

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри

підпис, дата

Кваліфікаційна робота магістра

зі спеціальності 133 "Галузеве машинобудування"
освітня програма "Обладнання хімічних виробництв
і підприємств будівельних матеріалів"

Тема роботи: Виробництво неконцентрованої азотної
кислоти. Розробити та модернізувати випарник з паровим
простором

Виконав:
студент групи ХМ.м-21/1
Сущенко Дмитро Миколайович

підпис

Залікова книжка

№ _____

Кваліфікаційна робота магістра
захищена на засіданні ЕК

з оцінкою _____

" ____ " _____ 20 ____ р.

Підпис голови
(заступника голови) комісії

Керівник:

докт. техн. наук, професор

Склабінський В.І.

підпис, дата

ЗМІСТ

	С.
ВСТУП	4
1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	6
1.1 Сировина і способи виробництва слабкої азотної кислоти	6
1.2 Теоретичні основи виробництва слабкої азотної кислоти	8
1.3 Конструктивні особливості та методика теплового розрахунку кожухотрубних випарників із паровим простором	13
1.4 Новизна проектної розробки	22
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	24
2.1 Опис технологічної схеми виробництва слабкої азотної кислоти контактним способом	24
2.2 Опис об'єкту розробки	26
2.3 Технологічні розрахунки	28
2.4 Конструктивні розрахунки апарату	32
2.5 Визначення гідравлічного опору апарату	34
2.6 Розрахунок і вибір допоміжного обладнання	36
3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	41
3.1 Вибір конструкційних матеріалів	41
3.2 Розрахунки на міцність, стійкість та герметичність	44
4 БУДІВЕЛЬНО-МОНТАЖНА ЧАСТИНА	51
4.1 Обґрунтування компонування основного та допоміжного обладнання	51
4.2 Проведення монтажних та ремонтних робіт основного технологічного обладнання	56
5 ІНФОРМАЦІЙНЕ ТА АПАРАТУРНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ	62
5.1 Вибір та обґрунтування параметрів контролю, регулювання та вимірювання	63
5.2 Вибір та обґрунтування технічних засобів автоматизації	64

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ

67

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

76

ДОДАТКИ

ВСТУП

Азотна кислота, за обсягом її виробництва, займає друге місце серед всіх кислот, одразу після сірчаної кислоти. Цей факт свідчить про важливе місце азотної кислоти в хімічній промисловості та господарстві загалом [1]. Її популярність і попит пояснюються різноманітністю сфер застосування.

Азотна кислота є ключовим вихідним продуктом для виробництва багатьох азотовмісних сполук. Її застосування дуже різноманітне і включає в себе виробництво азотних і комплексних мінеральних добрив, а також різних нітратів. Приблизно 75–80% азотної кислоти споживається для цих цілей. Додатково, 10–15% виробництва використовується в процесах виробництва вибухових речовин і ракетного палива. Решта кількості відсотків використовується в хімічних процесах, таких як виробництво барвників, органічний синтез і в кольоровій металургії [2].

Промисловість виробляє два основних типи азотної кислоти: неконцентровану (з вмістом HNO_3 приблизно 60–62%) і концентровану (з вмістом HNO_3 від 98% до 99%). Крім того, виробництво включає в себе реактивну і азотну кислоту високої чистоти для спеціалізованих застосувань. У виробництві вибухових речовин, таких як нітрація толуолу, уротропіну, ксилолу, нафталіну і інших органічних продуктів, застосовується концентрована азотна кислота. А для виробництва добрив використовується, як правило, розбавлена азотна кислота [2].

Світовий ринок азотної кислоти, за даними британського консалтингового агентства Merchant Research & Consulting Ltd., на сьогоднішній день є насиченим, проте він продовжує демонструвати стабільне підвищення попиту на цей промисловий хімічний продукт.

Виробництво промислових хімікатів, зокрема адипінової кислоти, толуїлендіізоціанатів і нітробензолу, які базуються на азотній кислоті, переважно зосереджене в Західній Європі та США. Проте останнім часом спостерігається швидке розширення їхнього виробництва в країнах Східної Азії. Наприклад, в Індії зафіксовано значний приріст ринку концентрованої азотної кислоти на швидкості 7% щорічно. Попит на цей продукт, окрім його застосування в оборонній галузі, зрос-

тає в секторах виробництва нітроароматичних сполук, акрилонітрильних волокон, пестицидів, фармацевтичних засобів та барвників. Особливо варто відзначити збільшення споживання азотної кислоти в фармацевтиці та пестицидах [3].

У зв'язку з неухильним зростанням виробництва азотної кислоти, важливим стає питання вдосконалення технологій та розробки нових методів її виробництва.

У цій магістерській кваліфікаційній роботі було розроблено концепцію кожухотрубного теплообмінника з паровим простором для випаровування рідкого аміаку. Ця інноваційна розробка може виявити значний вплив на виробництво азотної кислоти, забезпечуючи більш ефективний процес виробництва та знижуючи екологічний вплив.

Загалом, дана магістерська робота виконана відповідно до методичних вказівок [4]. У ній наявні усі регламентовані розділи, та враховано всі нормативні вимоги.

1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1 Сировина і способи виробництва слабкої азотної кислоти

Сировинна база для виробництва неконцентрованої азотної кислоти є фундаментальною складовою цього процесу. На сьогоднішній день, основною сировиною для виробництва неконцентрованої азотної кислоти є аміак, повітря та вода, які забезпечують важливий процес в її синтезі [1, 2].

Аміак, в свою чергу, представляє собою безбарвний газ із характерним запахом, який добре розчиняється у воді та інших розчинниках. Значним досягненням у виробництві синтетичного аміаку стало використання передового методу отримання водню, а саме конверсії метану, який міститься у природному газі, попутних нафтових газах і продуктах нафтопереробки. Важливо зауважити, що вміст домішок у рідкому аміаку регламентується стандартами, зокрема ГОСТ 6221-82. Домішки можуть включати в себе воду, мастила, каталізаторний пил, окалину, карбонат амонію, а також розчинені гази, такі як водень, азот і метан. Порушення стандартів щодо вмісту домішок в аміаку може призвести до формування аміачно-повітряної суміші (АПС) з певними характеристиками вибуховості, а також змінити характеристики цієї суміші, що є дуже важливим у промислових процесах [3].

Повітря, інша важлива компонента сировинної бази, визначається своєю складною хімічною структурою. Технічно для розрахунків приймають такий склад сухого повітря у відсотках за об'ємом: азот (N_2) – 78,1%, кисень (O_2) – 21,0%, аргон (Ar) – 0,9%, вода (H_2O) – 0,1–2,8%. Однак, в повітрі також можуть міститися сліди інших газів, таких як SO_2 , NH_3 , CO_2 . Особливо в умовах промислових об'єктів, повітря може бути забрудненим різними типами пилу та різноманітними неорганічними газами, такими як SO_2 , SO_3 , H_2S , C_2H_2 , Cl_2 і інші. Кількість пилу у повітрі варіюється в межах 0,5–1,0 мг/м³ [3].

Вода є важливою складовою процесу виробництва азотної кислоти та використовується для різних цілей у цьому промисловому процесі. Вона відіграє ключову

чову роль у ряді процесів і допомагає забезпечити безперебійний та ефективний хімічний виробництво. Використання води включає в себе такі аспекти:

- **Зрошення абсорбційної колони:** вода використовується для зрошення абсорбційної колони, де відбувається процес поглинання оксидів азоту. Цей етап виробництва допомагає ефективно вилучити шкідливі сполуки та покращити якість азотної кислоти.

- **Вироблення пари для котлів-утилізаторів:** виробництво азотної кислоти супроводжується значними виділеннями тепла, і вода використовується для вироблення пари, яка утилізує це тепло в спеціальних котлах-утилізаторах. Цей процес сприяє збереженню енергії та підвищенню ефективності виробництва.

- **Охолодження реакційних апаратів:** вода також використовується для охолодження реакційних апаратів у процесі виробництва азотної кислоти. Це необхідно для контролю температурних режимів та забезпечення безпеки виробництва.

Для забезпечення безперебійності процесу та якості виробництва вода повинна відповідати певним стандартам і вимогам. Наприклад, вода для зрошення колони не повинна містити вільний аміак та тверді суспензії. Вміст хлорид-іонів повинен бути не більше 2 мг/л, вміст масел – не більше 1 мг/л, а NH_4NO_3 – не більше 0,5 г/л.

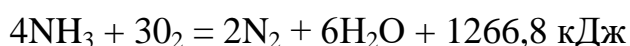
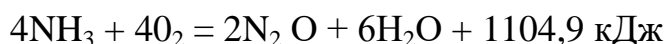
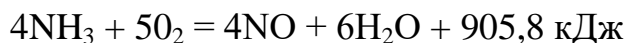
Окрім цього, хімічно очищена вода, яка використовується для котлів-утилізаторів, повинна відповідати ГОСТ 20995-75 і мати певні параметри:

- жорсткість карбонатна, мекв/кг – не більше 3,6;
- вміст зважених речовин, мг/кг – не більше 50;
- значення рН 6,5–8,5.

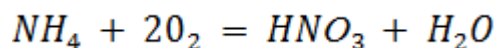
Крім води, кисень також знаходить своє застосування у виробництві азотної кислоти. Він особливо важливий у процесах, пов'язаних з виробництвом концентрованої азотної кислоти методом прямого синтезу. Кисень може бути також використаний для збагачення аміачно-повітряних сумішей в процесі виробництва неконцентрованої азотної кислоти.

1.2 Теоретичні основи виробництва слабкої азотної кислоти [1, 2]

Окислення аміаку. Процес окислення аміаку киснем повітря до оксиду азоту відноситься до каталітичних процесів. В залежності від умов його проведення можливе протікання наступних реакцій:



Крім того, важливо враховувати можливість утворення азоту у формі N_2 під час розкладання оксиду азоту NO і в результаті його взаємодії з аміаком (NH_3). Оскільки для окислення аміаку використовується повітря, вміст аміаку в аміачно-повітряній суміші, яка утворюється під час процесу, обмежується кількістю кисню, яка міститься в повітрі. Оптимальний вміст аміаку в аміачно-повітряній суміші розраховується на основі сумарної реакції:



Виходячи з цього рівняння вмісту NH_3 складає:

$$\frac{21}{2} : \left(100 + \frac{21}{2} \right) 100 = 9,5 \%$$

У виробничих умовах важливо дотримуватися певного вмісту аміаку в аміачно-повітряній суміші для забезпечення безпеки та оптимального проведення процесу. Зазвичай практичний вміст аміаку підтримується в межах 9,5–11,5 % об. при співвідношенні $[\text{O}_2] : [\text{NH}_3] = 1,7 : 2$. Проте важливо відзначити, що при збільшенні вмісту аміаку понад 13% суміш може стати надзвичайно вибухонебезпечною. При температурі в районі 380–400°C суміш, що містить 12,5–13% аміаку, може легко вибухнути.

Отже, контроль за вмістом аміаку в аміачно-повітряній суміші є критичним і важливим параметром в забезпеченні безпеки та успішного проведення хімічних процесів в промисловому виробництві.

Каталізатори грають важливу роль у процесі окислення аміаку, оскільки цей процес може протікати в різних напрямках, і для отримання бажаного продукту, яким є оксид азоту (NO), необхідно використовувати каталізатори з вибірковою дією. Один із таких ефективних каталізаторів – платиноїдний каталізатор, який виготовляється зі сплаву платини, паладію та родію.

Платиноїдний каталізатор виготовляють у вигляді сіток з дроту, і кожна сітка має дуже дрібну структуру. Нитки каталізатора мають діаметр близько 0,09 мм, і на кожному квадратному сантиметрі такої сітки міститься 1024 осередків. Ця мікроскопічна структура дозволяє каталізатору здійснювати селективну каталітичну дію та спрямовувати процес окислення аміаку у відповідному напрямку.

Серед платиноїдних каталізаторів для окислення аміаку найбільш поширені такі складові:

- Платина (Pt) з додаванням 4 мас.% Паладію (Pd) та 3,5 мас.% Родію (Rh) для роботи при атмосферному тиску.

- Платина (Pt) з додаванням 7,5 мас.% Родію (Rh) для роботи при підвищеному тиску.

Проте важливо враховувати, що під час експлуатації такі каталізатори піддаються зносу. Нові сітки мають гладкі блискучі нитки, але з часом вони стають матовими та губчастими з розвиненою внутрішньою поверхнею. Це призводить до поступового руйнування каталізатора. Сітки, які втратили більше 12% своєї первинної маси, вважаються неефективними та передають на переплавку для подальшого використання.

Швидкість окислення аміаку є ключовим аспектом в процесі формування оксиду азоту (NO). Цей процес відноситься до гетерогенних хімічних реакцій і складається з наступних основних стадій:

1. Надходження молекул аміаку та кисню з газової фази до зовнішньої поверхні каталізатора.

2. Дифузія цих молекул вглиб структури каталізатора до його внутрішньої поверхні.

3. Взаємодія адсорбованих молекул аміаку та кисню з поверхнею каталізатора, ініціюючи хімічну реакцію.

4. Дифузія продуктів реакції від внутрішньої поверхні каталізатора до його зовнішньої поверхні.

5. Надходження утворених продуктів реакції з поверхні каталізатора в газову фазу.

Швидкість окислення аміаку залежить переважно від швидкості дифузії кисню (O_2) та аміаку (NH_3) до поверхні каталізатора. Іншими словами, швидкість окислення аміаку обумовлена тим, наскільки швидко ці реактивні речовини можуть досягти активної поверхні каталізатора. Важливо відзначити, що швидкість дифузії аміаку до поверхні платиноїдного каталізатора зазвичай менша, ніж швидкість дифузії кисню. Саме ця різниця у швидкостях дифузії є визначальним чинником у швидкості окислення аміаку до NO .

Важливим аспектом механізму окислення аміаку до NO на платиноїдних каталізаторах є послідовність і проміжні реакції, які відбуваються в процесі. Процес включає в себе ряд проміжних хімічних реакцій, які призводять до утворення бажаного продукту – оксиду азоту (NO).

Для досягнення певного ступеня окислення аміаку, аміачно-повітряна суміш повинна пройти через каталізатор. Розрахунок часу контакту газів з поверхнею каталізатора є важливим етапом для досягнення визначеної ступені окислення аміаку. Для обчислення часу контакту користуються рівнянням:

$$\tau = \frac{V_g}{V_z} \quad (1.1)$$

де τ – час перебування в зоні каталізу, °C ;

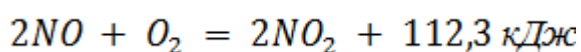
V_0 – вільний об'єм каталізатора, м³;

V_2 – об'ємна швидкість газу в умовах конверсії, м³/с.

Досвід виробництва вказує на те, що ідеальний час, протягом якого аміачно-повітряна суміш повинна знаходитися в зоні каталізу, становить 10^{-4} – 10^{-5} с. Збільшення цього часу, тобто зменшення швидкості газового потоку, призводить до утворення елементарного азоту як небажаного продукту. Натомість, підвищення швидкості газу понад оптимальну призводить до того, що аміак може проскочити через зону каталізу і ввійти в потік нітрозного газу.

Аміак, який потрапив до потоку нітрозного газу, може взаємодіяти з оксидом азоту. Ця реакція може призвести до утворення елементарного азоту, нітриту амонію і нітрату амонію. При високих температурах аміак також може підлягати розкладанню на елементарний азот і N₂O. Усі ці реакції ведуть до втрати аміаку, який є важливим реагентом в процесі окислення та утворення оксиду азоту.

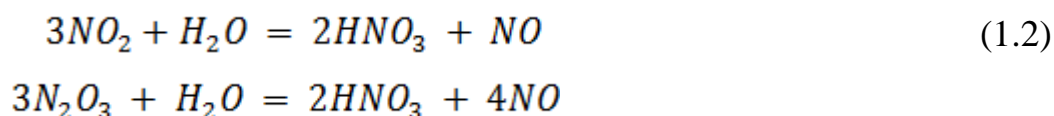
Окислення оксиду азоту. Процес перетворення NO в NO₂ представляє собою реакцію, яка є рівноважною, оборотною і при цьому супроводжується вивільненням тепла:



Відповідно до принципу Ле-Шательє, зі збільшенням температури рівновага реакції зсувається вліво, що може призвести до зменшення кількості утвореного NO₂. Для сприяння цій реакції можуть використовувати підвищений тиск, знижену температуру і підвищені концентрації NO і O₂. Швидкість цієї реакції пропорційна квадрату концентрації NO і концентрації O₂ в газовій суміші. Окислення NO в NO₂ визначається концентраціями NO і O₂, тиском і температурою газу.

