

## РЕФЕРАТ

магістерської роботи «Випарний апарат у виробництві  
аміачної селітри потужністю 453 тис. т/рік»

Звіт 100 с., 6 табл., 6 рис., 14 літ. джерел

АМІАЧНА СЕЛІТРА, МАТЕРІАЛЬНИЙ БАЛАНС, ТЕПЛОВИЙ  
БАЛАНС, ВИПАРНИЙ АПАРАТ, КОНСТРУКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ,  
МІЦНІСТЬ, РЕМОНТ, МОНТАЖ.

Об'єкт дослідження – випарний апарат у виробництві аміачної селітри.

Мета роботи – на підставі вивчення та аналізу технічної літератури, що присвячена технології вироблення аміачної селітри та застосовуваного обладнання, розрахувати параметри випарного апарату.

Методи дослідження – теоретичні та розрахункові.

Магістерська робота включає такі етапи:

- ✓ аналітичний огляд наукової та технічної літератури за темою;
- ✓ аналіз технології виробництва аміачної селітри та технологічні розрахунки;
- ✓ аналіз конструкції та принципу роботи випарного апарату;
- ✓ вибір основних конструкційних матеріалів;
- ✓ розрахунки на міцність, жорсткість і стійкість випарного апарату;
- ✓ розробка технології виготовлення випарного апарату;
- ✓ ремонт і монтаж випарного апарату;
- ✓ заходи з охорони праці.

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Аналітичний огляд .....	6
2 Технологічна частина.....	12
2.1 Обґрунтування обраного методу виробництва й устаткування.....	12
2.2 Опис технологічної схеми виробництва.....	12
2.3 Характеристика сировини й готового продукту.....	20
3 Конструкція та принцип дії апарату.....	26
4 Вибір конструкційних матеріалів.....	28
5 Параметричні розрахунки апарата.....	30
5.1 Матеріальний баланс.....	30
5.2 Технологічний розрахунок.....	31
5.3 Тепловий баланс.....	38
5.4 Гідравлічний розрахунок.....	44
6 Розрахунок елементів апарата на міцність, жорсткість і стійкість...	48
7 Технологія виготовлення апарату.....	62
8 Ремонт та монтаж апарату.....	67
9 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	80
Висновки й рекомендації.....	99
Перелік джерел посилання.....	100

## Вступ

У природі й житті людини азот має винятково важливе значення. Він входить до складу білкових сполук (16 - 18 %), що є основою рослинного й тваринного миру. Людина щодня споживає 80-100 мг білка, що відповідає 12 -17 г азоту.

Особлива роль у мінеральному харчуванні рослин належить азоту, хоча у середньому його частка у рослинній масі не перевищує 1,5 %. Без азоту не може жити й нормально розвиватися жодна рослина.

Природні сполуки азоту утворилися внаслідок хімічних процесів розкладання органічних залишків, при грозових розрядах, а також біохімічним шляхом у результаті діяльності особливих бактерій – азота-бактера, що безпосередньо засвоюють азот з повітря.

Значна кількість азоту й інших живильних речовин, необхідних для розвитку сільськогосподарських культур, щорічно виноситься із ґрунту з одержуваним урожаєм. Крім того, частина живильних речовин губиться в результаті вимивання їх ґрунтовими й дощовими водами. Тому для запобігання зниження врожайності й виснаження ґрунту потрібно поповнювати її живильними речовинами шляхом внесення різних добрив.

В асортименті азотних добрив значне місце займає аміачна селітра, об'єм світового виробництва, який обчислюється мільйонами тон у рік.

Аміачна селітра є універсальним азотним добривом, тому що одночасно містить аміачну й нітратну форми азоту. Вона ефективна у всіх зонах, майже під всі сільськогосподарські культури.

Досить важливо, що форми азоту аміачної селітри використовуються рослинами в різний час. Амонійний азот, що безпосередньо бере участь у синтезі білка, швидко засвоюється рослинами в період росту; нітратний азот засвоюється відносно повільно, тому діє більше тривалий час. Аміачна форма азоту може використатися рослинами без попереднього окислювання.

