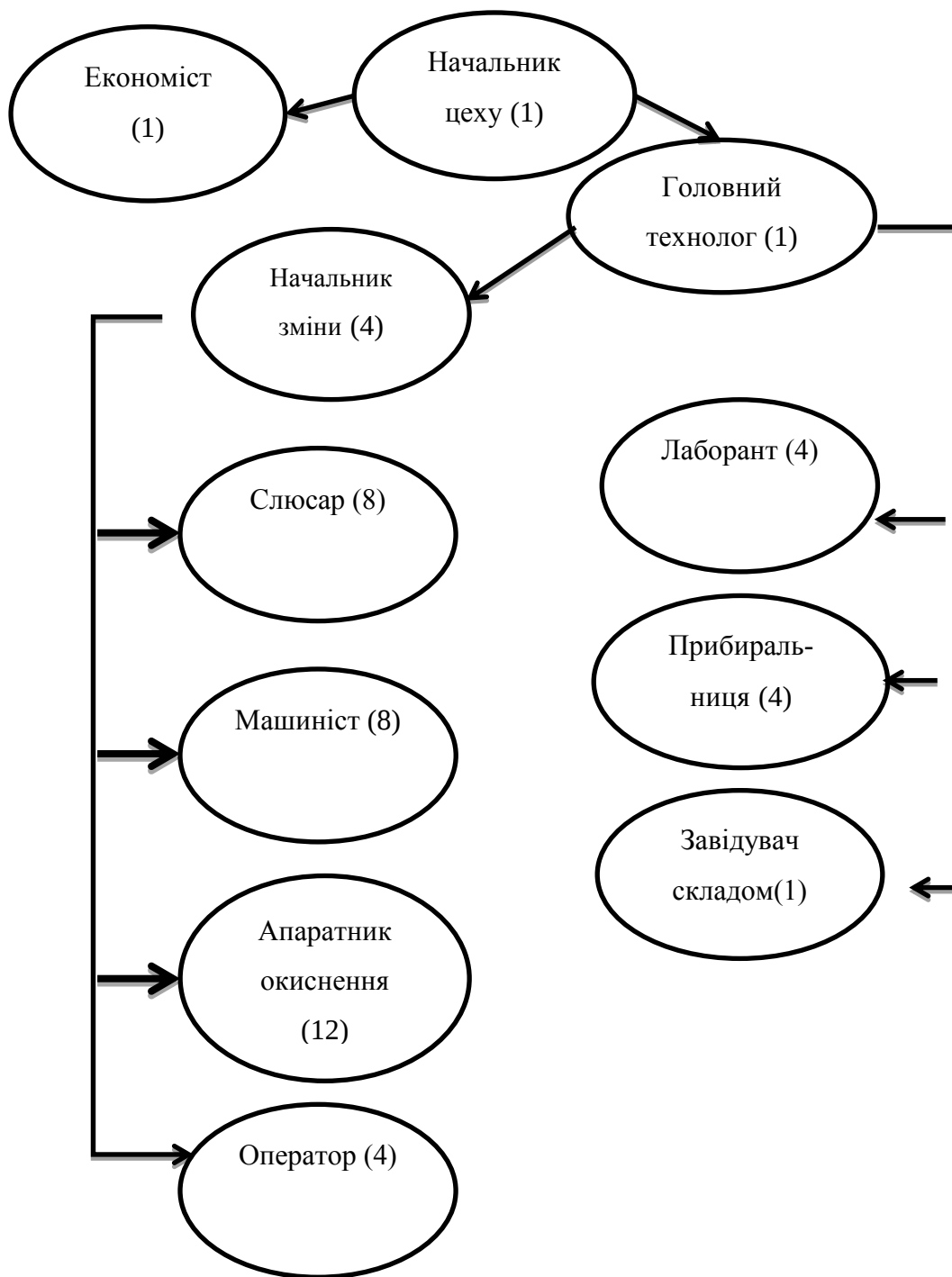


Рисунок 8.1 – Організаційна структура відділення конверсії аміаку

Лаборант – вхідний, вихідний та проміжний контролі якості, а також перевірка реагентів на якість;

Оператор обладнання – стежить за роботою обладнання, проводить технічний огляд.

Прибиральниця – прибирає приміщення.

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						99
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Завідувач складом – стежить за наявністю реагентів, що потрібні на виробництві, відповідає за інвентар.

Оскільки процес повністю автоматизований, то безпосередньої участі у виробничому процесі працівники не беруть.

Режим роботи для начальника цеху, економіста, головного технолога, завідуючого складом 5 днів на тиждень, тривалість зміни 8 годин (з 9:00 до 17:00). Для слюсаря, начальника зміни, оператора обладнання, апаратника, машиніста, прибиральниці робочий тиждень має вигляд: режим роботи у 3 зміни, тривалість робочої зміни 8 годин. В одну зміну виходить 1 лаборант, 1 начальник зміни, 1 оператор обладнання, 1 прибиральниця, 2 машиніста, 2 слюсаря, 3 апаратника окиснення. Система охорони – автоматична.

Отже, сумарна явочна кількість персоналу складає $\text{Ч}_{\text{яв}}=15$ осіб.