Абсорбція оксидів азоту. Газова суміш, яка поступає на абсорбцію, містить різні види нітрозних оксидів, включаючи NO₂, N₂O₄, N₂O₃ і NO. Усі ці оксиди, за винятком NO, можуть реагувати з водою, утворюючи азотну кислоту. Процес

утворення HNO_3 може бути описаний за допомогою наступних реакційних рівнянь:



З рівняння (1.2) можна побачити, що для одержання 2 моль HNO_3 потрібно витратити 3 молі NO_2 , причому $1/3$ азоту, що вводиться в процес, виділяється у газову фазу у формі NO . Потім оксид азоту знову окислюється киснем до NO_2 , і під час повторного поглинання утвореного оксиду, знову виділяється із азоту у формі NO . Цей процес можна математично виразити як геометричну прогресію, сума членів якої дорівнює:

$$1 + \frac{1}{3} + \frac{1}{3} + \frac{1}{3} + \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{3} + \dots = 1,5.$$

Це вказує на те, що абсолютно перетворити оксиди азоту в азотну кислоту під час водяної абсорбції неможливо. У газах, які виходять з абсорбційної колони завжди залишаються оксиди азоту, і їх вміст залежить від умов абсорбції.

Ступінь перетворення NO_2 в азотну кислоту збільшується при поглинанні оксидів азоту розбавленими водними розчинами азотної кислоти і при знижених температурах. Але абсорбція майже повністю зупиняється при досягненні 65%-вого вмісту кислоти. Отримання кислоти з концентрацією вище 65% мас. HNO_3 ускладнюється наявністю невеликої кількості NO в газовій фазі, так як швидкість окислення NO дуже низька.

1.3 Конструктивні особливості та методика теплового розрахунку кожухотрубних випарників із паровим простором [5–10]

Середній радіус згину для труб U-подібної конфігурації повинен бути принаймні на 1,5 рази більший за номінальний зовнішній діаметр труби. Загальний вигляд трубних пучків, які складаються з U-подібних труб, зображено на рис. 1.1.



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд трубних пучків із U-подібними трубами

Висоту кришки плаваючої головки слід вибирати так, щоб площа її центрального перерізу не менше ніж у 1,3 рази перевищувала площину прохідного перерізу труб одного ходу. Різноманітні варіанти конструкцій кришок плаваючої головки наведені на рис. 1.2.

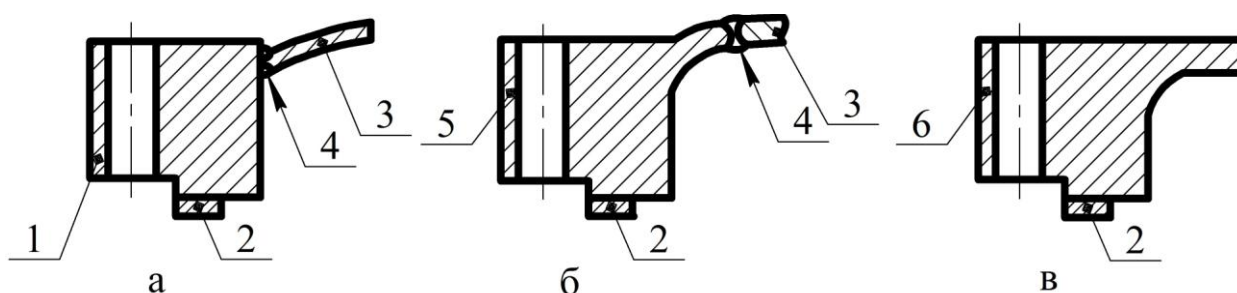


Рисунок 1.2 – Типові конструкції кришок плаваючих головок:

а – кільце-днище; б – фланець-днище; в – суцільна конструкція;

1 – кільце; 2 – прокладка; 3 – днище; 4 – зварний шов;

5 – фланець; 6 – суцільна механічно оброблена кришка

Існують два можливих варіанти виготовлення корпусу теплообмінника: з переднім напівконічним днищем та з еліптичним днищем. При використанні напівконічного днища діаметр випарника стає меншим, але це призводить до зменшення металомісткості апарата. Однак, коли встановлюють два або три трубних пучки, днища зазвичай виготовляють у формі еліпса. При цьому трубні пучки розташовують якнайнижче, з урахуванням того, що відстань між стінкою горловини і зовнішньою поверхнею циліндричного борту днища має дорівнювати $a \geq 0,1 \cdot D_3$ або $a \geq s + 0,09 \cdot D$. Близьке розташування горловини до перехідної зони не дозволяє встановлювати укріплювальне кільце, тому виріз у днищі компенсують потовщенням стінки днища і стінки патрубка горловини.

Процеси теплопередачі відбуваються в теплообмінниках, де теплоносії можуть змінювати свій агрегатний стан. Ці процеси широко використовуються у різних галузях промисловості, включаючи енергетику (атомні та теплові електростанції), хімію та нафтохімію (випаровування, дистиляція, ректифікація, охолодження та газороздільні процеси), а також в харчовій та інших галузях. Однією з особливостей таких процесів є передача значно вищих теплових потоків в невеликих об'ємах теплообмінників.

Пароутворення є процесом, при якому речовина переходить з рідкого стану в пароподібний. Цей процес вимагає підведення тепла з зовнішніх джерел до пароутворювального середовища та відбувається при температурах, вищих від рівноважних для даного тиску. У результаті пароутворення утворюється парова рідина, яка виступає як холодний теплоносії та вимагає підведення тепла. Кількість тепла, необхідна для випаровування 1 кілограма теплоносія, називається питомою (прихованою) теплотою пароутворення.

Кипіння – це інтенсивний процес пароутворення в рідині, яка має температуру насичення або трохи вищу за цю температуру, і супроводжується утворенням парових бульбашок. Є два види кипіння: об'ємне, коли парові бульбашки утворюються всередині рідини (в разі значного її перегрівання відносно температури насичення, що стає можливим в разі різкого зниження тиску над рідиною,

або за наявності в рідині внутрішніх джерел тепла), і поверхнєве, коли бульбашки утворюються лише на поверхні нагрівання в окремих точках.

Особливо важливим для хімічних технологій є кипіння на твердих поверхнях. У цьому контексті ми розглядаємо розрахунки для кожухотрубчастих випарників з паровим простором, які використовуються для кипіння різних рідин або як генератори пари в технологічних процесах.

Якщо теплообмін відбувається зі зміною агрегатного стану холодного теплоносія, то теплове навантаження можна розрахувати за допомогою рівняння теплового балансу, яке має наступний вигляд (за умови, що втрати тепла в довкілля не розглядаються):

$$Q = G_x \cdot (H_{xk} - h_{xn}) = G_x \cdot (H_{xk} - h_{xk} + h_{xk} - h_{xn}) = G_x \cdot (r_{нар} + c_x \cdot (t_{xk} - t_{xn})), \quad (1.3)$$

де h_{xn} , h_{xk} , H_{xk} – ентальпії рідини та пари холодного теплоносія за початкової та кінцевої температур, Дж/кг;

$r_{нар}$ – питома теплота пароутворення холодного теплоносія, Дж/кг.

У разі якщо холодний теплоносій подається на випарювання підігрітим до температури кипіння ($t_{xn} = t_{xk}$), то рівняння (1.3) можна представити у спрощеному вигляді:

$$Q = G_x \cdot r_{нар}. \quad (1.4)$$

Кипіння рідини відбувається при певному тиску і при постійній температурі, яка дорівнює температурі насичення або рівноважній температурі для даного тиску. У випадку теплообмінників, де один з теплоносіїв зберігає постійну температуру, а інший теплоносій постійно нагрівається або охолоджується, напрямок руху робочих середовищ має критичне значення.

Якщо початкова температура холодного теплоносія нижча за рівноважну температуру, то температурна схема матиме вигляд, поданий на рис. 1.3, а. Такий

тип апарату називається багатозонним, і середні рушійні сили визначаються для окремих зон, таких як нагрівання рідини і кипіння (пароутворення).

Теплофізичні властивості робочих середовищ визначаються на основі їх середніх температур. У цьому контексті ключовою є температура кипіння холодного теплоносія при даному тиску, а для гарячого теплоносія ця температура розраховується за допомогою формули.

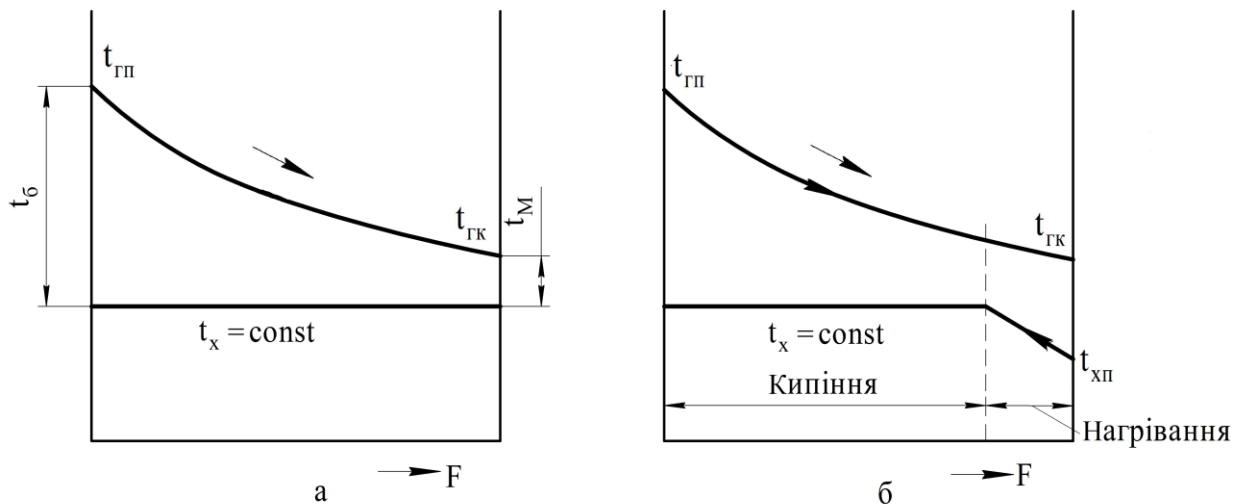


Рисунок 1.3 – Температурна схема процесу за зміни агрегатного стану холодного теплоносія: а – для однозонного апарату; б – для багатозонного апарату

Перед вибором конструкції кожухотрубчастого випарника з паровим простором, проводять попередні розрахунки для оцінки орієнтованої площі теплообміну F_{op} та орієнтованого поперечного перерізу одного трубного ходу. За допомогою табличних даних визначають опції конструкції апарату і тим самим встановлюють наступне:

- внутрішній діаметр кожуха $D_в$ і сортамент труб $d_n \times \delta$;
- конструкцію і кількість трубних пучків N ;
- довжину труб l та їх число в одному пучці n ;
- площу прохідного перерізу одного ходу по трубах $S_{тр}$ та фактичну площу поверхні теплообміну F .

Методологія визначення коефіцієнта тепловіддачі, коли гарячим теплоносієм є речовина, яка конденсується (наприклад, водяна пара або пари високотемпе-

ратурних органічних сполук), буде описана в наступних розділах.

Поверхнєве кипіння спостерігається, коли температура зовнішньої поверхні труби t_{cm} вища, ніж температура насичення t_n , за даного тиску. На параметри пароутворення значно впливає щільність теплового потоку від поверхні нагрівання q або ж різниця температур $\Delta T = t_{cm} - t_n$ між стінкою і киплячою рідиною.

В залежності від значень q та ΔT можна виділити два основних режими кипіння: бульбашковий і плівковий. Бульбашковий режим кипіння характеризується утворенням окремих парових бульбашок, які періодично зароджуються, збільшуються в розмірах, відриваються від поверхні і спливають вгору. Зі збільшенням теплового потоку ці окремі парові бульбашки можуть об'єднуватися, утворюючи на поверхні теплообміну стійкий паровий шар. Режим кипіння, при якому на поверхні утворюється парова плівка, яка оточує цю поверхню і відокремлює її від рідини, називається плівковим.

У плівковому режимі кипіння інтенсивність тепловіддачі значно нижча, ніж у бульбашковому, через малу теплопровідність парового шару. На рис. 1.4 показана типова залежність коефіцієнта тепловіддачі та питомого теплового навантаження (густини теплового потоку) від температурного напору під час кипіння рідини: $\Delta T = t_{cm} - t_n$. При малих температурних напорах кількість бульбашок, які відділяються від поверхні нагрівання, дуже обмежена, і вони не мають істотного впливу на перемішування рідини. У таких умовах інтенсивність тепловіддачі визначається переважно вільним рухом рідини, і коефіцієнт тепловіддачі слабо зростає зі збільшенням ΔT . Ця область називається зоною природної конвекції (зона А).

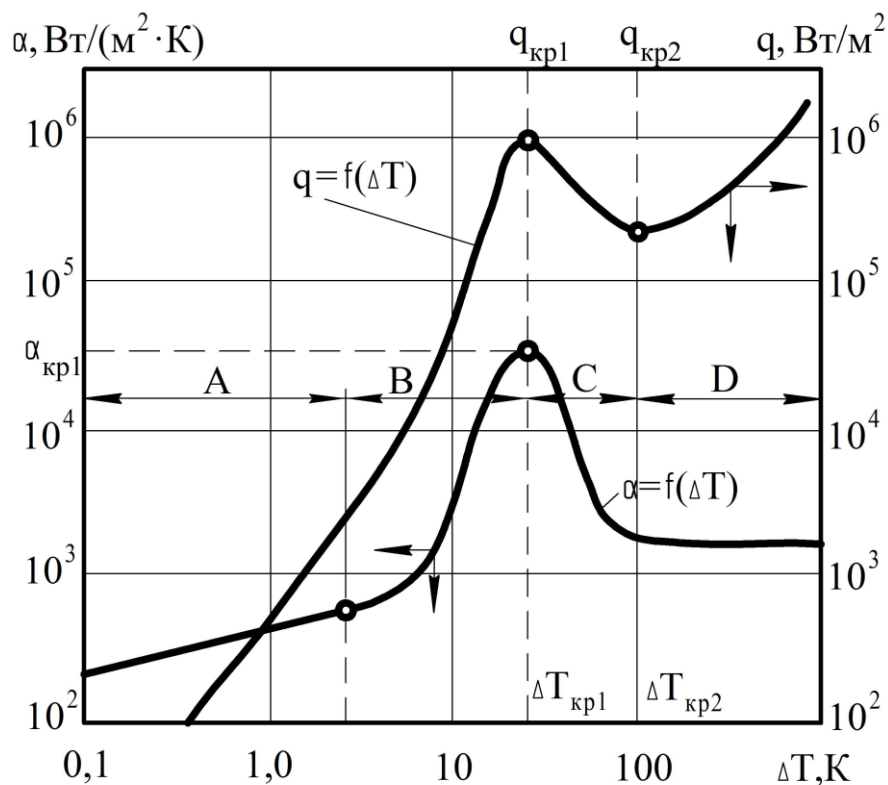


Рисунок 1.4 – Залежність густини теплового потоку q та коефіцієнта тепловіддачі α під час кипіння води від температурного напору ΔT і режимів кипіння:

A – природна конвекція; B – бульбашкове кипіння;

C – перехідна область; D – плівкове кипіння

Наприклад, для води при атмосферному тиску природна конвекція спостерігається до $\Delta T \cong 5^\circ\text{C}$, а густина теплового потоку досягає близько 6000 Вт/м^2 [6].

При збільшенні температурного градієнту збільшується кількість місць утворення пару, а також зростає частота відділення парових бульбашок від поверхні. Коли ці бульбашки призводять до інтенсивного перемішування рідини, відбувається розвинене бульбашкове кипіння. У цьому режимі коефіцієнт тепловіддачі і густина теплового потоку різко зростають (зона B).

В області переходу від бульбашкового кипіння до плівкового залежність між тепловим потоком і різницею температур досягає свого максимуму. Режим, в якому досягається максимальна густина теплового потоку, називається першим критичним режимом. Критичні значення температурного градієнту, коефіцієнта тепловіддачі і питомого теплового навантаження залежать від властивостей киплячої рідини, тиску, матеріалу і стану поверхні стінки. Наприклад, для води при атмосферному тиску

$$\Delta T_{кр1} = 25^\circ\text{C}, \alpha_{кр1} = 5,8 \cdot 10^4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}), q_{кр1} = 1,45 \cdot 10^6 \text{ Вт}/\text{м}^2 [6].$$

При певному рівні густини теплового потоку внаслідок наявності значної кількості центрів пароутворення і відтискувального впливу бульбашок на рідину, парові бульбашки починають об'єднуватися, утворюючи плівку, яка спочатку покриває окремі частини поверхні, а згодом повністю відокремлює рідину від поверхні нагрівання. Ця плівка постійно руйнується, і великі бульбашки відокремлюються від поверхні нагрівання. Після цього утворюється нова плівка. У таких умовах передача тепла від поверхні нагрівання до рідини відбувається через теплопровідність, конвекцію та випромінювання, а випаровування відбувається з поверхні цієї плівки. Ця область називається перехідною і характеризується різким зменшенням коефіцієнта тепловіддачі та густини теплового потоку (зона С).

У більшості випадків для обчислення коефіцієнта тепловіддачі $\alpha_{кин}$ під час розвиненого бульбашкового кипіння чистих рідин і розчинів у великих об'ємах пропонується використовувати критеріальні рівняння наступного виду [9]:

$$Nu_{кин} = 0,125 \cdot Re'^{0,65} \cdot Pr^{0,33} \text{ при } Re' \geq 0,01, \quad (1.5)$$

$$Nu_{кин} = 0,0625 \cdot Re'^{0,5} \cdot Pr^{0,33} \text{ при } Re' < 0,01, \quad (1.6)$$

де $Nu_{кин}$ – узагальнений критерій Нуссельта:

$$Nu_{кин} = \frac{\alpha_{кин} \cdot l'}{\lambda_p}; \quad (1.7)$$

Re' – модифікований критерій Рейнольдса:

$$Re' = \frac{w_n \cdot l' \cdot \rho_p}{\mu_p}; \quad (1.8)$$

Pr – критерій Прандтля для киплячої рідини:

$$Pr = \frac{c_p \cdot \mu_p}{\lambda_p}; \quad (1.9)$$

l' – модифікований лінійний розмір:

$$l' = \frac{c_p \cdot \rho_p \cdot \sigma_p \cdot T_{кип}}{(\rho_n \cdot r_{нап})^2}; \quad (1.10)$$

w_n – середня швидкість руху парової фази (швидкість кипіння):

$$w_n = \frac{q}{\rho_n \cdot r_{нап}}; \quad (1.11)$$

q – густина теплового потоку, Вт/м²;

$r_{нап}$ – питома теплота пароутворення, Дж/кг;

ρ_n – густина пари, кг/м³;

ρ_p – густина рідини, кг/м³;

μ_p – динамічна в'язкість рідини, Па·с;

c_p – питома теплоємність рідини, Дж/(кг·К);

λ_p – теплопровідність рідини, Вт/(м·К);

σ_p – поверхневий натяг рідини, Н/м;

$T_{кип}$ – температура кипіння, К.

Величина w за атмосферним тиском складає 0,078 м/с, а за іншими тисками розраховується за формулою

$$w = 0,078 \cdot (\rho_0 / \rho_n)^{1,1}, \quad (1.12)$$

де ρ_0 – густина пари за атмосферним тиском.

При наявності бульбашкового кипіння рідини, в межах цього режиму, можна визначити коефіцієнт тепловіддачі через питома теплове навантаження (або температурний напір) за допомогою такого рівняння [9]:

$$\alpha_{\text{кип}} = \left(0,075 + 0,75 \cdot \left(\frac{\rho_n}{\rho_p - \rho_n} \right)^{2/3} \right) \cdot \left(\frac{\lambda_p^2 \cdot \rho_p}{\mu_p \cdot \sigma_p \cdot T_{\text{кип}}} \right)^{1/3} \cdot q^{2/3} =$$

$$= \left(0,075 + 0,75 \cdot \left(\frac{\rho_n}{\rho_p - \rho_n} \right)^{2/3} \right)^3 \cdot \frac{\lambda_p^2 \cdot \rho_p \cdot \Delta T^2}{\mu_p \cdot \sigma_p \cdot T_{\text{кип}}}.$$
(1.13)

Варто зазначити, що для деяких рідин, коефіцієнт тепловіддачі в процесі розвиненого кипіння залежить лише від питомого теплового навантаження (або температурного напору) і тиску. З цією метою, для практичних розрахунків, можна користуватися емпіричними залежностями.

Для наближеного розрахунку коефіцієнта тепловіддачі під час бульбашкового кипіння рідини у великому об'ємі на зовнішній поверхні горизонтальних труб при помірних теплових навантаженнях (до $0,4 \cdot q_{\text{кр1}}$) можна використовувати наступну формулу [6]:

$$\alpha_{\text{кип}} = 2,72 \cdot \varphi \cdot p^{0,4} \cdot q^{0,7},$$
(1.14)

де φ – множник, що враховує теплофізичні властивості рідини.

Так як процес тепловіддачі під час кипіння рідини є надзвичайно складним і залежить від численних фізичних факторів, наведені формули не можуть охопити всі можливі умови теплообміну, які можуть виникнути для різних рідин. У спеціалізованій літературі [10] наведені емпіричні залежності між $\alpha_{\text{кип}}$, p і q для різних рідин, які киплять на різних поверхнях при різних умовах нагріву.

Подальший тепловий розрахунок кожухотрубного випарника з паровим простором в принципі подібний до теплового розрахунку кожухотрубного теплообмінника з нерухомими трубними решітками.

1.4 Новизна проектної розробки

Сучасні хіміко-технологічні процеси (ХТП) представляють собою складні технологічні системи, які відрізняються високими швидкостями протікання технологічних операцій і хімічних реакцій. Ці процеси включають в себе складні технологічні схеми, велику кількість різноманітних апаратів та специфічні умови ведення, такі як високі температури і тиски. Особливу увагу слід звернути на небезпеку пожежі та вибухонебезпеку, а також можливість викиду небезпечних речовин у навколишнє середовище.

Управління такими складними технологічними процесами за допомогою застарілих систем контролю та керування стає практично неможливим завданням. Для досягнення високих техніко-економічних показників і забезпечення якості продукції необхідно впроваджувати сучасні автоматизовані системи контролю та керування технологічними процесами (АСКТП).

Застосування АСКТП допомагає знизити витрати на сировину, оскільки система може точно дозувати реагенти та регулювати їх споживання відповідно до потреб процесу. Крім того, вона покращує використання енергоресурсів завдяки оптимізації роботи обладнання і зменшенню енерговитрат.

Застосування АСКТП також позитивно впливає на якість продукції, оскільки система забезпечує стабільність та точність виробничого процесу. Це дозволяє уникнути дефектів та відхилень в якості продукції, що, в свою чергу, підвищує конкурентоспроможність компанії на ринку.

Однією з ключових переваг впровадження АСКТП є зменшення ризику аварій та викиду небезпечних речовин у навколишнє середовище. Система постійно моніторить стан обладнання та процесу і може автоматично реагувати на будь-які небезпечні ситуації, що дозволяє забезпечити безпеку виробництва та навколишнього середовища.

У цій магістерській роботі запропоновано використовувати автоматизовану систему контролю та керування на основі мікропроцесорного керуючого обчислювального комплексу (КОК) МСКУ-М. Впровадження такої системи виробництва до-

зволяє скоротити витрати на виробництво завдяки зменшенню витрат на сировину та енергоресурси на одиницю продукції. Також це покращує якість виробленої продукції і спрощує роботу оперативного персоналу під час ведення технологічного процесу.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Опис технологічної схеми виробництва слабкої азотної кислоти контактним способом

На рис. 2.1 зображена технологічна схема роботи агрегату для одержання 60 %-ої азотної кислоти.

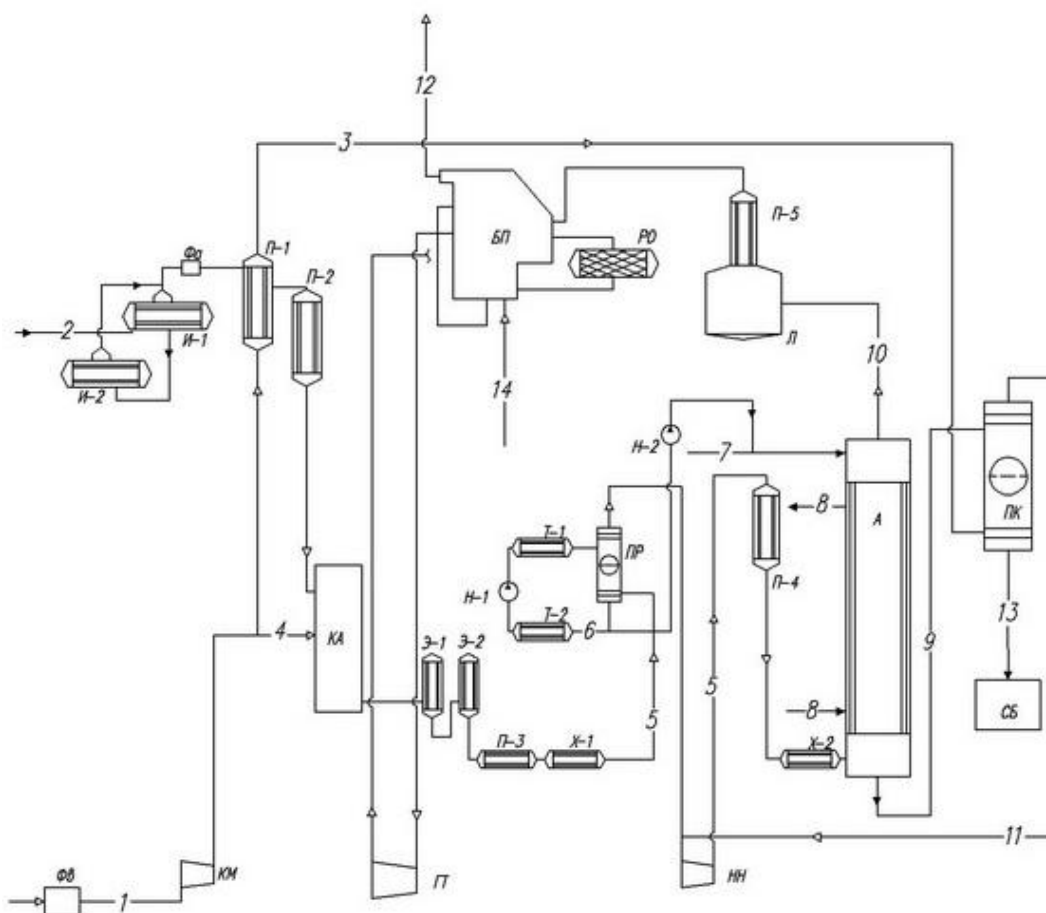


Рисунок 2.1 – Технологічна схема виробництва слабкої азотної кислоти контактним способом

Робочий процес у даній установці можна описати наступним чином. Початкове атмосферне повітря, після відокремлення від механічних забруднень завдяки фільтрам грубого і тонкого очищення, подається до апарата Фв за допомогою осьового повітряного компресора КМ. Після компресії повітря поділяється на два основних потоки: один з цих потоків направляється до контактного апарата для

окислення аміаку (КА), а інший потік пройшовши через підігрівач газоподібного аміаку П-1, продувну колону ПК змішується з нітрозними газами на лінії всмоктування нітрозного нагнітача НН.

Рідкий аміак, що використовується в процесі, подається до випарника И-1, де він перетворюється у газоподібний стан завдяки теплу, що надходить від циркулюючої води. Далі газоподібний аміак проходить через фільтр Фа, який відокремлює його від механічних домішок і парів масла. Після цього газ підігрівається в підігрівачі П-1, використовуючи стиснене повітря, а в холодний період року також додатково підігрівається в підігрівачі П-2 паром.

Далі гарячий газоподібний аміак із повітрям змішується у змішувачі, розташованому в верхній частині контактного апарата КА. Перед окисленням, аміачно-повітряна суміш проходить через фільтр, який також вбудований в контактний апарат і призначений для додаткової очистки.

Процес окислення аміаку (або конверсії) відбувається на каталізаторних сітках, які виготовлені з платиново-родієво-паладієвого сплаву. Така система забезпечує ефективне проведення реакції та утворення необхідних продуктів.

Після процесу окислення, гарячі нітрозні газы послідовно охолоджуються в котлі-утилізаторі, економайзерах Е-1 та Е-2, підігрівачі хімічно очищеної води П-3 та холодильнику-конденсаторі Х-1. У цей же час, в процесі охолодження, відбувається промивка нітрозних газів від аміаку та нітрит-нітратів амонію, які утворюються з аміаку та оксидів азоту в тракті до промивача.

Промивач зрошується азотною кислотою, яка циркулює за допомогою насосу Н-1 через теплообмінники Т-1 та Т-2. Після промивки, кислота насосом Н-2 подається на зрошення в абсорбційну колону А.

Охолоджений нітрозний газ потім надходить до нагнітача НН, де стискається, і далі послідовно охолоджується у підігрівачі живильної води П-4 та в холодильнику-конденсаторі Х-2, перед тим як надходити в абсорбційну колону А. Продукційна азотна кислота концентрацією 60% надходить в продувну колону ПК, де

під тиском повітря від неї відділяються розчинені оксиди азоту, і далі вона направляється у збірник продукційної кислоти СБ.

Вихлопні гази з абсорбційної колони А спрямовуються в пастку Л, обладнану підігрівачем П-5, де вони підігріваються для випаровування захоплених дрібних бризок. Після цього вони направляються до блоку підігріву вихлопних газів БП. Гази проходять через регенеративну секцію блоку, де вони підігріваються до температури близько 300°C, і потім виводяться в змішувач. Сюди ж подається газоподібний аміак, отриманий випаровуванням рідкого аміаку. Після цього, гази направляються в реактор каталітичного очищення РВ.

Процес каталітичного очищення відбувається у реакторі РВ, де підвищення температури газу не відбувається. Очищений вихлопний газ із реактора повертається в блок підігріву, де він нагрівається до 760°C, після чого направляється у газову турбіну.

Енергія, яка вивільняється під час розширення гарячих вихлопних газів, майже повністю компенсує витрати механічної енергії на стиснення повітря та нітрозних газів. Розширені вихлопні гази із турбіни надходять в підігрівач, охолоджуються, і потім викидаються в атмосферу через вихлопну трубу.

2.2 Опис об'єкту розробки

Апарат, що був спроектований (випарник з паровим простором типу У), можна побачити на зображенні у рис. 2.2. Розглянемо деталі та загальний вигляд цього проектованого апарату для отримання кращого розуміння його будови та функціоналу.

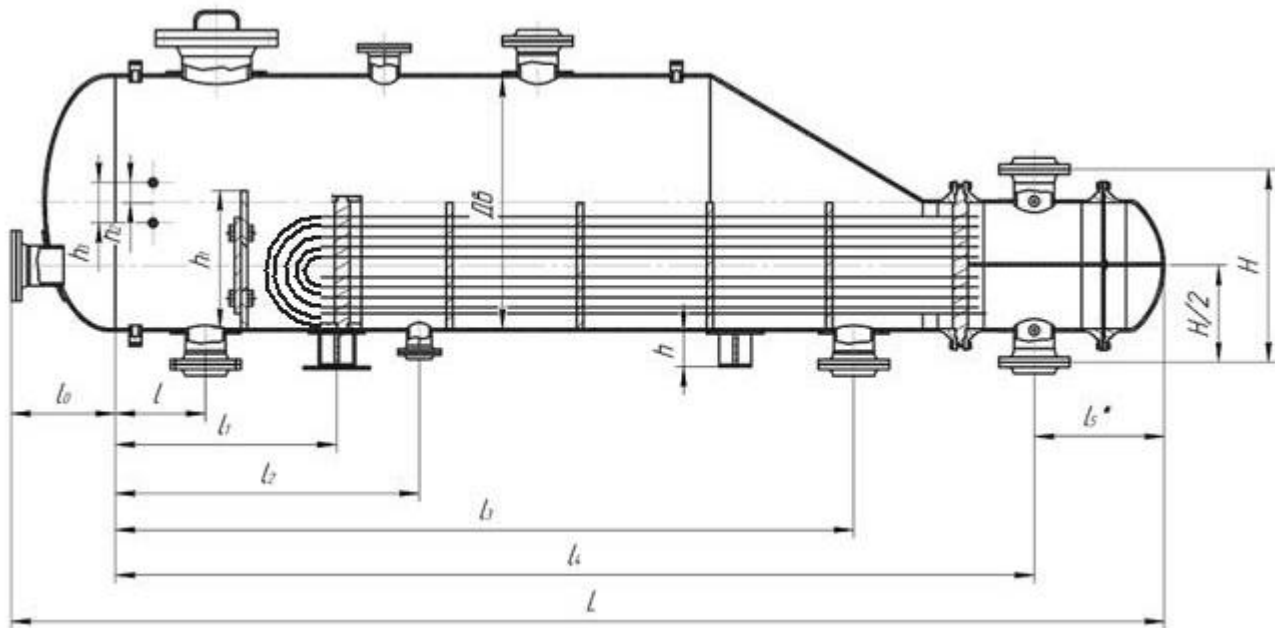


Рисунок 2.2 – Схема випарника з паровим простором типу У

Принцип функціонування цього випарника можна описати так. На початку процесу, через патрубок при температурі випаровування 30°C та абсолютному тиску $1,2\text{ МПа}$, аміак, який є холодним теплоносієм, подається в міжтрубний простір цього випарника. Одночасно в розподільну камеру випарника постачається гарячий теплоносієм, а саме технічна вода, яка має початкову температуру 55°C .