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; сюди включають сумісників.

$$T_{\text{підпр}}^{\text{рік}} = 365 \cdot 24 = 8760 \text{ год.}$$

$$T_{\text{прац}}^{\text{рік}} = \frac{365 - T_{\text{св}}}{7} \cdot 40 - (T_{\text{св}}^* - 1). \quad (8.3)$$

$$T_{\text{прац}}^{\text{рік}} = \frac{365 - 11}{7} \cdot 40 - (8 - 1) = 2016 \text{ год}$$

$$N_{\text{бриг}} = \frac{T_{\text{підпр}}^{\text{рік}}}{T_{\text{прац}}^{\text{рік}}}. \quad (8.4)$$

$$N_{\text{бриг}} = \frac{8760}{2013} = 4,3 \approx 4.$$

Чисельність працівників за списком:

$$\text{Ч}_{\text{сп.}} = \text{Ч}_{\text{яв}} * K_{\text{перерах.}}; \quad (8.5)$$

де

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						100
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_{\text{перерах.}} = \frac{T_{\text{відділу}}^{\text{рік}}}{T_{\text{прац.}}^{\text{рік}}} = \frac{8760}{2013} = 4,3 = 4. \quad (8.6)$$

$$\text{Ч}_{\text{яв}} = 11 + 4 = 15 \text{ осіб.}$$

$$\text{Ч}_{\text{сп}} = 11 \cdot 4 + 4 = 48 \text{ особи.}$$

де 11 – кількість працівників, що працюють позмінно;

4 – кількість працівників, що виходять в одну зміну.

Отже, відділу необхідно 4 бригади працівників для забезпечення заданої продуктивності.

Виробництво працює 7 днів на тиждень в 3 зміни (з 8:00-16:00; з 16:00-24:00 та з 00:00-08:00). Графіки змінності зображено в таблиці 8.2. та 8.3

Таблиця 8.2 – Графік змінності бригадного персоналу

Дні	ПН	ВТ	СР	ЧТ	ПТ	СБ	НД	ПН	ВТ	СР	ЧТ	ПТ	СБ	НД
Бригада 1	1	1	1	1	В	2	2	2	2	В	3	3	3	3
Бригада 2	В	2	2	2	2	В	3	3	3	3	В	В	1	1
Бригада 3	2	В	3	3	3	3	В	В	1	1	1	1	В	2
Бригада 4	3	3	В	В	1	1	1	1	В	2	2	2	2	В

Таблиця 8.3 – Графік змінності керуючого та обслуговуючого персоналу.

Дні	ПН	ВТ	СР	ЧТ	ПТ	СБ	НД	ПН	ВТ	СР	ЧТ	ПТ	СБ	НД
Бригада 1	1	1	1	1	1	В	В	1	1	1	1	1	В	В

Звідси, річну фактичну тривалість роботи лаборанта, начальника зміни, оператора обладнання, вантажника за нормальних умов праці складає:

$$T_{\text{рік факт}}^{\text{прац}} = \frac{365}{T_{\text{зм.обор}}} \cdot (T_{\text{зм.обор}} - T_{\text{вих}}) \cdot t_{\text{зм}}; \quad (8.7)$$

де $T_{\text{зм.обор}}$ - тривалість змінообороту, дні; $T_{\text{вих}}$ - кількість днів відпочинку в змінообороті; $t_{\text{зм}}$ – тривалість робочої зміни, год.

$$T_{\text{рік факт}}^{\text{прац}} = \frac{365}{16} \cdot (16 - 4) \cdot 8 = 2190 \text{ год.}$$

$$T_{\text{перепрац}} = 2190 - 2016 = 174 \text{ год/рік.}$$

Розрахуємо річну фактичну тривалість роботи начальника цеху, економіста, головного технолога, завідуючого складом:

$$T_{\text{п-ва}}^{\text{прац.}} = \frac{365 - T_{\text{св}}}{7} \cdot 40 - (T_{\text{св}} - 1); \quad (8.8)$$

$$T_{\text{вир факт}}^{\text{н.у.}} = \frac{365 - 11}{7} \cdot 40 - (8 - 1) = 2016 \text{ год.}$$

$$T_{\text{перепрац}} = 2016 - 2016 = 0 \text{ год/рік}$$

Перепрацювання кожного зпрацівників, що працюють позмінно – 174 год/рік. , працівників, які працюють з 8:00 до 17:00 п'ять днів на тиждень – 0 днів, що враховано при нарахуванні заробітної плати.

8.2 Технічний контроль на виробництві

Технічний контроль – сукупність методів, заходів та засобів, які забезпечують відповідність якості продукції, що випускається вимогам стандартів і нормативів. Об'єктом технологічного контролю є технологічний процес.

На виробництві виконуються вхідний, проміжний та вихідний контролю. Всі види контролю якості проводять працівники лабораторії.

За результатами оформлюється паспорт якості.

Суб'єкти контролю: лаборант і технолог.

Враховуючи вимоги щодо якості продукту, паспорт матиме вигляд:

ТОВ «Відділення конверсії аміаку виробництва нітратної кислоти»

Паспорт якості № XX.XXX

Найменування продукту: Оксид азоту (II)

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						102
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Якість відповідає: ДСТУ 2155-93

Упаковка:

Колір – буро-коричневий газ .

Ємність – баки(ємністю 2 тонни) .

Дата виготовлення

Термін зберігання необмежений.

Є напівпродуктом і використовується в потоковій схемі виробництва.

Робітник контролю якості _____
(підпис)

Головний технолог _____
(підпис)

Технологічне обладнання перевіряється на стадії його закупки та кожної робочої зміни.

8.3 Матеріальна, документальна та організаційна підготовка виробництва

8.3.1 Склад основних фондів

Основні фонди – засоби праці, які використовуються багаторазово, не змінюють свою натуральну форму тривалий час, а їх вартість враховується у вартості готової продукції частинами [13].

До основних фондів належать:

- будівлі і споруди;
- машини та обладнання;
- виробничий і господарський інвентар;
- нематеріальні активи.

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						103
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вартість основних фондів наведена у таблиці 8.4, до яких входять затрати на обладнання та приміщення, з суми яких вираховуємо амортизаційні відрахування.