У цьому процесі активно відбувається випаровування аміаку завдяки теплопередачі через сталеву стінку теплообмінних труб. У результаті цього випаровування утворюються пари аміаку, які виходять з апарату через верхній штуцер.

Рівень рідини у випарнику підтримується за допомогою переливної планки. У випадку, якщо рідина перевищує заданий рівень, вона виводиться за межі апарату через зливний патрубок.

Цей випарник також оснащений люком та спеціальним монтажним патрубком, що дозволяє легко проводити монтажні та ремонтні роботи.

2.3 Технологічні розрахунки

Початковим етапом технологічного розрахунку є визначення основних теплофізичних властивостей теплоносіїв, а саме: щільності, динамічної в'язкості, теплоємності і теплопровідності [6–9]. Це дозволяє зрозуміти, як різні параметри впливають на тепловий обмін у системі.

Теплове навантаження випарника обчислюється на основі рівняння теплового балансу. У нашому конкретному випадку, теплоносій, яким є етанол змінює свій агрегатний стан, тому теплове навантаження випарника Q знаходиться за наступним рівнянням:

$$Q = Q_{исп} = G_x \cdot r_x, \quad (2.1)$$

де $Q_{исп}$ – кількість теплоти, яка необхідна для випаровування аміаку;
 r_x – питома теплота пароутворення аміаку, $r_x = 1350 \cdot 10^3$ Дж/кг;

$$Q = \frac{2100}{3600} \cdot 1350 \cdot 10^3 = 787500 \text{ (Вт)}.$$

Витрата гарячого теплоносія (води технічної):

$$G_2 = \frac{Q}{c_2 \cdot (t_{н2} - t_{к2})}, \quad (2.2)$$

де c_2 – теплоємність води, $c_2 = 4,187 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К);
 $t_{к2}$ – кінцева температура води.

Для наближених та навчальних розрахунків зазвичай припускають, що температура кипіння робочого тіла має бути на певну різницю нижче температури охолоджуваного теплоносія. Ця різниця зазвичай коливається в межах від 5 до 15 градусів Цельсія [6]. Таким чином, відповідно до рекомендацій [6] приймемо $t_{к2} = 40^\circ\text{C}$.

$$G_z = \frac{787,5}{4,187 \cdot (55 - 40)} = 12,5 \text{ (кг/с)}.$$

Для знаходження середньої різниці температур будемо температурну схему процесу випаровування аміаку (рис. 2.3).

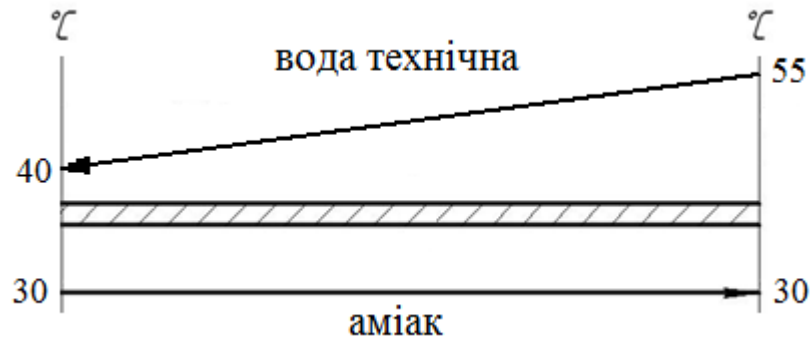


Рисунок 2.3 – Температурна схема процесу випаровування рідкого аміаку

Середню різницю температур обчислюємо за рівнянням:

$$\Delta t_{CP} = \frac{\Delta t_B - \Delta t_M}{\ln \frac{\Delta t_B}{\Delta t_M}}, \quad (2.3)$$

де Δt_B і Δt_M – різниці температур теплоносіїв на кінцях теплообмінника; більша різниця температур становить $\Delta t_B = 55 - 30 = 25^\circ\text{C}$; менша різниця температур складає $\Delta t_M = 40 - 30 = 10^\circ\text{C}$.

$$\Delta t_{CP} = \frac{25 - 10}{\ln \frac{25}{10}} = 16,4^\circ\text{C},$$

За даними [6], орієнтовне значення коефіцієнта теплопередачі від води до киплячої рідини (випарники) варіюється у діапазоні від 300 до 900 Вт/(м²·К). Для обчислень ми будемо використовувати середнє значення цього коефіцієнта, $K = 600 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$.

Маючи значення коефіцієнта теплопередачі, ми можемо розрахувати очікувану площу поверхні для теплопередачі:

$$F = \frac{787500}{600 \cdot 16,4} = 80 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Обираємо стандартизований теплообмінник з наступними параметрами:

- поверхня теплообміну $F = 82 \text{ м}^2$;
- внутрішній діаметр кожуха $D = 800 \text{ мм}$;
- довжина труб $L = 6000 \text{ мм}$;
- сортамент труб $\text{Ø}25 \times 2 \text{ мм}$;
- кількість трубних пучків 1;
- кількість труб у трубному пучку 134;
- площа прохідного перетину одного ходу по трубах $s_{mp} = 23 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$.

Фактична швидкість руху водяної пари у трубах:

$$w_2 = \frac{G_2}{n \cdot \rho_2 \cdot s_{mp}}, \quad (2.4)$$

де ρ_2 – густина води; при усередненій температурі $\rho_2 = 989 \text{ кг/м}^3$ [6];
 n – число ходів теплоносія по трубному простору.

$$w_2 = \frac{12,5}{2 \cdot 989 \cdot 23 \cdot 10^{-2}} = 0,27 \text{ (м/с)}.$$

Беручи до уваги, що для води динамічний коефіцієнт в'язкості дорівнює $\mu_2 = 5,5 \cdot 10^{-4} \text{ Па} \cdot \text{с}$, коефіцієнт теплопровідності $\lambda_2 = 0,65 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ і коефіцієнт об'ємного розширення теплоносія $\beta_2 = 4,49 \cdot 10^{-4} \text{ 1/К}$ визначаємо такі критерії:

– критерій Рейнольдса:

$$\text{Re} = \frac{0,27 \cdot 0,021 \cdot 989}{5,5 \cdot 10^{-4}} = 10375.$$

– критерій Прандтля:

$$Pr = \frac{5,5 \cdot 10^{-4} \cdot 4,187 \cdot 10^3}{0,65} = 3,54.$$

За числовим значенням критерію Рейнольдса можна зробити висновок, що режим руху водяної пари в трубах є турбулентним. Отже, для визначення критерію Нуссельта ми будемо використовувати таке рівняння:

$$Nu_2 = 0,023 \cdot 10375^{0,8} \cdot 3,54^{0,4} = 62,2.$$

Коефіцієнт тепловіддачі α_2 знаходимо з рівняння (5):

$$\alpha_2 = \frac{62,2 \cdot 0,65}{0,021} = 1927 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Коефіцієнт тепловіддачі зі сторони аміаку α_x обчислюємо, попередньо розраховавши значення безрозмірної функції b :

$$b = 0,75 + 7,5 \cdot \left(\frac{9}{595 - 9} \right)^{2/3} = 1,2.$$

Для аміаку: $\nu_x = 0,223 \text{ м}^2/\text{с}$, $\lambda_x = 0,455 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, $\sigma_x = 0,0234 \text{ Н}/\text{м}$.

$$\alpha = 1,2 \cdot \frac{0,455^2 \cdot 30^2}{0,223 \cdot 0,0234 \cdot 30} = 1428 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Далі розраховуємо реальний коефіцієнт теплопередачі:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{1927} + \frac{0,002}{17,5} + \frac{1}{1428}} = 750 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

2.4 Конструктивні розрахунки апарату

Розрахункова поверхня випарника становитиме:

$$F_p = \frac{787500}{750 \cdot 16,4} = 64 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Запас поверхні:

$$\Delta = \frac{F - F_p}{F} \cdot 100 \% ; \quad (2.5)$$

$$\Delta = \frac{82 - 64}{82} \cdot 100 \% = 21,9 \% .$$

Таким чином, обраний теплообмінний апарат забезпечує достатній рівень запасу поверхні.

Остаточню обираємо випарник типу У з наступними параметрами:

- поверхня теплообміну $F = 82 \text{ м}^2$;
- внутрішній діаметр кожуха $D = 800 \text{ мм}$;
- довжина труб $L = 6000 \text{ мм}$;
- сортамент труб $\text{Ø}25 \times 2 \text{ мм}$;
- кількість трубних пучків 1;
- кількість труб у трубному пучку 134;
- площа прохідного перетину одного ходу по трубах $s_{mp} = 23 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$.

Діаметри штуцерів випарника для підведення-відведення теплоносіїв розраховуємо за формулою:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot w}} = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \rho \cdot w}} , \quad (2.6)$$

де V і G – об’ємна і масова витрати рідини/пари відповідно, м³/с і кг/с;
 ρ – густина потоку середовища, кг/м³;
 w – швидкість витікання середовища, м/с.

Рекомендовані швидкості руху теплоносіїв [6]:

- для рідини 0,1–0,5 м/с при самопливі і 0,5–2,5 м/с в напірних трубопроводах;
- для пари або газу 5–25 м/с.

Діаметр патрубку для входу рідкого аміаку в апарат:

$$d_{x.вх} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2100 / 3600}{3,14 \cdot 595 \cdot 0,5}} = 0,05 \text{ (м)}.$$

Діаметр патрубку для виходу парів аміаку:

$$d_{x.вих} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2100 / 3600}{3,14 \cdot 9 \cdot 5}} = 0,129 \text{ (м)}.$$

Діаметр патрубку для входу і виходу води:

$$d_z = \sqrt{\frac{4 \cdot 12,5}{3,14 \cdot 989 \cdot 0,8}} = 0,142 \text{ (м)}.$$

За отриманими значеннями прийmemo стандартні патрубки:

- для входу рідкого аміаку $D_y = 50$ мм;
- для виходу парів аміаку $D_y = 150$ мм;
- для входу води технічної $D_y = 150$ мм;
- для виходу води технічної $D_y = 150$ мм.

2.5 Визначення гідравлічного опору апарату

Розрахунок гідравлічного опору випарника дозволяє визначити кількість енергії, яка споживається на переміщення теплоносіїв через цей апарат. Важливо зазначити, що гідравлічний опір міжтрубного простору може бути ігнорованим, оскільки при відносно низьких швидкостях теплоносія його значення є дуже малим [11].

Для проведення гідравлічного розрахунку ми дотримуємося методики, описаної в [11]. Повний напір, необхідний для забезпечення руху рідини або газу через теплообмінник, можна визначити за допомогою наступної формули:

$$\Delta P = \Sigma \Delta P_{TP} + \Sigma \Delta P_M + \Sigma \Delta P_U + \Sigma \Delta P_G, \quad (2.7)$$

де $\Sigma \Delta P_{TP}$ – сума гідравлічних втрат на тертя, Па;

$\Sigma \Delta P_M$ – сума втрат напору в місцевих опорах, Па;

$\Sigma \Delta P_U$ – сума втрат напору, обумовлених прискоренням потоку, Па;

$\Sigma \Delta P_G$ – перепад тиску для подолання стовпа рідини, Па.

Гідравлічні втрати на тертя в каналах при поздовжньому омиванні пучка труб теплообмінного апарату розраховуємо за формулою:

$$\Delta P_{TP} = \lambda_{TP} \cdot \frac{L}{d_E} \cdot \frac{w_z^2 \cdot \rho_z}{2}, \quad (2.8)$$

де λ_{TP} – коефіцієнт опору тертя.

$$\lambda_{TP} = 0,11 \cdot \left(\frac{\Delta}{d_E} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25}, \quad (2.9)$$

де Δ – абсолютна шорсткість поверхні труб, мм.

Для сталевих нових труб $\Delta = 0,06-0,1$ мм, для сталевих труб, що експлуатувалися та мають незначну корозією $\Delta = 0,1-0,2$ мм.

$$\lambda_{TP} = 0,11 \cdot \left(\frac{0,1}{0,021} + \frac{68}{10375} \right)^{0,25} = 0,1626;$$

$$\Delta P_{TP} = 0,1626 \cdot \frac{6}{0,021} \cdot \frac{0,27^2 \cdot 989}{2} = 1675 \text{ (Па)}.$$

Гідравлічні втрати тиску в місцевих опорах обчислюємо за формулою:

$$\Delta P_M = \xi \cdot \frac{w_2^2 \cdot \rho_2}{2}, \quad (2.10)$$

де ξ – коефіцієнт місцевого опору. Його знаходять як суму опорів кожного елемента випарника: $\xi = 2 \cdot \xi_1 + \xi_2 + \xi_3 + \xi_4$ (вхідна і вихідна камери $\xi_1 = 1,5$, вхід у труби $\xi_2 = 0,5$ і вихід із них $\xi_3 = 1$, поворот на 180° між ходами $\xi_4 = 1,4$ [11]).

$$\xi = 2 \cdot 1,5 + 0,5 + 1 + 1,4 = 5,9;$$

$$\Delta P_M = 5,9 \cdot \frac{0,27^2 \cdot 989}{2} = 213 \text{ (Па)}.$$

Оскільки, втрати тиску ΔP_y в крапельних рідинах дуже малі і практично не враховуються ($\Delta P_y = 0$), ми можемо їх ігнорувати в розрахунках.

Також слід відзначити, що перепад тиску, необхідний для подолання гідростатичного стовпа рідини, також дорівнює нулю ($\Delta P_\Gamma = 0$), оскільки випарник ізолюваний від навколишнього середовища та не має з ним прямого контакту.

Отже, повний напір, який необхідний для забезпечення руху рідини або іншого середовища через цей апарат, можна обчислити за наступною формулою:

$$\Delta P = 1675 + 213 = 1888 \text{ (Па)}.$$

2.6 Розрахунок і вибір допоміжного обладнання

Розрахунок і вибір збірника продукційної кислоти (поз. СБ на рис. 2.1).

Ємність для зберігання продукційної кислоти визначаємо, виходячи з 3–5 годинного резерву робочого часу та враховуючи коефіцієнт заповнення $\psi = 0,8 \dots 0,85$. Прийmemo $\psi = 0,82$.

Розрахунковий об'єм ємності:

$$V_{EP} = \frac{G \cdot \tau}{\psi \cdot \rho}, \quad (2.11)$$

де G – загальна витрата суміші, кг/год.;

τ – резерв робочого часу, $\tau = 3$ год.;

ρ – густина вихідної суміші, $\rho = 1200$ кг/м³.

$$V_{EP} = \frac{60000 \cdot 3}{0,82 \cdot 1200} = 183 \text{ (м}^3\text{)}.$$

Для зберігання продукційної кислоти обираємо 2 ємності. Задаємося стандартизованим діаметром ємності $D = 4,0$ м, тоді її висота становитиме:

$$H = \frac{V_{EP}}{0,785 \cdot D^2}; \quad (2.12)$$

$$H = \frac{183}{2 \cdot 0,785 \cdot 4,0^2} = 7,3 \text{ (м)}.$$

Розрахунок і вибір насоса для подачі абсорбента в колону (поз. Н-2 на рис. 2.1). Для всмоктуючого і нагнітального трубопроводів приймаємо однакову швидкість плинину рідини, що становить $w = 2$ м/с.

Діаметр трубопроводу обчислюємо за рівнянням:

$$d = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot w}}, \quad (2.13)$$

де V – об'ємна витрата вихідної суміші, м³/с.

$$d = \sqrt{\frac{0,013}{0,785 \cdot 2}} = 0,090 \text{ (м)}.$$

Розраховуємо критерій Рейнольдса для рідини в трубопроводі:

$$\text{Re} = \frac{w \cdot d \cdot \rho_p}{\mu}; \quad (2.14)$$

$$\text{Re} = \frac{2 \cdot 0,090 \cdot 1200}{0,95 \cdot 10^{-3}} = 227368,$$

тобто режим турбулентний. Абсолютну шорсткість трубопроводу приймемо $\Delta = 2 \cdot 10^{-4}$ м. Тоді

$$e = \frac{\Delta}{d} = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{0,090} = 0,0022.$$

Далі отримуємо:

$$\frac{1}{e} = 455; \quad 560 \cdot \frac{1}{e} = 254800; \quad 10 \cdot \frac{1}{e} = 4550;$$

Для зони, що є автотурбулентною по відношенню до Re :

$$\lambda = 0,11 \cdot e^{0,25}; \quad (2.15)$$

$$\lambda = 0,11 \cdot 0,0022^{0,25} = 0,024.$$

Далі знаходимо суму коефіцієнтів місцевих опорів окремо для всмоктуючої і нагнітальної ліній.