Таблиця 8.4 – Вартість основних фондів

Назва обладнання	К-ть	Початкова вартість, грн.	Ліквідаційна вартість, грн.	Термін експлуатації, років	Амортизаційні відрахування, грн
1	2	3	4	5	6
Апарат очищення повітря	1	150 000	10 000	10	14000
Турбіна, ГТТ	1	340000	10 800	10	32 920
Осьовий компресор повітря	1	135 000	7 900	7	18 157
Редуктор	1	58 000	4 000	5	10 800
Повітроохолоджувач	1	60 000	3 000	10	5 700
Електродвигун	1	75 000	4 500	5	14 100
Нагнітач	1	85 000	5 600	7	11 343
Випарник аміаку	1	190 000	8 100	10	18 190

Закінчення таблиці 8.4

1	2	3	4	5	6
Фільтр аміаку	1	25000	2 000	5	4 600
Дистиляційна колона	1	50 000	2 900	6	7 850
Підігрівач аміаку	1	90 000	4 500	5	17 100
Змішувач	1	120000	7600	10	11 240
Контактний апарат	1	700000	18500	10	68 150
Котел-утилізатор	2	1120000	39000	10	108 100
Окиснювач	1	350000	10600	10	33940
Камера згоряння турбіни	1	240 000	9 400	6	38 430
Економайзер	2	60000	3200	5	11360
Апарат підготовки аміаку	1	80000	4100	10	7 590
Аварійний збірник	1	56000	3100	10	5 290
Загальна сума					438 860
Неврахування на обладнання 5 %					21 943
Сума					460 803

Амортизаційні відрахування (з таблиці 8.4):

$$A = A(\text{буд}) + A(\text{обл.}) + A(\text{інвентар}) + A(\text{нем.акт.}) \quad (8.9)$$

$$A = 460\,803 \text{ грн/рік.}$$

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						105
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8.3.2 Склад оборотних засобів

Оборотні засоби – це матеріальні цінності, грошові засоби, які знаходяться у розпорядженні підприємства, використовуються у процесі виготовлення продукції повертаються підприємству у ході її продажу [13].

До оборотних засобів даного виробництва належать:

1. Розрахунки (гроші у будь-якому вигляді)

2. Оборотні фонди, до яких належать:

- сировина і матеріали;
- електроенергія;
- паливо;
- запасні частини та матеріали

1. Розрахунок витрати сировини за рік:

При розрахунку вартості реактивів і матеріалів необхідно враховувати їх кількість і преїскурантну вартість з урахуванням транспортно-підготовчих витрат, розмір яких визначається типами упаковки матеріалів і реактивів, які використовуються.

Розрахунок ведеться на 1 т нітратної кислоти.

Таблиця 8.5 – Розрахунок вартості основних та допоміжних матеріалів відділення конверсії аміаку цеха нітратної кислоти

Назва	Одиниці	Кількість	Ціна за одиницю, грн	Загальна вартість, грн
1	2	3	4	5
Аміак рідкий технічний	Т	0,250	4909	1227
Вода знесолена	м ³	0,335	16986	5,69

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк. 106
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Закінчення таблиці 8.5

1	2	3	4	5
Вода оборотна	м ³	168,77	517	87,16
Вода хіміч- щенна	м ³	0,662	12752	8,44
Каталізатор:				
Платина	гр.	0,115	274,12	31,52
Паладій	гр.	0,00864	595,51	0,16
Загальна сума				1360,22
Транспортно-підготовчі витрати 10%				136,02
Не враховані реактиви та матеріали 10%				136,02
Всього				1632,26

Цех здійснює випуск 117 530 т нітратної кислоти на рік, а це означає, що вартість реактивів та матеріалів становитиме 191 839 517 грн/рік.

2. Розрахуємо витрати електроенергії [13].

Період роботи підприємства за рік $\tau = 8760$ год.

$$C_{\text{ел}} = \sum (T_{\text{рег}} \cdot \tau) \cdot P_{\text{обл}}^{\text{річ}} \quad (8.11)$$

де $T_{\text{рег}}$ —тарифна ставка за регульованим тарифом: $T_{\text{рег}} = 1,942$ грн./(кВт·год.)

$P_{\text{об}}^{\text{річ}}$ – річна потужність обладнання, 664,5 кВт/год (сумарна по всьому технологічному обладнанню та освітленню):

$$C_{\text{ел}} = (1,942 \cdot 8760) \cdot 664,5 = 11\,304\,420 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}$$

3. Фонд оплати праці:

В таблиці 8.6 наведені заробітні плати працівників для розрахунку ФОП.

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						107
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 8.6 – Заробітна плата працівників

Посада	Кількість штатних одиниць	Встановлений місячний посадовий оклад, грн./міс	Річний фонд заробітної плати, грн./рік
1	2	3	4
Начальник цеху	1	8 000	96 000
Слюсар	8	4 000	384 000
Машиніст	8	4 000	384 000
Начальник зміни	4	6 000	288 000
Апаратник окиснення	12	5 000	720 000
Оператор	4	4 000	192 000
Завідувач складом	1	4 100	49 200
Прибиральниця	4	3 200	153 600
Технолог	1	6 000	72 000
Економіст	1	5 000	60 000
Лаборант	4	5 000	240 000
Всього	48		2 638 800

Фонд оплати праці відділення конверсії аміаку:

$$\text{ФОП} = \text{ЗП} + \text{Нарахування} \quad (8.12)$$

$$\text{ФОП} = 2\,638\,800 \cdot 1,22 = 3\,219\,336 \text{ грн/рік.}$$

Вартість оборотних засобів відділення:

$$\text{ОБЗ} = \text{Ц}_{\text{сиров}} + \text{Ц}_{\text{ел}} + \text{ФОП} \quad (8.13)$$

$$\text{ОБЗ} = 206\,363\,073 \text{ грн/рік.}$$

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						108
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8.4 Розрахунок техніко-економічних показників

Капіталовкладення:

$$K = \text{ОФ} + \text{ОБЗ} = 5\,081\,000 + 206\,363\,073 = 211\,444\,073 \text{ грн.} \quad (8.14)$$