Для всмоктуючої лінії:

1) вхід у трубу (приймаємо з гострими краями) $\xi_1 = 0,5$;

2) 2 коліна з кутом 90° $\xi_2 = 2 \cdot 1,1 = 2,2$.

$$\Sigma \xi = \xi_1 + \xi_2;$$

$$\Sigma \xi = 0,5 + 2,2 = 2,7.$$

Для нагнітальної лінії:

1) вентиля прямоочні, 2 шт. $\xi_1 = 2 \cdot 0,65 = 1,3$;

2) 3 коліна з кутом 90° $\xi_2 = 3 \cdot 1,1 = 3,3$;

3) вихід із труби $\xi_3 = 1$.

$$\Sigma \xi = \xi_1 + \xi_2 + \xi_3;$$

$$\Sigma \xi = 1,3 + 3,3 + 1 = 5,6.$$

Втрачений напір у всмоктуючій лінії визначаємо за такою формулою:

$$h_{П.ВС.} = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d_E} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g}, \quad (2.16)$$

де l, d_E – відповідно довжина і еквівалентний діаметр трубопроводу.

$$h_{П.ВС.} = \left(0,024 \cdot \frac{8}{0,090} + 2,7 \right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 0,99 \text{ (м)}.$$

Втрачений напір в нагнітальній лінії визначаємо за формулою (2.16):

$$h_{П.НАГ.} = \left(0,024 \cdot \frac{12}{0,090} + 5,6 \right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 1,79 \text{ (м)}.$$

Загальні втрати напору:

$$h_{П.} = h_{П.ВС.} + h_{П.НАГ.}; \quad (2.17)$$

$$h_{II} = 0,99 + 1,79 = 2,78 \text{ м.}$$

Визначаємо напір насоса за рівнянням:

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho_p \cdot g} + H_G + h_{II}, \quad (2.18)$$

де $(P_2 - P_1)$ – різниця тисків в апараті і в ємності, із якої подається рідина;

H_G – геометрична висота підйому рідини.

$$H = \frac{0,3 \cdot 10^6}{1200 \cdot 9,81} + 12,3 + 2,78 = 40 \text{ (м)}.$$

Корисну потужність насоса знаходимо за рівнянням:

$$N_{II} = \rho_p \cdot g \cdot Q \cdot H, \quad (2.19)$$

де Q – подача (витрата), $Q = 0,013 \text{ м}^3/\text{с}$;

H – напір насоса.

$$N_{II} = 1200 \cdot 9,81 \cdot 0,013 \cdot 40 = 6121 \text{ (Вт)}.$$

Потужність, яку повинен розвивати електродвигун насоса на вихідному валу при сталому режимі роботи:

$$N = \frac{N_{II}}{\eta_{пер} \cdot \eta_n}, \quad (2.20)$$

де $\eta_n, \eta_{пер}$ – коефіцієнти корисної дії відповідно насоса і передачі від електродвигуна до насоса. Прийmemo $\eta_n = 0,6$ і $\eta_{пер} = 1$.

Отримаємо:

$$N = \frac{6121}{1 \cdot 0,6} = 10202 \text{ (Вт)}.$$

Обираємо відцентровий насос марки ЦНС 65-80 з наступними характеристиками:

- об'ємна подача насоса 65 м³/год.;
- напір насоса 80 м;
- потужність, споживана насосом 17,5 кВт;
- частота обертання 3000 об/хв.

3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Вибір конструкційних матеріалів [12–14]

При виборі конструкційного матеріалу для проєктованого елемента, вузла або апарата, важливо враховувати різні умови експлуатації, такі як температура, тиск, навантаження, і характер агресивного впливу середовища. Це дозволяє забезпечити не лише оптимальну ефективність виготовлення виробу, але й забезпечити його надійність та довгий термін служби [12].

Крім цього, при виборі матеріалу також важливо враховувати наступні фактори [13]:

- механічні властивості матеріалу, такі як межа міцності, відносне подовження, твердість та інші.

- технологічність виготовлення, зокрема, важлива є зварюваність матеріалу.

- хімічна стійкість матеріалу проти корозії та інших роз'єднувальних процесів.

- теплопровідність матеріалу, що може впливати на процеси теплообміну та розподіл тепла.

Оскільки устаткування азотнокислотного виробництва піддається інтенсивному корозійному впливу, вибір матеріалів для виготовлення апаратів і деталей повинен бути особливо обдуманим та обгрунтованим. В даному виробництві широко і успішно використовуються нержавіючі сталі, оскільки вони відзначаються високою корозійною стійкістю. Таким чином, для тих частин апарату, які мають прямий контакт з агресивним середовищем, найчастіше обирається сталь 12X18H10T. Цей вибір обумовлений універсальністю властивостей цього матеріалу, які поєднують жаростійкість та високу корозійну стійкість.

Для тих частин випарника, які безпосередньо не піддаються впливу кислоти, враховуючи їхнє призначення, ми обираємо наступні матеріали:

- для болтів, гайок і шайб використовуємо Сталь 35. Цей матеріал добре відомий своєю міцністю та довговічністю, і він ідеально підходить для з'єднання різних частин апарату, де не потрібна особлива стійкість до корозії.

- для опори апарату використовуємо сталь Ст. 3сп. Ця сталь також відзначається високою міцністю та здатністю витримувати навантаження, що діють на опори випарника.

- для обтюрації використовуємо пароніт ПОН-1. Це високоякісний листовий прокладковий матеріал, який виготовляється пресуванням азбокаучукової маси. Він складається із азбесту, каучуку та порошкових інгредієнтів і відзначається надійною герметичністю та стійкістю до впливу різних факторів.

Вибір цих матеріалів дозволяє забезпечити надійність та ефективну роботу випарника, зменшити витрати на обслуговування та збільшити термін його служби.

Таблиця 3.1 – Основні фізико-механічні властивості сталі 12Х18Н10Т

Показник	Значення
Модуль пружності E , МПа	200000
Модуль зсуву G , МПа	77000
Щільність ρ , кг/м ³	7850
Межа міцності σ_B , МПа	не менше 360
Межа текучості σ_T , МПа	не менше 180
Відносне звуження ψ , %	56
Відносне подовження δ , %	25
Твердість по Брінеллю, НВ	115
Зварюваність	без обмежень

Таблиця 3.2 – Основні фізико-механічні властивості сталі 35

Показник	Значення
Модуль пружності E , МПа	200000
Модуль зсуву G , МПа	74000
Щільність ρ , кг/м ³	7850
Межа міцності σ_B , МПа	не менше 420
Межа текучості σ_T , МПа	не менше 250
Відносне звуження ψ , %	40
Відносне подовження δ , %	16
Твердість по Брінеллю, НВ	156
Зварюваність	без обмежень, окрім хіміко-термічно оброблених деталей

Висока корозійна активність азотної кислоти та її похідних відносно чистих металів, сталей і сплавів обов'язково передбачає використання для обладнання азотнокислотних виробництв спеціальних полімерних матеріалів. Такі матеріали мають відмінну хімічну стійкість до агресивного впливу кислот та їхніх похідних, що забезпечує довговічність та надійність апаратів та споруд у цьому процесі.

Окрім полімерних матеріалів, для забезпечення високої стійкості до кислот в азотнокислотному виробництві застосовують кислототривкі зв'язувальні матеріали на основі фенолоформальдегідних смол і рідкого скла. Ці матеріали володіють властивостями, що дозволяють їм зберігати цілісність та структуру при контакті з агресивними середовищами, такими як азотні кислоти та їхні похідні.

Також виробництво азотної кислоти вимагає використання матеріалів на основі каучуків та інших композитних матеріалів, які можуть працювати в умовах високої корозійної активності. Застосування таких матеріалів гарантує збереження надійності та безпеки виробничого процесу, а також продовження терміну служби устаткування.

Таким чином, вибір і застосування відповідних матеріалів є важливим аспектом в азотнокислотному виробництві, оскільки це забезпечує безперебійну та ефективну роботу обладнання і допомагає зберегти навколишнє середовище від негативного впливу корозії [14].

3.2 Розрахунки на міцність, стійкість та герметичність

Для виконання розрахунків ми використовуємо методику, яка була детально описана в посиланні [15]. При цьому ми приймаємо робочий тиск в міжтрубному просторі на рівні 1,2 МПа.

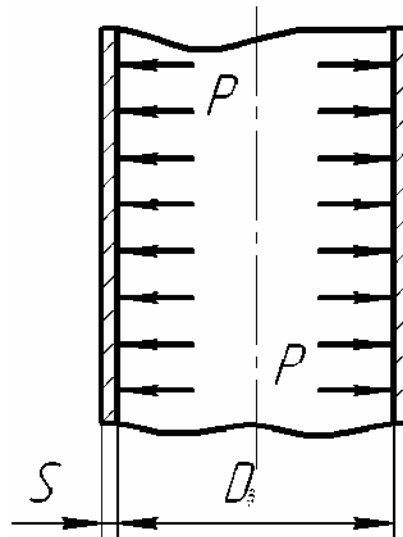


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема циліндричної обичайки

Визначаємо величину нормативного допустимого напруження для сталі 12Х18Н10Т при розрахунковій температурі: $\sigma^* = 202$ МПа.

Допустиме напруження:

$$[\sigma] = \sigma^* \cdot \eta, \quad (3.1)$$

де $\eta = 1$ – поправковий коефіцієнт для листового прокату.

$$[\sigma] = 202 \cdot 1 = 202 \text{ (МПа)}.$$

Допустиме напруження при гідравлічних випробуваннях:

$$[\sigma]_{II} = \frac{\sigma_T^{20}}{1,1}, \quad (3.2)$$

де $\sigma_T^{20} = 280 \text{ МПа}$ – межа плинності сталі 12Х18Н10Т при температурі 20°C.

$$[\sigma]_{II} = \frac{280}{1,1} = 254,5 \text{ (МПа)}.$$

Далі знаходимо розрахунковий тиск:

$$P_p = P + P_r, \quad (3.3)$$

де $P = 1,2 \text{ МПа}$ – робочий тиск;

P_r – гідростатичний тиск середовища.

Гідростатичний тиск середовища:

$$P_r = g \cdot \rho_p \cdot H_p; \quad (3.4)$$

$$P_r = 9,81 \cdot 595 \cdot 0,518 = 0,003 \text{ (МПа)};$$

$$P_p = 1,2 \text{ (МПа)}.$$

Так як розрахунковий тиск більше 0,5 МПа, то пробний тиск при гідравлічних випробуваннях знаходимо за рівнянням:

$$P_{II} = \max \left\{ \frac{1,25 \cdot P_p \cdot [\sigma]_{20}}{[\sigma]}, 0,5 \right\}, \quad (3.5)$$

де $[\sigma]_{20} = \sigma_{20}^* = 196 \text{ МПа}$ – допустиме напруження сталі 12Х18Н10Т при 20°C.

$$P_H = \max \left\{ \frac{1,25 \cdot 1,2 \cdot 196}{202} = 1,46 \text{ МПа} \right\} = 1,46 \text{ (МПа)}.$$

Розрахункова товщина циліндричної обичайки:

$$S_P^H = \max \left\{ \frac{P_P \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - P_P}, \frac{P_H \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_H - P_H} \right\}; \quad (3.6)$$

де $\varphi = 1$ – коефіцієнт міцності зварних швів із двостороннім суцільним проваром, виконаних автоматичним або напівавтоматичним зварюванням.

$$S_P^H = \max \left\{ \frac{1,2 \cdot 800}{2 \cdot 1 \cdot 202 - 1,2} = 2,38, \frac{1,46 \cdot 800}{2 \cdot 1 \cdot 254,5 - 1,46} = 2,3 \right\} = 2,38 \text{ (мм)}.$$

Виконавча товщина циліндричної обичайки:

$$S_H \geq S_P^H + c, \quad (3.7)$$

де c – прибавка до розрахункових товщин конструктивних елементів:

$$c = c_1 + c_2 + c_3, \quad (3.8)$$

c_1 – прибавка для компенсації корозії та ерозії;

c_2 – прибавка для компенсації мінусового допуску;

c_3 – технологічна прибавка.

Прийmemo, що $c_2 = c_3 = 0$. Прибавку для компенсації корозії та ерозії знаходимо за рівнянням:

$$c_1 = P \cdot \tau, \quad (3.9)$$

де $\Pi = 0,1$ мм/рік – проникність матеріалу;

$\tau = 10$ років – термін роботи апарата.

$$c = c_1 = 0,1 \cdot 10 = 1,0 \text{ мм};$$

$$S_{II} = 2,38 + 1,0 = 3,38 \text{ мм.}$$

Прийемо із запасом міцності $S_{II} = 5$ мм.

Розрахункова товщина еліптичного днища (рис. 3.2):

$$S_P^E = \max \left\{ \frac{P_P \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot [\sigma] - 0,5 \cdot P_P}, \frac{P_{II} \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot [\sigma]_{II} - 0,5 \cdot P_{II}} \right\}; \quad (3.10)$$

$$S_P^E = \max \left\{ \frac{1,2 \cdot 800}{2 \cdot 1 \cdot 202 - 0,5 \cdot 1,2} = 2,38, \frac{1,46 \cdot 800}{2 \cdot 1 \cdot 254,5 - 0,5 \cdot 1,46} = 2,3 \right\} = 2,38 \text{ (мм).}$$

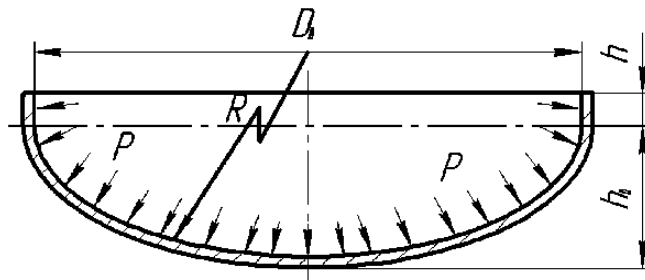


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема еліптичного днища

Виконавча товщина еліптичного днища:

$$S_E \geq S_P^E + c; \quad (3.11)$$

$$S_E = 2,38 + 1,0 = 3,38 \text{ мм.}$$

Так само прийемо $S_E = 5$ мм.

Розрахунок опори апарата (рис. 3.3).

Визначаємо масу обичайки кожуа:

$$m_k = \left[\frac{\pi \cdot (D + 2 \cdot S_{II})^2}{4} - \frac{\pi \cdot D^2}{4} \right] \cdot H \cdot \rho, \quad (3.12)$$

де $\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$ – щільність сталі.