Собівартість:

$$C_{\text{річн. вип.}} = A + \text{ОБЗ} = 460\,803 + 206\,363\,073 = 206\,823\,876 \text{ грн/рік} \quad (8.15)$$

Собівартість 1т нітратної кислоти:

$$C = C_{\text{річн. вип.}} / V_{\text{річн}} = 206\,823\,876 / 117\,530 = 1759 \text{ грн/т.} \quad (8.16)$$

Таблиця 8.7 – Техніко-економічні показники

Показник	Значення
Капіталовкладення	211 444 073 грн
Собівартість	1759 грн/т
Чисельність явочна	15 осіб
Чисельність за списком	48 осіб
Прибуток	0
Рентабельність	0

9 ОХОРОНА ПРАЦІ

З технологічного проекту видно, що у відділенні конверсії аміаку виробництва нітратної кислоти, на об'єкті знаходяться в обігу шкідливі, пожежонебезпечні, вибухонебезпечні речовини і матеріали. Передбачено використання електричної, механічної, теплової енергії та енергії стиснутого газу. Внутрішньо-цеховий транспорт представлений трубопроводами. Проект виконаний з урахуванням вимог щодо охорони праці та пожежної безпеки.

На основі аналізу шкідливих і небезпечних виробничих факторів розроблено заходи і засоби щодо забезпечення здорових, безпечних умов праці, пожежної безпеки та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

9.1 Виявлення та аналіз ШНВФ на проектному об'єкті. Заходи з охорони праці

9.1.1 Повітря робочої зони

Згідно ДСН 3.3.6.042-99, категорія робіт в цеху за важкістю – середньої важкості II б. В таблиці 9.1 наведені санітарні норми параметрів мікроклімату для названих приміщень, а в таблиці 9.2 – коротку санітарну характеристику цеху, що проектується.

Таблиця 9.1 – Санітарні норми мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Оптимальні велич.			Допустимі величини					
		Температура повітря	Відносна вологість	Швидкість руху	Температура, °С				Відносна вологість (%) на робочих місцях – постійних і непостійних	Швидкість руху (м/с) на робочих місцях постійна і непостійна
					Верхня межа		Нижня межа			
					На постійних робочих місцях	На непостійних робочих місцях	На постійних робочих місцях	На непостійних робочих місцях		
Холодний	середньої важкості	17-19	60-40	0,2	21	23	15	13	75	Не більше 0,4
Теплий		20-22	60-40	0,3	27	29	15	15	70 при 25	0,5-0,2

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						110
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Температура внутрішніх поверхонь робочої зони (стіни, підлога, стеля), технологічного обладнання, зовнішніх поверхонь технологічного устаткування, огорожуючи конструкцій не повинна виходити більш ніж на 2 °С за межі оптимальних величин температури повітря для даної категорії робіт.

Таблиця 9.2 – Коротка санітарна характеристика цеху, що проектується

Назва виробничої ді- льниці	Шкідливі речовини, що виділяються, при- чини їх виділення	Група шкідливої речо- вини, характеристика шкідливої дії	ГДК шкідливої речо- вини у повітрі робочої зони, мг/м ³	Клас небезпечності шкідливої речовини	Засоби індивідуально- го захисту: тип, марка, ГОСТ	Засоби долікарняної допомоги	Методи контролю вмі- сту шкідливих речо- вин у повітрі робочої зони
1	2	3	4	5	6	7	8
Відділення конверсії аміаку цеху синтезу ніт- ратної кис- лоти.	Аміачно- повітря- насуміш над сітками контакт- ного апа- рата	Викликає под- разнення сли- зових оболонок, задуху, потрап- ляючи на шкіру людини, викли- кає опіки.	Аміак: 20 мг/дм ³	4	Фільтрую- чий проти- газ марки К, ГОСТ 12.4.122-83	Винести по- терпілого на свіже повітря, терміново ви- кликати швид- ку.	Експрес- метод: га- зоаналіза- тори: УГ-2; ГХ-100; ГХ-4
	Нітрозні гази підсітка- ми кон- тактного апарата	Викликають загальну слаб- кість, запаморо- чення. При си- льних отруєннях з'являється ну- дота, іноді блю- вота.	Оксиди азоту (в перера- хунку на NO ₂) 5 мг/дм ³	3	Фільтрую- чий проти- газ мар- ки NO, ГОСТ 27653-88	Винести по- терпілого на свіже повітря.	

Проектом передбачено природну та механічну систему аерації.
Природна вентиляція має неорганізований характер.

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Механічна вентиляція використовується у виробничих приміщеннях, де можливе виділення в повітря великої кількості шкідливих та вибухонебезпечних речовин внаслідок порушення технологічного режиму або аварії. Механічна вентиляція є витяжною, яка за годину забезпечує не менше, ніж восьмикратний повний обмін повітря в цих приміщеннях.

У проектуваному приміщенні передбачено систему, повітряного опалення, яке здійснюється за допомогою калориферів. Витрату теплоти на вентиляцію в зимовий час можна визначити по формулі:

$$Q_v = W_{\text{пром}} \cdot C_v (t_{\text{подав}} - t_{\text{зовніш}}) \cdot 1000 / 3600, \text{ Вт}, \quad (9.1)$$

де $W_{\text{пром}}$ – кількість припливного повітря, що подається промисловим вентилятором, м³/год;

C_v – об'ємна теплоємність повітря, дорівнює 1,257 кДж/м³·град;

$t_{\text{подав}}$ – температура повітря, що подається в приміщення; приймається рівною 22°C;

$t_{\text{зовніш}}$ – температура зовнішнього повітря, °C. Приймається, що в осінньо-зимовий період середня температура зовнішнього повітря дорівнює -7°C.

$$Q_v = 2 \cdot 80000 \cdot 1,257 \cdot (22 - (-7)) \cdot 1000 / 3600 = 1633,1 \text{ кВт} \quad (9.2)$$

Площа поверхні опалювальних приладів визначається по формулі:

$$H = Q_v / 506, \text{ екм}, \quad (9.3)$$

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де екм – еквівалентний квадратний метр - це площа поверхні нагрівання опалювального пристрою, що віддає 506 Вт теплоти при різниці середньої температури теплоносія і температури повітря в приміщенні 64,5°C; 1екм = 0,82м².

$$H = \frac{1633094,4}{506} = 3227,4 \text{ екм або } 2646 \text{ м}^2. \quad (9.4)$$

Тип калориферу КСК4-12-02. Площа поверхні калориферу – 166,25 м², кількість калориферів дорівнює 2646/166,25 = 16.

9.1.2 Виробниче освітлення

Згідно ДБН В.2.5-28-06, розряд зорових робіт у робочому приміщенні цеху становить відповідно IV та V. У таблиці 9.3 наведені санітарні норми параметрів освітлення.

Таблиця 9.3 – Санітарні норми параметрів освітлення

Розряд зорової роботи	Штучне освітлення					Природне освітл.		Суміщене освітл.	
	Освітленість, лк			Сукупність нормованих величин показника освітленості і коефіцієнта пульсації		КПО, %			
	При системі комбінованого освітлення		При системі загального освітлення			При верхньому або комбінованому освітленні	При боковому освітленні	При верхньому або комбінованому освітленні	При боковому освітленні
	всього	У т.ч. загального		Р	Кп, %				
IV	400	200	200	40	20	4	1,5	2,4	0,9
V	-	-	200	40	20	3	1	1,8	0,6

Проектом передбачене природне, бокове, робоче та аварійне освітлення. Природне освітлення представлено боковим світлом, яке забезпечується вікнами приміщення цеху. У якості штучного освітлення використовуються комбіноване люмінесцентні лампи типу ЛБ та вибухозахищені світильники

					ХН3201 1440 000 ПЗ				Арк.
									13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

типу НОБ-300. Для аварійного освітлення використовують люмінесцентні лампи.

9.1.3 Захист від виробничого шуму та вібрації

За ДСН 3.3.6.0.37-99 рівень звуку не повинен перевищувати 50 дБА.

Фактичний рівень шуму складає 46 дБА, що відповідає нормі.

Для зниження шуму встановлені глушники аеродинамічного шуму від вентиляторів і компресорів. Для захисту органів слуху від шуму використовують засоби індивідуального захисту - протишумові навушники або вушні тампони. При роботі з вібруючим устаткуванням передбачено 10-15 хвилинні перерви після кожної години роботи. Основне зниження шуму досягається в основному звукоізоляцією джерела або застосуванням глушників, які встановлюють на повітропроводах, магістралях викиду і очищення повітря. Для захисту від шуму використовуємо спеціальні кожухи, що встановлюються на агрегатах. Внутрішня поверхня кожуха облицьовується звукопоглинальним матеріалом. При установці кожуха на підлогу передбачено використання гумових прокладок. Для контролю шуму використовують шумоміри, для контролю вібрації - прилад ВШВ-003.

9.1.4 Електробезпека

Заводське електроустаткування живиться від трифазної чотирьохпровідної електромережі змінного струму промислової частоти з глухозаземленою нейтраллю напругою 380/220 В. Для змінного струму з частотою 50Гц гранично припустимі значення напруги дотику й струму, що проходить через тіло людини, при аварійному режимі $I_l = 6\text{мА}$, $U_{\text{дот}} = 36\text{В}$; при нормальному режимі роботи електричного обладнання $I_l = 0,3\text{мА}$, $U_{\text{дот}} = 2\text{В}$. Згідно з ГОСТ 12.1.038-92 порівнюють розрахункове значення із гранично допустимим значенням струму:

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{\text{л}} = \frac{U_{\phi} \cdot 10^3}{R_{\text{л}} + R_o}, \text{мА}; \quad (9.6)$$

де $R_{\text{л}}$ - опір тіла людини, Ом;

R_o - опір нейтралі заземлення, Ом;

U_{ϕ} - фазова напруга, В.

$$U_o = I_{\text{л}} \cdot R_{\text{л}} \cdot 10^3, \text{В}; \quad (9.7)$$

$$R_{\text{л}} = 2\text{кОм}; \quad R_o = 4\text{Ом};$$

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

$$U_o = 0,11 \cdot 2000 = 220 \text{В}. \quad (9.8)$$

Як видно з порівнянням розрахованих із допустимими величинами при порушенні вимог ПУЕ можливі електротравми з важкими наслідками. Виробничі приміщення цеху відносяться до приміщень з підвищеною небезпекою у зв'язку з наявністю струмопровідних підлог, залізобетонних конструкцій.

Травмонебезпечними місцями в цеху є: електродвигун, насоси, компресори, трубопроводи, проводка, лампи.

Ураження людей електричним струмом може виникнути в результаті дотику до відкритих струмоведучих частин, до струмопровідних не струмоведучих елементів устаткування, що опинилися під напругою в результаті порушення ізоляції, а також ураження кроковою напругою та через електродугу.

У разі застосування огорож або оболонок, як заходу захисту від прямого дотику струмоведучі частини вміщені в оболонки або розташовані за огорожами. Також використовується подвійна ізоляція. З подвійною ізоляцією виготовляється апаратури розподільні коробки, вимикачі, розетки, корпуси, переносні світильники, електровимірювальні прилади.

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Також передбачено електроблокування, що дозволяє виключати напругу при відкриванні дверей огорожень, дверей корпусів і кожухів і при знятті кришок.

Для забезпечення електробезпеки передбачені наступні технічні способи: захисний поділ мереж, заземлення.

Засоби захисту від статичної електрики, передбаченні проектом: заземлення металевих й електропровідних частин устаткування.

Для запобігання прямих ударів блискавки, будинки захищені стрижньовими блискавковідводами.