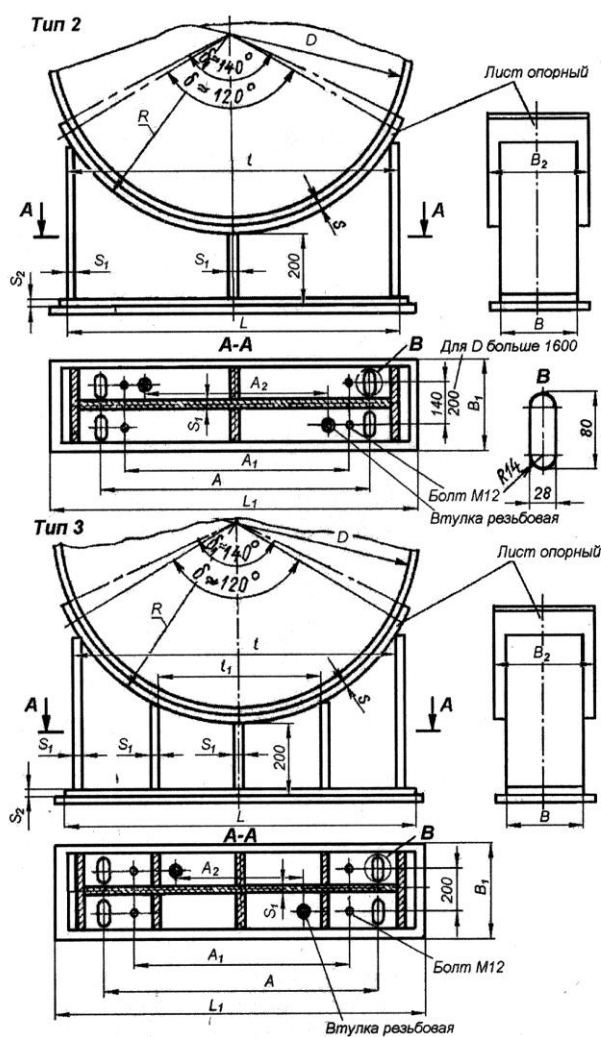


Рисунок 3.3 – Конструктивна схема стандартної сідлової опори

$$m_k = \left[\frac{3,14 \cdot (0,8 + 2 \cdot 0,005)^2}{4} - \frac{3,14 \cdot 0,8^2}{4} \right] \cdot 6 \cdot 7800 = 590 \text{ (кг)}.$$

Маса еліптичного днища і кришки відповідно (згідно [15]):

$$m_E = 1,24 \cdot D^2 \cdot S_E \cdot \rho; \quad (3.13)$$

$$m_{E\partial H} = 1,24 \cdot 0,8^2 \cdot 0,005 \cdot 7800 = 31 \text{ (кг)};$$

$$m_{Eкр} = 1,24 \cdot 0,5^2 \cdot 0,005 \cdot 7800 = 12 \text{ (кг)}.$$

Маса труб:

$$m_{mp} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_n^2 - d_{вн}^2) \cdot H \cdot n \cdot \rho; \quad (3.14)$$

$$m_{mp} = \frac{3,14}{4} \cdot (0,025^2 - 0,021^2) \cdot 6 \cdot 134 \cdot 7800 = 905 \text{ (кг)}.$$

Маса фланця з решіткою:

$$m_\phi = \frac{\pi \cdot D_\phi^2}{4} \cdot h_\phi \cdot \rho, \quad (3.15)$$

де D_ϕ – зовнішній діаметр фланця, м;

h_ϕ – висота фланця, м.

$$m_\phi = \frac{3,14 \cdot 0,51^2}{4} \cdot 0,06 \cdot 7800 = 96 \text{ (кг)}.$$

Об'єм міжтрубного простору:

$$V_{mtp} = f_{mtp} \cdot H; \quad (3.16)$$

$$V_{mtp} = 0,2 \cdot 6 = 1,2 \text{ (м}^3\text{)}.$$

При коефіцієнті заповнення $\varphi = 0,65$ маса аміаку в апараті становитиме:

$$m_x = V_{mtp} \cdot \rho_x \cdot \varphi; \quad (3.17)$$

$$m_x = 1,2 \cdot 595 \cdot 0,65 = 464 \text{ (кг)}.$$

Сила тяжіння апарату в робочому стані:

$$G = g \cdot (m_k + m_{\text{Едн}} + m_{\text{Екр}} + m_{\text{мп}} + m_{\text{ф}} + m_x); \quad (3.18)$$

$$G = 9,81 \cdot (590 + 31 + 12 + 905 + 96 + 464) = 20581 \text{ (Н)}.$$

Прийmemo кількість опор $n = 2$ шт.

Навантаження на одну опору становитиме:

$$Q = \frac{G}{n}; \quad (3.19)$$

$$Q = \frac{20581}{2} = 10290,5 \text{ (Н)}.$$

Отже, остаточно прийmemo стандартну сідлову опору 400-514-2-II, конструктивні розміри якої (умовні позначення див. рис. 3.3): $D = 800$ мм; $R = 514$ мм; $S_1 = 8$ мм; $S_2 = 14$ мм; $L = 800$; $A = 650$ мм; $A_1 = 550$ мм; $A_2 = 400$ мм; $l = 980$ мм; $B = 250$ мм; $L_1 = 1020$ мм; втулка для опори M48; $S = 6$ мм; $B_2 = 360$ мм.

4 БУДІВЕЛЬНО-МОНТАЖНА ЧАСТИНА

4.1 Обґрунтування компоновання основного та допоміжного обладнання [16]

Під терміном «компоновання виробництва» ми розуміємо планування та розташування технологічного обладнання та будівельних споруд з метою забезпечення ефективного проведення технологічних процесів, забезпечення безпеки під час експлуатації обладнання, а також забезпечення оптимальних умов для монтажу і обслуговування обладнання при відповідних обсягах будівництва. В процесі індустріалізації та мінімізації термінів будівництва об'єкта, компоновання промислових споруд слід проводити, використовуючи максимальну стандартизацію будівельних елементів і застосовуючи передові типові деталі та конструкції.

За своїм функціональним призначенням, промислові будівлі поділяються на кілька категорій:

- Виробничі приміщення, які включають в себе цехи, де виготовляються готові продукти або напівфабрикати.
- Підсобно-виробничі приміщення, такі як експериментальні, інструментальні і ремонтні цехи.
- Енергетичні споруди, що включають котельні, теплоелектроцентралі, компресорні станції та інші енергетичні підприємства.
- Складські та транспортні будівлі для зберігання та транспортування продукції.
- Санітарно-технічні споруди, включаючи насосні станції та очисні споруди.
- Допоміжні приміщення, такі як будівлі для управління заводом, конструкторські бюро, медичні пункти і приміщення для навчальних цілей.

У контексті вогнестійкості будівель і споруд існує п'ять рівнів, які визначаються на основі двох ключових критеріїв:

1. Група займистості будівельних матеріалів та конструкцій: всі будівельні матеріали і конструкції поділяються на три групи: негорючі, вогнестійкі і го-

рючі. Ця група визначає, наскільки матеріали та конструкції можуть піддаватися вогню.

2. Межа вогнестійкості окремих конструкційних елементів: межа вогнестійкості вимірюється у годинах і представляє собою час, протягом якого конструкція зберігає свою стійкість і несучу спроможність під впливом вогню, не втрачаючи їх.

Промислові будівлі і споруди, які розташовані на хімічних підприємствах, зазвичай проектуються на II рівні вогнестійкості і не нижче третього ступеня вогнестійкості. Це важливо, оскільки на таких підприємствах існує високий ризик вибухів, пожеж та викидів шкідливих речовин.

Поділ на категорії промислових підприємств за рівнем вибухової, вибухопожежної та пожежної небезпеки також є важливою. Ця категоризація включає наступні шість категорій: А, Б, В, Г, Д, Е.

Категорія А: Виробництва, де технологічний процес є найбільш пожежо- і вибухонебезпечним, тобто можливо утворення повітряних вибухонебезпечних сумішей. Вибух таких сумішей може виникнути від іскри, удару, детонації і призвести до руйнування будівельних конструкцій (у виробництві вибухових речовин, цехах багатьох хімічних і нафтохімічних галузей та ін.).

Категорія Б: Сюди включають виробництва, де може накопичуватися горючий або вибухонебезпечний пил в повітрі, а також рідини з низькою температурою спалаху парів (до 120°C), вибух яких не призводить до руйнування будівельних конструкцій. Така категорія включає, наприклад, виробництво пиловугільного палива, борошна, цукрової пудри і т. д.

Категорія «В» включає виробництва, де використовуються тверді горючі матеріали та речовини, а також рідини з температурою спалаху парів більше 61°C. Сюди також відносяться речовини, які можуть загорітися при контакті з водою, киснем повітря або один з одним. Прикладами таких підприємств можуть бути деревообробні, столярні, меблеві, бавовнооброблюючі, трикотажні та текстильні фабрики і інші.

Категорії «Г», «Д» і «Е» об'єднують виробництва, які працюють з негорючими матеріалами. Сюди включаються ливарні, плавильні, ковальські цехи, теплові електростанції, механічні та інструментальні цехи і подібні.

Щодо поверховості промислових будівель і споруд, їх поділяють на одноповерхові, багатоповерхові і комбіновані. Одноповерхові будівлі зазвичай отримують більше популярності через їхню економічність. Горизонтальний транспорт сировини та напівфабрикатів виявляється більш економічним і зручним порівняно з багаторазовим вертикальним переміщенням. Крім того, вони зменшують витрати на проектування сходів і ліфтів, мають менші витрати на стіни і фундаменти, полегшують природну вентиляцію та покращують якість повітря внутрішнього середовища завдяки природній циркуляції повітря. Проте, одноповерхові будівлі можуть бути витратнішими для опалення через збільшення площі тепловтрат і займаної території.

При плануванні розміщення хімічного обладнання виокремлюють три можливі варіанти компоновки:

Закритий варіант (у промислових будівлях): цей варіант передбачає розташування технологічного обладнання всередині спеціалізованих промислових споруд. Правильне проектування об'ємно-планувальних рішень та будівельних конструкцій має велике значення, оскільки вони визначають можливості розташування обладнання, організацію технологічних процесів, механізацію та автоматизацію виробництва. Важливо також передбачити можливість розвитку підприємства на тривалий період.

У закритому варіанті компоновки виробництва ключовим завданням є створення в промислових будівлях необхідних кліматичних, світлотехнічних та акустичних умов, які відповідали б потребам виробництва. Наприклад, у галузях промисловості, де виготовляються надчисті речовини, штучне волокно, плівки, оргскло і інші, технологічний процес вимагає постійного підтримування заданої температури, вологості, чистоти повітря всередині приміщень та належного освітлення. Промислові будівлі цих галузей можуть проектуватися взагалі без вікон, з

герметизацією та штучним освітленням. Забезпечення необхідних параметрів (температури, вологості, тиску, чистоти повітря) здійснюється за допомогою вентиляції та кондиціонування повітря.

Відкритий варіант (на відкритих залізобетонних постаментах): у цьому варіанті обладнання розташовується безпосередньо на відкритих підставках з залізобетону. Цей варіант може бути вигідним у випадках, коли підприємством вимагається легкий доступ до обладнання та можливість швидкого монтажу та демонтажу.

Змішаний варіант компоновання: В цьому варіанті абсорбційна колона розташована на відкритому майданчику, тоді як решта обладнання знаходиться в спеціальному двоповерховому будинку. Такий підхід дозволяє зменшити поверховість будівельних конструкцій. Об'єднане та розташоване обладнання разом з будівельними конструкціями формують виробничі приміщення. Загалом, в цеху можуть існувати основні, допоміжні та обслуговуючі приміщення.

У нашому конкретному випадку найбільш доцільним і ефективним є варіант компоновання, який включає в себе як елементи відкритого, так і закритого розташування обладнання, тобто змішаний варіант. Цей підхід передбачає розташування абсорбційної колони на відкритому майданчику, тоді як інші частини устаткування розміщуються у спеціальному двоповерховому будинку (див. рис. 4.1). Стратегічно продумане розташування абсорбційної колони на відкритому майданчику має ключовий плюс – зниження загальної поверховості будівельних конструкцій.

Виробничі об'єкти згрупованого та розміщеного устаткування, споруд та будівельних конструкцій визначають структуру виробничих приміщень. Зазвичай виробничі приміщення розподіляються на три основні види: основні, допоміжні та обслуговуючі.



Рисунок 4.1 – Змішаний варіант компоновання
цеху виробництва слабкої азотної кислоти

Розроблені проекти об'єктів, які мають велике значення та важливість, проходять процедуру розгляду та погодження на технічній раді проектної організації. Цей етап є важливим, оскільки він сприяє забезпеченню високої якості та відповідності проектів усім технічним та нормативним вимогам.

Затверджені проекти, разом із розробленими кошторисами, подаються замовнику для подальшого узгодження з генеральною будівельно-монтажною організацією, яка відповідає за реалізацію проекту на практиці. Ця спільна робота є важливою для забезпечення взаєморозуміння між всіма сторонами та врахуванням їхніх потреб і вимог.

Після успішного узгодження всіх етапів проектування приступають до підготовки робочої документації, яка є основою для подальшої будівельної та монтажної діяльності. Цей етап передбачає деталізацію проекту, включаючи всі необхідні специфікації, плани та інші технічні деталі, які дозволяють реалізувати проєкт з високою точністю та якістю.

4.2 Проведення монтажних та ремонтних робіт основного технологічного обладнання [17, 18]

Під час приймання фундаментів для подальшого монтажу устаткування, на-самперед, необхідно перевірити їхню відповідність проекту. Ця перевірка має включати в себе форму готового фундаменту, його розміри та висотні відмітки. Фактичні висотні відмітки визначаються під час геодезичної зйомки, і ця інформація є критично важливою для точного монтажу устаткування.

Далі, слід перевірити правильність розташування фундаментних болтів на фундаменті, їхні розміри та наявність на кожному з них двох гайок. Різьблення фундаментних болтів повинно бути захищене від можливих механічних пошкоджень і покрите спеціальним мастилом, що запобігає корозії.

Допускаються невеликі відхилення від проектних параметрів, такі як +20 мм по відмітках верхніх торців фундаментних болтів, +20 мм по розмірах в плані, ± 5 мм по осях анкерних болтів у плані, і ± 10 мм по осях заставних анкерних пристроїв у плані.

Висотні відмітки фундаменту повинні відповідати проектним значенням і не повинні перевищувати їх. Якщо фундамент виявляється завищеним, його необхідно зрубати до відповідної висоти. З іншого боку, заниження висотних відміток фундаменту допускається до 30 мм. У цьому випадку устаткування може бути встановлене на проектній відмітці за допомогою металевих підкладок або клинів. Але якщо фундамент занижений більше, ніж вказано вище, необхідно додатково провести бетонування для коригування висоти.

Важливо враховувати, що випарник із паровим простором відноситься до категорії кожухотрубних теплообмінників, і методика монтажу таких апаратів залежить від їхнього місця та способу установки. Вони можуть бути встановлені на відкритому майданчику, на залізобетонних постаментах або всередині будівлі, а також горизонтально або вертикально, в залежності від конкретних умов та вимог проекту.

У нашому конкретному випадку ми розглядаємо монтаж горизонтального апарата, який розміщений на відкритому майданчику на рівні землі. Для цього використовуються фундаменти у вигляді двох залізобетонних стовпів з анкерними болтами під опори апарата. Під час монтажу встановлюються як нерухомі, так і рухомі опори. Гайки на болтах не затягуються повністю, залишаючи зазор 1–2 мм, щоб апарат мав можливість вільно переміщуватись в горизонтальному напрямку. При встановленні опор, які можуть переміщатись, проводиться перевірка рівномірності контакту підкладок з опорними поверхнями і їх перпендикулярність осі апарата. Горизонтальність апарата перевіряється за допомогою рівня.

У деяких випадках, під час монтажу, проводять контрольне розбирання (ревізію) кожухотрубних теплообмінників. Під час цієї процедури перевіряється наявність прокладок, комплектність знімних деталей та правильність їх взаємного розташування.

Для виявлення дефектів у розвальцьовуванні і обварці трубок теплообмінника застосовують метод спресовування трубного пучка, шляхом подачі води в міжтрубний простір. Під час цього процесу також проводиться огляд корпусу теплообмінника. Якщо виявляються дефекти розвальцьовування або обварки, вони піддаються виправленню.

Горизонтальне обладнання зазвичай монтується за допомогою одного або двох (спарених) кранів. Вибір способу підйому та вантажопідйомності кранів залежить від розміру та маси обладнання, висоти і конфігурації фундаменту або постаменту, наявності будівельних конструкцій в навколишньому середовищі тощо.

При монтажі особливо великих і важких горизонтальних апаратів, які піднімаються на велику висоту, часто застосовують два крани. Монтаж починається з підняття апарата із вихідного горизонтального положення, не відриваючи його від землі.

На рисунку 4.2 показані оптимальні умови роботи кранів під час монтажу апаратів.

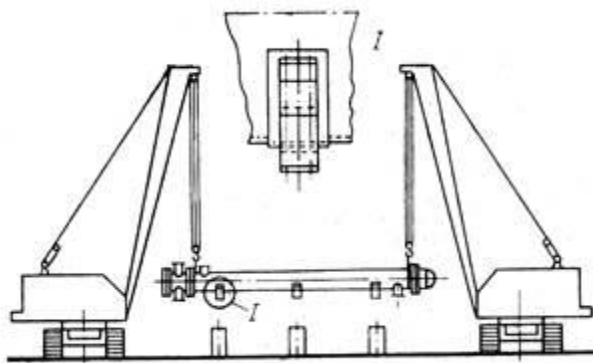


Рисунок 4.2 – Схема монтажу горизонтального теплообмінника за допомогою двох кранів

Коли не можливо встановити один з кранів ззовні фундаментів, монтаж апаратів здійснюється шляхом маневрування крановою стрілою. У випадках, коли неможливо розташувати крани ззовні фундаментів або проїхати між ними під час підйому апаратів, використовують два можливих варіанти: збільшують довжину виходу стріли кранів або переміщують крани з піднятим апаратом в рамках їхньої вантажопідйомності.