9.1.5 Безпека виробничих процесів та обладнання

Експлуатація обладнання дозволяється персоналу, який пройшов спеціальне навчання, первинний та повторний інструктаж з охорони праці і має посвідчення про здачу іспиту на право роботи на даному виді устаткування.

Найнебезпечніші місця устаткування: рухомі частини обладнання, зокрема механізм запирання; поверхні з високою температурою, прилади в яких використовується струм.

При виникненні травмонебезпечних ситуацій з рухомими частинами обладнання в першу чергу виключається електроживлення, а пізніше надають першу медичну допомогу.

Для екстреної зупинки всіх частин, що рухаються, передбачаються аварійні кнопки «Стоп загальний», «Аварійний стоп» встановлені в декількох місцях. Для підтримки устаткування в справному стані буде своєчасно проводитись їх технічне обслуговування і ремонт.

9.2 Пожежна безпека

Пожежонебезпечність виникає внаслідок:

- при недотриманні правил проведення вогневих робіт;
- при появі пропусків масла в межах газотурбінної установки ГТТ-3М ;
- при недотриманні правил зберігання відпрацьованих матеріалів;
- при попаданні азотної кислоти на дерево, ганчір'я ;
- при недотриманні правил експлуатації трубопроводів природного газу, азотоводневої суміші.

Для забезпечення пожежної безпеки у відділенні конверсії на відмітках 0.00 та 6.00 на кожному агрегаті встановлені пожежні крани.

В відділенні турбокомпресії встановлені пожежні крани, ящики з піском, вогнегасники та установки пожежегасіння.

На ДПУ, в кімнаті регенерації та на складі встановлені вогнегасники. Приміщення обладнані пожежними оповіщувачами, пожежними кранами та вогнегасниками К. 501 обладнаний двома вводами пожежогосподарської води, к.501а – одним. Відділення турбокомпресії обладнане газоаналізатором горючих газів.

З метою встановлення особливого протипожежного режиму в цеху встановлені місця для куріння, особливий порядок проведення вогневих робіт, порядок прибирання горючих та промаслених відходів, особливий порядок проведення планово-попереджувальних ремонтів та оглядів електроустановок, вентиляційного та технологічного обладнання. На поверхах к.501 вивішено плани евакуації людей. Електроенергію на випадок пожежі відключає електротехнічний персонал, або цех електропостачання через диспетчера підприємства. Територія прибрана, освітлена, з вільними під'їздами до корпусів та твердим покриттям доріг та під'їздів. Евакуаційні виходи, пожежні драбини та двері

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

к.501 утримуються у справному стані та мають вільний доступ. Тамбур шлюзи к.501 мають постійний підпір повітря. Опалення корпусів влаштоване водяним, приміщення ДПУ – повітряним через приточну вентиляції з калориферами.

Вентиляція каналу печі здійснюється двома димососами ДН – 17, один із яких є резервним. Система автоматики безпеки, що оснащена в основному клапанами – відсікателями типу ПКБ. У проектованому цеху можливе виникнення вогнищ загоряння внаслідок перевантаження електроустаткування й влучення блискавки в будинок.

Таблиця 9.5 – Показники пожежо- і вибухонебезпечності речовин і матеріалів

Найменування ділянок, приміщень, зовнішніх установок	Речовини, що мають обіг у виробн.	Агрегатний стан речовини при нормальних умовах	Горючість, займистість, вибухонебезпечність	Показники пожежо- і вибухонебезпечності, °С			Межі запалення		Вибухонебезпечні суміші з повітрям		Вогнегасні засоби	Категорія приміщень по ОНТП 24-86	Клас приміщень і зовнішніх установок по ПУЭ	Категорія об'єкта і тип зони захисту щодо влаштуванню блискавкозахисту згідно з СН 305-77
				Температура спалаху	Температура запалення	Т самозапалювання	%об'ємних	Мг/м	категорія	група				
Ділянка сушіння й обпалу	Аміак	Газ	горючий			650	15-28		Па	T1	інертн. газ	Г	Пб	Па
	CH ₄	Газ	горючий		537	600			Па	T1	Ин. г			
Склад	Олія турбінна марки Т22	Рідина	горючий	180	400	-			Пб		Пінний	-	-	-

У цеху встановлена пожежна сигналізація автоматичного типу на стелі, сигналізація типу ПТИМ – 1

На технологічне встаткування передбачене застосування запобіжних пристроїв (мембран, клапанів). Вони спрацьовують при підвищенні тиску понад установлені межі.

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10 ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ВІДДІЛЕННЯ ОКИСНЕННЯ АМІАКУ ВИРОБНИЦТВА НІТРАТНОЇ КИСЛОТИ. ХАРАКТЕРИСТИКА ГАЗОВИХ, РІДКИХ ТА ТВЕРДИХ ВИКИДІВ І ВІДХОДІВ

Одній з найбільш актуальних проблем тих, що хвилюють, сьогодні людство стала проблема охорони природи, раціонального використання природних багатств. У нашій країні охорона довкілля і раціонального використання природних ресурсів завжди відносилася до найважливіших політичних, економічних, соціальних завдань. Особлива відповідальність у справі охорони довкілля лягає на сучасні інженерно - технічні кадри. Вони повинні використати сучасну техніку і нову технологію виробництва з урахуванням збереження довкілля, повного комплексного використання неживої природи і забезпечення розширення відтворення ресурсів живої природи.

В процесі окиснення аміаку до оксиду азоту в атмосферу можуть потрапляти такі забруднювачі, як оксиди азоту (II ,IV), оксиди вуглецю (II ,IV), метан та азот.

У виробництві неконцентрованої азотної кислоти здійснюється постійний викид в атмосферу очищених хвостових газів.

З метою запобігання забрудненню повітряного середовища шкідливими речовинами на ПАТ «Рівнеазоті» передбачено селективне очищення хвостових газів від оксидів азоту на всіх агрегатах виробництва неконцентрованої нітратної кислоти.