Теплообмінники з трубною системою славляться своєю надійністю, завдяки чому вони можуть функціонувати без збоїв на протязі багатьох років. Однак слід пам'ятати, що заплановане технічне обслуговування є необхідним для запобігання можливим поломкам. Із часом теплоносій, який циркулює в трубках, може викликати відкладення на їхніх стінках, заважаючи нормальному обміну теплом. Регулярне промивання трубок дозволяє тривалий час забезпечувати нормальні робочі параметри. Ремонт кожухотрубних теплообмінників, як правило, потрібен лише в разі зношення обладнання.

Найпоширенішими дефектами поламаних теплообмінників є наступні:

1. Виривання трубок з трубних решіток. Ця проблема зазвичай виникає через нерівномірне розширення трубок та корпусу. Існують різні методи виправлення цієї проблеми:

- зачищення місця розриву та обварювання трубки знову.
- висвердлювання трубки та встановлення нової.

- зачищення та заглушка пошкодженої трубки.

При застосуванні заглушок на пошкоджені трубки слід враховувати, що опір в даній ділянці зростає, і ефективність теплообміну трохи погіршується. Зазвичай теплообмінники розраховані так, щоб без суттєвого впливу на технологічний процес можна було блокувати до 10% трубок. В кожному випадку необхідно проводити окремий аналіз цього питання.

2. Наскрізна корозія трубок. Ця проблема виникає або внаслідок тривалого експлуатаційного періоду теплообмінника та непрямой дії корозії, або через неправильний вибір матеріалу для трубок. Є кілька можливих шляхів вирішення цієї проблеми:

- видалення пошкодженої трубки та встановлення нової.
- очищення та заглушка пошкодженої трубки.

При встановленні блокувальних пристроїв на пошкоджені трубки важливо враховувати підвищений опір в даній області. З урахуванням причин виникнення наскрізної корозії можна припустити, що інші трубки можуть вийти з ладу у найближчий час.

У багатьох випадках найефективнішим рішенням є просто заміна трубчастого пучка (створення нового трубчастого пучка). Це особливо актуально, якщо дефект знову з'явився відразу після першої поломки.

3. Наскрізна корозія корпусу або камери. Ця проблема, подібно до наскрізної корозії трубок, зазвичай виникає внаслідок тривалого використання теплообмінника та безпосередньої дії корозії, або через невірний підібраний матеріал. Існують кілька можливих шляхів вирішення цієї проблеми:

- зварювання або встановлення пластини.
- виготовлення нової камери або корпусу.

4. Забруднення трубок або міжтрубного простору. Ця проблема може виникати, якщо один з теплоносіїв не фільтрується належним чином, або якщо утворюється нагар (наприклад, при роботі з вихлопними газами). Є два основних способи вирішення цієї проблеми:

- механічне очищення.

- хімічне очищення.

Якщо забруднення виникає через відсутність належної фільтрації середовища, рекомендується встановлення відповідних фільтрів. Якщо ж утворюється нагар, це зазвичай обумовлено технологічними моментами. У такому випадку потрібно визначити частоту забруднення теплообмінника (шляхом вимірювання температури або тиску) та вчасно його очистити.

Ці операції зазвичай виконуються на місці експлуатації. У випадку потреби фахівці виїжджають на місце для виконання необхідних робіт, проте, в більшості випадків, ці операції здійснює експлуатаційний персонал.

5. Утворення відкладень вапна (накипу) чи інших відкладень. Ця проблема може виникати, якщо один з теплоносіїв є рідиною (наприклад, вода) і має несумісний з даним процесом хімічний склад, зокрема, якщо вода має занадто велику мінералізацію. Існують різні способи вирішення цієї проблеми, включаючи очищення за допомогою спеціальних хімічних засобів.

У разі, коли мінеральні відкладення (накип) стали надто великими, хімічне очищення може бути неефективним. У такому разі трубчастий пучок може вже не підлягати ремонту, і буде необхідно замінити його на новий трубчастий пучок.

Дефектні штуцера і трубні решітки замінюються, якщо вони досягли максимальних значень зносу та відгину.

Свищі і тріщини усуваються шляхом їх заварювання або шляхом накладання пластини після видалення пошкодженої ділянки.

За допомогою дефектоскопії контролюють протяжність і розташування кінців тріщин, виявлених в корпусі. Ці кінці до заварки засвердлюються свердлами діаметром 3–4 мм. Некрізні тріщини глибиною не більше 0,4 товщини стінки розправляються під заварювання односторонньою вирубкою на максимальну глибину тріщини зі зняттям крайок під кутом 50–60°. Якщо тріщина перевищує 100 мм, заварювання виконують оберненоступеневим методом.

Наскрізні та некрізні тріщини глибиною більше 0,4 товщини стінки обробляють на всю товщину шляхом видалення за допомогою зубил або газорізки. У випадку гніздових тріщин пошкоджені ділянки видаляються та закриваються латками без гострих кутів. Латки вварюються на рівень з основним металом. Площа латки не повинна перевищувати площу апарата.

Надійність усунення поверхневих дефектів перевіряється за допомогою магнітної або ультразвукової дефектоскопії. Допускається глибина пошкодження в межах 10–20 % товщини стінки в залежності від розмірів ушкодження.

Усі поверхні ущільнювачів піддаються контролю за допомогою магнітної або ультразвукової дефектоскопії на відсутність тріщин. Після ремонту конденсатора його піддають гідравлічним або пневматичним випробуванням.

5 ІНФОРМАЦІЙНЕ ТА АПАРАТУРНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ

У стандартній конфігурації МСКУ-М використовуються такі блоки:

- РГ1 та РГ2 виконують роль вхідних і вихідних гальванічних ізоляторів.
- АЦП і ЦАП забезпечують аналого-цифровий та цифро-аналоговий перетворення сигналів від і до цифрової форми.
- ЦІП відповідає за цифро-імпульсне перетворення сигналів.
- ЦДП і ДЦП виконують роль цифро-дискретного та дискретно-цифрового перетворювачів.
- АЛГО відповідає за алгоритмічне перетворення сигналів.

Слід зазначити, що МСКУ-М оптимально працює з уніфікованими струмовими сигналами.

У пульті оператора (ПО) розміщені пристрої контролю (ПК), панелі ручного керування (РК) і схема сигналізації (С). Враховуючи пожежо- та вибухонебезпечний характер виробництва азотної кислоти, для регулювання використовують пневматичні виконавчі механізми типу «МІМ». Також встановлюється електропневмоперетворювач ЕПП-63 для обробки сигналу на виході з УВК.

У цій кваліфікаційній роботі запропоновано використовувати автоматизовану систему керування технологічним процесом (АСКТП) на основі мікропроцесорного керуючого обчислювального комплексу Реміконт. Впровадження АСКТП сприяє зниженню собівартості продукції через скорочення видаткових норм на сировину та енергоресурси на одиницю продукції. Крім того покращується якість продукції та спрощується робота оперативного персоналу під час ведення технологічного процесу.

5.1 Вибір та обґрунтування параметрів контролю, регулювання та вимірювання

Для забезпечення оптимального керування процесом випаровування аміаку, оператор-технолог повинен мати необмежений доступ до актуальної інформації про хід технологічного процесу в будь-який момент часу. У цьому контексті, в нашій роботі пропонується вимірювати та відображати на моніторі оператора в ЦПК важливі дані, такі як температура, тиск, рівень рідини в обладнанні і, відповідно, витрати теплоносіїв.

Розроблена система АСКТП виступає як потужний інструмент для оператора, спрямований на підвищення ефективності та комфорту роботи. Вона надає оперативний доступ до важливої інформації щодо стану об'єкта управління та реєструє всі події і параметри технологічного процесу отримання парів аміаку для подальшого аналізу.

Ця система управління забезпечує наступне:

1. Автоматичне керування технологічним обладнанням і виробничими процесами відповідно до заздалегідь заданих алгоритмів, що забезпечує стабільність і виконання встановлених параметрів. Також передбачається можливість вручного встановлення параметрів автоматичного режиму для окремих виконавчих механізмів.

2. Забезпечення інформаційної підтримки оператора, включаючи сигнали аварій та попередження, реєстрацію важливих параметрів, доступ до актуальних і архівних даних про стан обладнання і хід технологічного процесу. Система також дозволяє генерувати звіти та графіки, відображати інформацію в цифровому і графічному вигляді.

3. Можливість створення архівів параметрів і подій, включаючи всі аналогові сигнали, що подаються на входи контролера. Ці архіви зберігають важливі дані для подальшого аналізу та використання.

Зважаючи на всі особливості об'єкта автоматизації і функції системи, ми вирішили використовувати промисловий контролер SIMATIC S7 від відомої компанії SIEMENS як апаратну основу. Цей вибір зумовлений кількома перевагами, які надає цей контролер.

Однією з головних переваг є висока надійність роботи SIMATIC S7, що є критичним для системи, яка відповідає за автоматизацію виробничого процесу. Також слід відзначити модульну архітектуру контролера, яка дозволяє розширювати та адаптувати систему до змінних потреб об'єкта автоматизації.

Додатково, SIMATIC S7 має важливу функцію – збереження інформації при втраті живлення. Це гарантує, що важливі дані не будуть втрачені у випадку виникнення непередбачених ситуацій.

Один з ключових аспектів, який робить цей контролер ідеальним вибором, – це можливість програмного управління ПІД-регулюванням. Ця можливість надає оператору більше контролю над процесом та підвищує його точність та ефективність.

Нарешті, простий інтерфейс зв'язку з персональним комп'ютером робить роботу з контролером SIMATIC S7 більш доступною та зручною для наших операторів.

Крім того, важливо відзначити, що програмовані контролери SIMATIC S7-200 призначені для автоматизації та регулювання різних систем, від окремих машин до окремих елементів виробничого процесу. Їх використання дозволяє створювати ефективні керуючі системи, при цьому вартість таких контролерів залишається на відносно низькому рівні, що робить їх бюджетною, але ефективною опцією для нашого проекту.

5.2 Вибір та обґрунтування технічних засобів автоматизації

При виборі приладів для автоматизації, особливо у виробничому середовищі, важливо дотримуватися кількох важливих принципів. Так, звичайно, слід надавати перевагу приладам, що виробляються серійно, оскільки вони вже протягом

деякого часу успішно застосовувалися в різних галузях промисловості та мають добру репутацію. Вибір конкретних приладів для автоматизації слід робити на підставі вимог до діапазону вимірювань.

Для проведення, контролю, а також регулювання процесом нами були обра-ні наступні прилади.

Автоматичний контроль температури. Для цього ми вибрали продукцію фірми SIEMENS, а саме сімейство вимірювальних перетворювачів температури, що представлене перетворювачами SITRANS T. Ці перетворювачі, враховуючи їхню надійність, дозволяють точно вимірювати температуру навіть в найважчих умовах, включаючи екстремальні ситуації. Ці датчики застосовуються в різних галузях промисловості, включаючи хімію, фармацію, харчову та енергетичну промисловість.

Важливо відзначити, що існують варіанти термометрів з цифровою інди-кацією показань, що полегшує процес спостереження за температурними показни-ками. Крім того, доступні вибухозахищені моделі датчиків, що робить їх безпеч-ними для використання в потенційно небезпечних умовах.

Перетворювач SITRANS T серії TW, який є універсальним перетворювачем з виходом 4–20 мА + HART може бути програмований за допомогою ПК. Цей ви-бір надає нам додатковий рівень контролю та можливість пристосувати наші при-лади до конкретних потреб нашого виробництва.

Автоматичний контроль витрати ресурсів є важливою складовою ефек-тивного виробництва. У нашому випадку, ми використовуємо сімейство витрато-мірів SITRANS F для точного і надійного вимірювання витрати різних середовищ. Ці витратоміри використовують сучасні та перевірені часом методи вимірювання, що дозволяє вимірювати витрату практично будь-якого середовища. Наприклад, перетворювач SITRANS F серії M Magflo – це магнітоіндукційний витратомір, який застосовується для вимірювання витрати електропровідних рідин і суспен-зій.

Автоматичний контроль рівня також є критичним для багатьох виробничих процесів. Сімейство гама рівнемірів SIEMENS SITRANS L пропонує рішення для контролю рівня рідких і сипких середовищ. Наприклад, сигналізатор граничного рівня Pointek CLS 200 – це універсальний сигналізатор, який відрізняється високою хімічною стійкістю, що робить його ідеальним для роботи в вимогливих умовах.

Автоматичний контроль тиску є ще однією важливою складовою процесу автоматизації. Сімейство вимірювальних перетворювачів SITRANS P призначені для вимірювання різних типів тиску, включаючи надлишковий, вакууметричний, абсолютний та диференціальний тиск для рідин, газів та пароподібних середовищ. Одним з прикладів є перетворювач SITRANS P серії ZD, який забезпечує точні вимірювання надлишкового та абсолютного тиску та має цифровий індикатор для зручності відображення даних.

Важливою є також **автоматична сигналізація**, яка надає можливість оперативному персоналу реагувати на відхилення технологічного процесу від норми. Система автоматичної сигналізації може спрацьовувати у різних ситуаціях, включаючи максимальні та мінімальні витрати ресурсів, температурні аномалії та рівень рідини в апараті. Ця система надає надійний механізм контролю та забезпечує безпеку виробничого процесу.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ [20]

Система охорони праці представляє собою комплексну сукупність законодавчих норм, соціально-економічних політик, технічних рішень, санітарних та гігієнічних заходів, а також організаційних заходів, спрямованих на забезпечення безпеки, підтримання здоров'я та працездатності працівників під час їхньої діяльності.

При проектуванні будь-якого виробництва слід керуватися принципом максимального полегшення умов праці для працівників. Ефективне налагодження безпеки та охорони праці на виробництві включає у себе запобігання нещасним випадкам на робочому місці, запобігання професійним захворюванням, уникнення пожеж, аварій та інших аварійних ситуацій.

Під час виробництва азотної кислоти використовуються різні речовини, такі як аміак, оксиди вуглецю, водень і інші, як у чистому стані, так і у вигляді різних сумішей. Багато з цих речовин мають токсичні властивості, є вогнебезпечними або можуть утворювати вибухові суміші.

У табл. 6.1 наведено основні фізико-хімічні властивості цих речовин для належного розуміння їх потенційних небезпек та ризиків при виробництві азотної кислоти. Важливо звертати особливу увагу на засоби захисту, контроль за витратами та вивчення можливих ризиків для забезпечення безпеки працівників та запобігання аварій.

Таблиця 6.1 – Основні фізико-хімічні властивості речовин, вживаних у виробництві слабкої азотної кислоти

Найменування з'єднання	Емпірична формула	Структурна формула	Агрегатний стан	Температура кипіння, °C
Азотна кислота	HNO_3	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{H} \equiv \text{N} - \text{O} \\ \\ \text{O} \end{array}$	рідина	120
Вуглекислий газ	CO_2	$\text{C}=\text{O}=\text{O}$	Газ	–

Оксид вуглецю	CO	C = O	Газ	-191,5
Водень	H ₂	H ≡ H	Газ	-252,8
Аміак	NH ₃	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{N} - \text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$	Газ	-33,4

Азотна кислота (HNO₃) – це рідина жовтуватого кольору з характерним запахом. Густина промислової (58 % HNO₃) кислоти при 20°C – 1,356 г/см³. Варто відзначити, що контакт з азотною кислотою на шкірі або слизових оболонках може призвести до опіків. Азотна кислота також може руйнувати тканини рослин і тварин.

Пари азотної кислоти, подібно до оксидів азоту, можуть викликати роздратування дихальних шляхів, викликати задишку та навіть призвести до руйнування зубів. Попадання азотної кислоти в очі може призвести до серйозних опіків рогівки ока та викликати омертвіння очей. Важливо пам'ятати, що пари азотної кислоти є отруйними навіть у невеликих концентраціях, а високі концентрації можуть викликати задуху.

Гранично-допустима масова концентрація (ГДК) парів азотної кислоти в робочій зоні виробничих приміщень обмежена на рівні 2 мг/м².

У випадку опіків очей азотною кислотою, необхідно негайно промити їх великою кількістю води, а потім направити потерпілого до медичного пункту для надання подальшої допомоги. Якщо азотна кислота потрапила на шкіру, обов'язково промийте уражену область великою кількістю води. Також слід відправити потерпілого до медичного пункту для обстеження та надання додаткової допомоги.

Оксид вуглецю – це безбарвний газ, що не має запаху та смаку, та дуже отруйний. Отруйна дія оксиду вуглецю пояснюється тим, що він з легкістю зв'язується з гемоглобіном в крові, перешкоджаючи їй переносити кисень від легенів до тканин.

Водень – це безбарвний газ, який відноситься до горючих, пожежонебезпечних та вибухонебезпечних речовин. Важливо зауважити, що водень не є отруйним газом. Проте при відсутності достатньої кількості кисню в повітрі він може стати задушливим газом. Межі вибухонебезпечної концентрації водню в повітрі складають від 4,0% до 75,0% об'єму.