Очищені хвостові гази викидаються в атмосферу через випускні труби висотою 151м і 153 м. Така висота випускних труб забезпечує розсіювання хвостових газів і запобігає утворенню небезпечних концентрацій шкідливих речовин в приземному шарі.

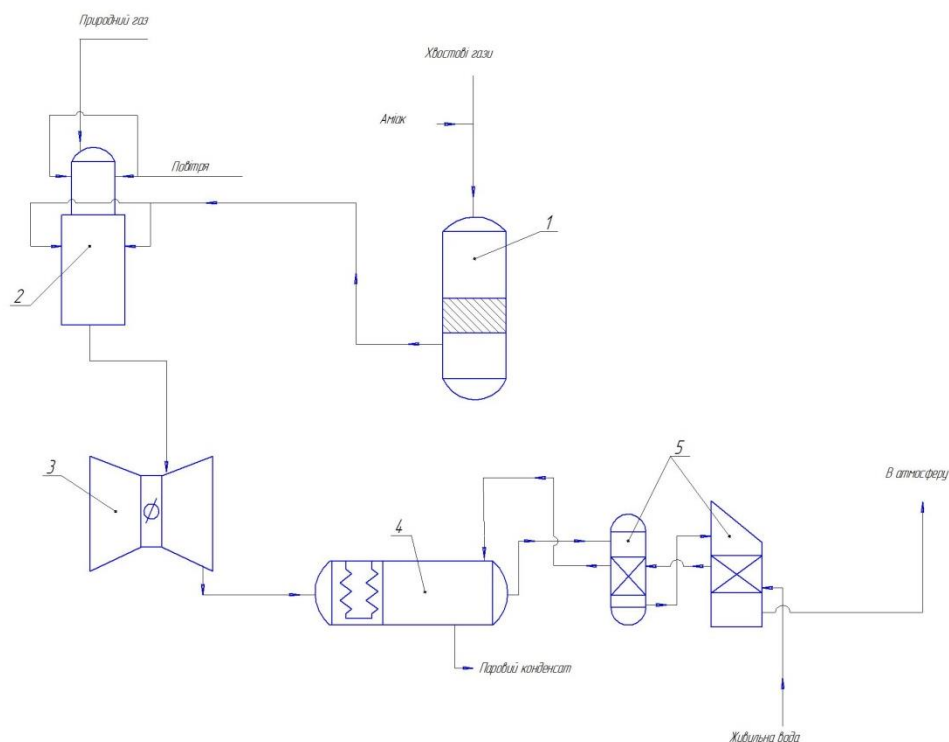
У разі виникнення аварійних ситуацій короточасний викид шкідливих речовин (газоподібний аміак) здійснюється через свічки висотою 50 м.

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Викид оксидів азоту під час аварійних зупинок агрегатів здійснюється через свічку висотою 50 м протягом 30 с.

У разі витоку рідинного аміаку з трубопроводів і апаратів вузла підготовки газоподібного аміаку передбачено аварійний збірник для швидкого спорожнення їх від рідинного аміаку. В аварійному збірнику (поз.20) відбувається випаровування рідинного аміаку з наступною видачею газоподібного аміаку в мережу.

Для забезпечення охорони навколишнього середовища у виробництві неконцентрованої азотної кислоти за схемою під єдиним тиском 0,73 МПа передбачені апарати для очищення викидних газів перед викидом в атмосферу (рисунок 10.1).



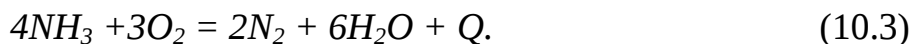
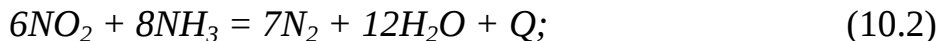
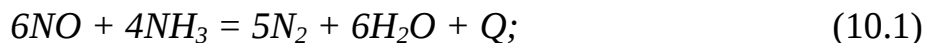
1 – реактор селективної очистки; 2 – камера згорання турбіни; 3 – газотурбінна установка ГТТ-3М; 4 – котел-утилізатор; 5 – економайзери

Рисунок 10.1 – Схема очистки викидних газів виробництва неконцентрованої нітратної кислоти

Після підігрівачів хвостові газу при температурі $(220 \div 290) ^\circ\text{C}$ надходять в реактор селективного очищення 1.

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк. 21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В реакторі 1 на алюмованадієвомарганцевому каталізаторі АВК-10М відбувається відновлення оксидів азоту за реакціями:



Газоподібний аміак подається безпосередньо в трубопровід хвостових газів перед реактором. Процес очищення проходить за температури $(225 \div 300)^\circ\text{C}$.

Очищені хвостові гази після реактора селективного очищення 1 проходять між зовнішнім і внутрішнім корпусами універсальної камери згоряння турбіни 2, змішуються з паливними газами, які виходять з камери згоряння турбіни, і з температурою не вище ніж 700°C надходять в газову турбіну 3.

Відпрацьовані в турбіні 3 гази з температурою не вище ніж 400°C надходять в котел-утилізатор хвостових газів 4. В котлі виробляється пара під тиском не вище ніж 1,5 МПа і з температурою $(195 \div 250)^\circ\text{C}$ за рахунок теплоти хвостових газів.

Хвостові гази після котла-утилізатора хвостових газів 4 проходять через економайзери 5 і викидаються в атмосферу через викидні труби висотою 150 м.

Процес низькотемпературної каталітичної очистки вписується в технологічну схему виробництва азотної кислоти і дозволяє замкнути енергетичний баланс агрегату.

Характеристика відходів, стоків та викидів виробництва наведена у таблиці 10.1.

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 10.1 – Характеристика відходів та викидів виробництва

№ пп	Найменування стадії виробництва відходів, стоків та викидів.	Їх склад після очищення %, г/м ³	Кількість, на 1т готової продукції, м ³ /год, т/рік	Метод очищення, утилізації
1	Рекуперація енергії хвостових газів:			Селективна очистка на алюмованадієво-марганцевому каталізаторі АВК-10М
	Оксид азоту	0,00041	0,0447	
	Діоксид азоту	0,0022	0,242	
	Метан	2,763	303,62	
	Оксид вуглецю	95,37	10481	
	Діоксид вуглецю	0,171	18,87	
	Азот	1,204	132,29	
2	Продувна котлова вода: азот амонійний	2	12,87	У промзливову каналізацію
3	Склотканина ХПСТ-2, фільтр поз.2 (поз.Ф-201), змішувач поз.5	-	0,936	На полігон побутових відходів

Таблиця 10.2 – Ставки податку за викиди в атмосферне повітря забруднюючих речовин стаціонарними джерелами забруднення

Назва забруднюючої речовини	Ставка податку на перехідний період грн/т
Оксид азоту	1434,71
Діоксид азоту	1434,71
Оксид вуглецю	54,05
Діоксид вуглецю	0,24
Метан	81,08

Розрахуємо екологічні платежі :

Ціна за оксид та діоксин азоту(за рік) :

Оксид азоту + діоксин азоту (за рік) = $1434,71 \cdot 0,0447 + 1434,71 \cdot 0,242$
 = 411,33 (грн/рік);

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ціна за оксид та діоксин вуглецю = $54,05 \cdot 10481 + 0,24 \cdot 18,87$ =
566502,58 (грн/рік);

Ціна за викид метану(за рік) = $303,62 \cdot 81,08 = 24617,51$ (грн/рік).

Отримані дані внесемо до таблиці 10.3.

Таблиця 10.3 – Розрахунок екологічних платежів

Назві забруднюючої речовини	Ціна за викиди грн/рік
Оксид азоту	64,13
Діоксид азоту	347,2
Оксид вуглецю	566498,05
Діоксид вуглецю	4,53
Метан	24617,51
Всього	591531,42

ВИСНОВКИ

Під час виконання дипломного проекту розглянуто методи виробництва нітратної кислоти у відділенні конверсії аміаку.

Також викладено фізико-хімічні основи технології відділення конверсії аміаку; охарактеризовано продукцію та вихідну сировину та обґрунтовано технологічну схему даного процесу.

Розраховано матеріальний і тепловий баланси стадії окиснення у контактному апараті. Розрахунки показали, що для отримання 1 тони оксиду азоту (II) необхідно 590,28 кг аміаку, 1917,73 кг кисню повітря.

Розділ, присвячений автоматизації устаткування, описує використовувані засоби регулювання і контролю, вживані у виробництві для забезпечення ефективності процесу і його технологічності.

У розділі екологічної безпеки виробництва наведено аналіз та джерела виникнення відходів, надано можливі варіанти екологізації виробництва. Здійснено розрахунок попереджувальних збитків.

Також здійснено охорону праці, що забезпечує виявлення і аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів на виробництві; обрано заходи з охорони праці; розраховано аерацію; досліджено виробничий шум та вібрацію; забезпечено електробезпеку; безпеку технологічного процесу та обслуговування обладнання та пожежну безпеку.

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перелік посилань

1. Концевой А.Л. Прикладні розділи технології неорганічних речовин. Навчальний посібник для студентів хіміко-технологічного факультету напрям 6.051301 професійного спрямування «Хімічні технології неорганічних речовин». (Свідоцтво НМУ № Е13/14-036). / А.Л. Концевой, С.А. Концевой. - Київ, НТУУ «КП», 2013. – 303 с.

2. Концевой А.Л. Навчальний посібник «Технологічні аспекти та алгоритми розрахунків виробництва нітратної кислоти» для студентів напрям 6.051301 Хімічна технологія професійного спрямування «Хімічні технології неорганічних речовин» хіміко-технологічного факультету. - НТУУ «КП», 2015. – 195 с.

3. Лобойко О.Я. Методи розрахунків у технології неорганічних виробництв Підручник / Лобойко О.Я., Товажнянський Л.Л., Слабун І.О. та ін. - Харків: НТУ "ХП", 2001. – 512 с.

4.Товажнянський Л.Л. Технологія зв'язаного азоту: Підручник / Л.Л. Товажнянський, О.Я. Лобойко та ін.; За ред. О.Я. Лобойка. - Харків: НТУ "ХП", 2007. – 536 с.

5. Павлов К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии [Текст] / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. – М.: Госхимиздат. 1964. – 560 с.

6. Физические величины. Справочник. / Под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. – М.:Энергоатомиздат, – 1991. – 1232 с.

7. Лукінюк М. В. Технологічні вимірювання та прилади [Текст]: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / М. В. Лукінюк. – К.: НТУУ «КП», 2007. – 436 с. : іл. – Бібліогр.: с. 427-428. – 200 пр. –ISBN 978-966-622-247-6

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8. Підлісна, О.А. Методичні вказівки до виконання організаційно-економічної частини дипломних проектів для студ. хіміко-технологічних спеціальностей усіх форм навчання / Уклад.: О.А. Підлісна, В.В. Янковий, М.П. Дорошенко. – К.: ІВЦ „Видавництво „Політехніка”, 2002 – 28 с. – Бібліогр. с. 25-27. – 300 пр.

9. Запольский, А.К. Основы экологии: підручник / А.К. Запольский, А.І. Салюк. – К.: Вища школа, 2001. – 358 с. – ISBN 966-642-059-7.

10. Жаворонков Н. М. Справочник азотчика: В 2 ч. / под ред. Н. М. Жаворонкова. - М.: Химия, 1986. – Ч. 1. – 512 с.

11. Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе и воде. Справочник. – Л.: Химия, 1975. – 455 с.

					ХН3201 1440 000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		