У атмосфері, яка містить чистий газоподібний кисень, існує ризик самозаймання органічних матеріалів. Крім того, рідкий аміак і азотна кислота відомі своєю горючою природою. Коли ці речовини потрапляють на шкіру або в очі людини, особливо велика небезпека виникає для очей.

На виробничому майданчику для виробництва азотної кислоти визначаються ділянки, де існує підвищена небезпека вибуху:

Відділення конверсії аміаку: в умовах, коли концентрація аміаку в суміші з повітрям в зоні каталізатора зростає, існує ризик вибухів. Ці вибухи можуть призвести до поширення руйнівної дії на суміжне обладнання.

Котел-утилізатор: котел-утилізатор, якщо перегрівається, має недостатньо води або внаслідок інших причин, також може стати джерелом вибухів.

Нітрозні вентилятори: лопатки нітрозних вентиляторів іноді можуть вкриватися амонійними солями азотної кислоти. Зіткнення обертових деталей ротора з такими відкладеннями на статорі може викликати вибух і пошкодження обладнання. Накопичення цих солей може відбуватися в період затяжного пуску контактного апарату, коли можуть відбуватися проскоки аміаку через каталізатор і подальше утворення солей азотної кислоти при знижених температурах.

Контактне відділення: у контактному відділенні може виникнути небезпека вибуху, оскільки концентрація аміаку в повітрі, яка перевищує 15% об'єму, призводить до підвищеної вибухонебезпеки. Для запобігання ризику вибуху встановлюється автоматичний вентилятор на лінії подачі аміаку до вентилятора, який припиняє подачу аміаку при втраті електропостачання. Також для зменшення ризику витоку аміаку використовуються автоматичні газоаналізатори. Контактне

відділення відноситься до категорії Д, а зона в радіусі 5 метрів від контактного відділення відноситься до категорії Б.

У виробництві азотної кислоти, **абсорбційні відділення** відіграють важливу роль, але в них постійно відбувається забруднення повітря оксидами азоту. Ці оксиди азоту надходять у відділення з різних джерел, таких як сусідні газоходи, кислотопроводи, насоси, місця для взяття проб і так далі. В абсорбційному відділенні також можливі різні аварії, які супроводжуються викидами різноманітних (в тому числі і отруйних) газів, які є серйозною загрозою.

Основними джерелами небезпеки при аваріях є скляні з'єднання кислотопроводів від веж до буферних баків і кислотопроводи під високим тиском. Дефект або пошкодження системи в цих місцях може викликати прориви, які супроводжуються великими викидами кислоти та небезпекою для персоналу та обладнання.

Зазначимо, що виробництво азотної кислоти пов'язане із шкідливими речовинами, такими як аміак і нітрозні гази. Ці речовини можуть забруднювати зовнішнє повітря на території підприємства та внутрішні приміщення оксидами азоту і токсичними парами, а також кислотними викидами.

Азотна кислота є особливо небезпечною речовиною, яка має корозійну активність і може виділяти токсичні пари. Найбільш небезпечними є оксиди азоту, оскільки вони мають властивість повільно розчинятися у волозі, що покриває слизові оболонки дихальних шляхів. Це створює значний прихований період між моментом надходження отруйних газів в організм та початком розвитку небезпечних явищ, переважно в органах дихання.

Після вдиху оксидів азоту жертва може не відчувати подразнення дихальних шляхів і тільки через 20-30 хвилин у нього може виникнути кашель, задишка, біль у грудях. Ці реакції часто зникають, коли постраждалий виходить на свіже повітря, але пізніше можуть повернутися з новою силою, що вказує на серйозний стан і можливий розвиток набряку легенів, який є небезпечним для життя.

Тетраоксид азоту, також відомий як ангідрид азотної кислоти, а також пари і аерозоль азотної кислоти, можуть мати небезпечний вплив на органи дихання людини, спричиняючи задушливість. Ще однією групою оксидів азоту є нижчі оксиди, такі як закис азоту і ангідрид азотної кислоти. Ці речовини мають різні фізіологічні ефекти.

Закис азоту і ангідрид азотної кислоти переважно мають властивості розширювати судини, що може викликати вазоділяцію. Іноді вони також можуть мати наркотичний вплив на центральну нервову систему.

Постійний вплив оксидів азоту, навіть у концентраціях, які не призводять до гострого отруєння, може призвести до розвитку серйозних хронічних захворювань дихальних шляхів. Серед таких захворювань можна виділити хронічні бронхіти та токсичний пневмосклероз, які часто ускладнюються астмою.

Отже, ефекти оксидів азоту на органи дихання можуть бути дуже серйозними і потенційно небезпечними для здоров'я людини, особливо при тривалому інгаляційному впливі на них.

Таблиця 6.2 – Гранично допустимі концентрації токсичних газів і парів в повітрі робочих приміщень [20]

Речовина	Концентрація, мг/м³
Аміак	20
Гас	300
Оксиди азоту	5
Оксид вуглецю	20
Ртуть металева	0,01

Густина аміаку за однакової температури менша, ніж густина повітря. За певних обставинах спостерігалось утворення хмар, які склалися з повітряно-аміачних сумішей, були важчі за навколишнє повітря та, здавалося, майже «стелилися» по землі [19].

Існують наступні межі вибуховості для газоподібного аміаку [20]:

- у повітрі: Нижня межа вибуховості (НМВ) = 15,5% об'єму; Верхня межа вибуховості (ВМВ) = 27% об'єму;

- у кисні: Нижня межа вибуховості (НМВ) = 15% об'єму; Верхня межа вибуховості (ВМВ) = 79% об'єму.

Для забезпечення безпечного режиму роботи на підприємстві, де виготовляють неконцентровану азотну кислоту, необхідно дотримуватися строгого виконання технологічних регламентів, інструкцій з охорони праці на робочих місцях, а також інструкцій з охорони праці та промислової безпеки відділення, які стосуються різних видів робіт.

Робочий персонал повинен мати доступ до роботи лише в спеціальному одязі та взутті, і завжди мати при собі справні засоби індивідуального захисту. Перед початком роботи обов'язково перевіряються засоби захисту, включаючи індивідуальні захисні протигази, які перевіряються щоразу перед робочою зміною.

Особи, які обслуговують механізми, повинні бути ознайомлені з правилами Державного міського технічного нагляду, які стосуються обслуговуваного обладнання. Також, працівники, які обслуговують обладнання, повинні знати правила щодо котлонагляду.

Необхідно запобігати порушенню нормального технологічного режиму на всіх етапах виробничого процесу. Роботи дозволяється виконувати лише на обладнанні, яке є справним та обладнаним всіма необхідними запобіжними пристроями, контрольно-вимірювальними та регулюючими приладами, сигналізацією та блокуваннями.

Під час ремонту обладнання та комунікацій, в яких може накопичуватися аміак, обов'язково проводиться продування азотом до вмісту кисню в продувному азоті не більше 3,0 % об. Такі заходи проводяться перед заповненням апаратів і комунікацій аміаком після ремонту, для забезпечення максимальної безпеки на виробництві.

Необхідно утримуватися від проведення ремонтних робіт на комунікаціях, арматурі та обладнанні, які перебувають під тиском. Ремонт слід виконувати ли-

ше після зниження тиску та відключення ремонтованої ділянки за допомогою спеціальних заглушок. Устаткування та комунікації, які потребують ремонту, повинні бути очищені або промиті.

Для уникнення гідравлічних ударів під час подачі пари в холодні паропроводи рекомендується проводити цей процес повільно, забезпечуючи достатній підігрів трубопроводу та здійснюючи відведення конденсату по всій довжині трубопроводу. Виходження сухої пари з дренажу свідчить про належний прогрів трубопроводу.

Не слід вмикати електрообладнання в разі відсутності надійного заземлення. Ремонт обладнання, яке працює на електроприводі, дозволяється лише після відключення живлення від електродвигунів.

Ремонт і налагодження систем контролю та регулювання та електрообладнання слід проводити виключно фахівцями відповідних служб контролю та ремонту електрообладнання.

Використання відкритого вогню в складських приміщеннях, та там де проводяться виробничі роботи, строго заборонено. Вогневі операції можуть здійснюватися лише за наявності офіційного наряду-допуску, який повинен бути підписаний начальником цеху та затверджений начальником управління або групою цехів по питаннях промислової безпеки після згоди інженера з охорони праці. Куріння допускається лише на спеціально відведених для цього місцях.

Всі обертові деталі устаткування (напівмуфти), крильчатки обертових вентиляторів і вали електродвигунів повинні бути надійно закріплені, обмежені і пофарбовані у червоний колір.

Фланцеві з'єднання кислотних ліній мають бути захищені спеціальними захисними кожухами.

Підтягування болтів при фланцевих з'єднаннях трубопроводів і проведення робіт на обладнанні, яке перебуває під тиском, заборонено.

Апарати, які функціонують під тиском, повинні відповідати технічним умовам та правилам їх будови і безпечної експлуатації, що визначені відповідними документами та інструкціями для посудин і комунікацій, що працюють тиском.

Система вентиляції має функціонувати у постійному режимі та знаходитися в справному стані для забезпечення якісного обміну повітря в приміщеннях.

Обслуговування вантажопідйомних механізмів, а також посудин, що функціонують під тиском, дозволяється лише кваліфікованим працівникам, які мають спеціальне навчання і відповідні посвідчення.

Пожежні шафи, пристрої та інвентар повинні бути завжди готові до використання і не повинні бути захищені іншими предметами. Важливо підтримувати їх в чистоті та робочому стані.

Для безпеки персоналу, відкриті отвори у перекриттях, майданчиках та перехідних містках повинні мати огорожі висотою не менше 1 метра. Внизу огорожі слід розмістити бортик або захисну смугу висотою 15 см.

Всі контрольні-вимірювальні прилади та системи автоматизації і блокування повинні перебувати в справному стані, щоб забезпечити ефективне функціонування процесу.

Для уникнення відкладення нітрат-нітритних солей на внутрішніх поверхнях обладнання та трубопроводів, лопатках роторів, стінках компресорів і інших елементах, необхідно не допускати тривалого розпалювання контактних апаратів (більше 20 хвилин).

Робочі місця для проведення ремонтних та інших робіт на висоті 1,3 метра і вище повинні бути забезпечені огорожами. Якщо встановлення огорож неможливе або нецільове, використовуються запобіжні пояси при роботі на висоті більше 1,3 метра або приставні сходи. Під час проведення робіт на висоті повинні бути наявні допоміжні працівники, готові надавати допомогу працівникам, які працюють на висоті. Місце кріплення запобіжного пояса визначає керівник робіт.

Запобіжні пояси проходять необхідні випробування як перед введенням їх в експлуатацію, так і протягом експлуатації, з інтервалом не рідше, ніж кожні 6 мі-

сяців. Кожен запобіжний пояс повинен бути оснащений биркою, на якій вказані реєстраційний номер та дата наступного випробування. Це забезпечує відстеження та підтримання відповідності запобіжних поясів вимогам безпеки.

Під час роботи з азотною кислотою (відбір проб, огляд комунікацій, пуск насосів продукційної кислоти) та іншими схожими процесами, необхідно застосовувати індивідуальні засоби захисту для органів дихання та зору. Це включає фільтруючий протигаз з коробкою марки «М», захисні окуляри з гумовою напівмаскою або захисний щиток з органічного скла, гумові кислотозахисні рукавички та спеціальний кислотозахисний одяг. Використання цих індивідуальних засобів захисту дозволяє забезпечити безпеку працівників під час взаємодії з агресивними речовинами.

При виявленні будь-яких несправностей у роботі устаткування, дефектів опор, стін та інших елементів, працівники повинні негайно повідомити начальника відділення чи механіка цеху. У разі необхідності устаткування слід негайно зупинити та підготувати до подальшого ремонту.

При кожній зупинці агрегату для ремонту рекомендується проводити розтин нижнього люка окислювача. Якщо виявляється наявність солей амонію на розподільній решітці та на стінках, то слід виконувати пропарювання цих елементів гострою парою. Всі роботи, пов'язані з парою та паровим конденсатом, мають виконуватися в спеціальному захисному одязі, спеціальному взутті та захисних рукавичках для запобігання контакту з агресивними речовинами.

Загалом, з суворим дотриманням технологічного режиму та інструкцій з техніки безпеки, при виробництві азотної кислоти можуть бути створені повністю безпечні умови праці для персоналу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Производство азотной кислоты в агрегатах большой единичной мощности / Под ред. В. М. Олевского. – Москва : Химия, 1985. – 400 с.
2. Атрощенко В. И. Технология азотной кислоты / В. И. Атрощенко, С. И. Каргин. – Москва : Государственное научно-техническое издательство химической литературы, 1962. – 523 с.
3. Бонне М. Производство азотной кислоты в агрегатах большой единичной мощности / М. Бонне, Н. Д. Заичко, М. М. Караваев [и др.] : Москва : Химия, 1985. – 400 с.
4. Методичні вказівки до виконання магістерської кваліфікаційної роботи зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» освітньої програми «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів» : для студентної, заочної та дистанційної форм навчання / В. І. Склабінський, Я. Е. Михайловський, Р. О. Острога, М. С. Скиданенко. – Суми : СумДУ, 2019. – 53 с.
5. Маньковский О. Н. Теплообменная аппаратура химических производств: Инженерные методы расчета / О. Н. Маньковский, А. Р. Толчинский, М. В. Александров. – Ленинград : Химия, 1976. – 368 с.
6. Врагов А. П. Теплообмінні процеси та обладнання хімічних і газонафтопереробних виробництв : навчальний посібник / А. П. Врагов. – Суми : Вид-во СумДУ, 2006. – 262 с.
7. Иванченко В. В. Конструювання та розрахунок кожухотрубчастих теплообмінних апаратів / В. В. Иванченко, О. І. Барвін, Ю. М. Штонда. – Луганськ : Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2006. – 208 с.
8. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – Москва : Химия, 1973. – 754 с.
9. Процеси та обладнання хімічних технологій. Базові принципи теорії тепломасообміну: практикум з кредитного модуля : навч. посіб. / уклад.: С.В. Гулієнко, Я.В. Гробовенко. – К. : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 120 с.

10. Теплові й масообмінні процеси та обладнання хімічних і нафтогазопереробних виробництв у системах "газ (пара) – рідина" : підручник / Я.Е. Михайловський, А.Є. Артюхов, М.П. Юхименко, Н.О. Артюхова ; за заг. ред. Я.Е. Михайловського. – Суми : СумДУ, 2021. – 391 с.

11. Машины и аппараты химических производств. Примеры и задачи / Под общ. ред. В. Н. Соколова. – Ленинград : Машиностроение, 1982. – 384 с.

12. Конструювання і розрахунків елементів тонкостінних посудин та апаратів, які знаходяться під зовнішніми навантаженнями: навч. посіб. для студ. / І.А. Андреев; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ, 2018. – 121 с.

13. Андреев, І. Роз'ємні міцно-щільні з'єднання: навчальний посібник для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» / Ігор Андреев; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 138 с.

14. Розрахунок колонних апаратів на міцність і стійкість: навч. посіб. для студ. спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» / І. А. Андреев; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 112 с.

15. Методичні вказівки до вивчення дисципліни «Проектування хімічних підприємств та основи САПР» для студентів спеціальності «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів» / Укладачі О. О. Ляпощенко, В. М. Маренок. – Суми : Вид-во СумДУ, 2007. – 80 с.

16. Дистанційний курс «Проектування хімічних виробництв і основи САПР» / «Компонування виробництва» [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://elearning.sumdu.edu.ua/free_content/lectured:f43ede4f2c1341b4c42f8f9ad8b986f4c38640aa/latest//4642/tema.pdf

17. Обладнання хімічних виробництв та підприємств будівельних матеріалів : Навчальний посібник / А.І. Дубинін, В.М. Атаманюк, В.П. Дулеба, Д.М. Симак. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2013. – 292 с.

18. Обладнання заготівельних та котельно-зварювальних діляниць ремонтно-механічних цехів хімічних виробництв : навч. посіб. / С.М. Яхненко, М.С. Скиданенко, Є.М. Піддубний. – Суми : СумДУ, 2022. – 170 с.

19. Виготовлення обладнання хімічних виробництв : підруч. [для студ. закл. вищ. освіти]. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2022. – 233 с.

20. Основи охорони праці: Підручник. 2-ге видання, доповнене та перероблене / К.Н. Ткачук, М.О. Халімовський, В.В. Зацарний, Д.В. Зеркалов, Р.В. Сабарно, О.І. Полукаров, В.С. Коз'яков, Л.О. Мітюк. За ред. К.Н. Ткачука і М.О. Халімовського. – Київ : Основа, 2006. – 448 с.