Ці властивості аміачної селітри досить позитивно позначаються на збільшенні врожайності майже всіх сільськогосподарських культур.

Аміачна селітра входить до складу великої групи стійких вибухових речовин. Вибухові речовини на основі аміачної селітри й аміачна селітра чиста або оброблена деякими добавками застосовується для підривних робіт.

Невелика кількість селітри витрачається на одержання закису азоту. Поряд зі збільшенням обсягу виробництва аміачної селітри здійснюються заходи щодо подальшого поліпшення якості готового продукту (одержання продукту 100 % розсипчастості й збереження гранул після тривалого зберігання).

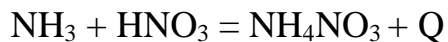
Через важливість використання аміачної селітри не тільки по цільовому призначенню, але і як сировини в інших виробництвах.

Необхідно виробляти в достатній кількості аміачну селітру для сільського господарства .

Тому ціль даного дипломного проекту є розробка виробництва аміачної селітри потужністю 453 тис т/ рік, з детальною розробкою випарного апарата.

## 1 Аналітичний огляд

Процес нейтралізації азотної кислоти аміаком описується реакцією :



Ця реакція є практично необоротною й протікає з великою швидкістю без утворення побічних продуктів.

У процесі нейтралізації виділяється велика кількість теплоти, обумовлена тепловим ефектом реакції, концентрацією вихідної азотної кислоти й температурою реагентів [1].

Так як в реальному процесі в реакції бере участь не 100 % кислота, а її 47 – 60 % розчини , то тепловий ефект реакції фактично нижче на величину теплоти розведення ( виділення ) 100 % азотної кислоти й розчинення твердої  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  .

Кінцевою метою виробництва є одержання твердого нітрату амонію, то на стадії нейтралізації прагнуть одержати як можливо більш концентровані розчини  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  , щоб надалі спростити й здешевити стадію випарювання розчину до стану майже безводного плаву. Оптимальні умови для проведення процесу нейтралізації вибирають у результаті аналізу спільного впливу на цей процес таких параметрів, як концентрація азотної кислоти, температура й тиск у реакторі. Для одержання висококонцентрованих розчинів необхідно застосовувати азотну кислоту високої концентрації, підігрівати реагенти. У сучасних установках виробництва аміачної селітри тепло реакції нейтралізації повністю використовують для випару води з розчину аміачної селітри.

Можливо застосувати азотну кислоту високої концентрації й так підігріти вихідні компоненти, що в процесі нейтралізації буде отриманий практично безводний плав: наприклад, при концентрації азотної кислоти приблизно 63 % і температура її в межах 100 – 110 °С.

Однак доцільність такого процесу обмежується високою температурою, що розвивається в нейтралізаторі. З підвищенням температури нейтралізації

збільшуються втрати азоту за деякого розкладання азотної кислоти й аміачної селітри. Крім того при високих температурах внаслідок помітного збільшення тиску пари аміачної селітри створюються умови для її віднесення із соковою парою у вигляді важко вловимого аерозолію .

З підвищенням температури процесу нейтралізації ростуть вимоги до корозійної стійкості матеріалу, з якого виготовлений нейтралізатор. При температурі в зоні реакції до 140 °С цілком стійким матеріалом для нейтралізатора є сталь 08X18H10T; для діапазону температур 140 – 170 °С необхідно застосовувати більше дорогу хромонікелеву сталь 03X18H11, а при більше високих температурах – титан.

Найбільш широке поширення одержали установки, у яких процес нейтралізації здійснюється під тиском, близьким до атмосферного (надлишковий тиск сокової пари 5-20 кПа). Перевагою нейтралізації під атмосферним тиском є простота схеми, можливість використання газоподібного аміаку, що із цеху синтезу аміаку подається під тиском, не вище 200-300 кПа, без його скраплення й повторного випару. Ці переваги особливо вагомі при використанні азотної кислоти концентрацією не вище 50 %, коли сокова пара при атмосферному тиску можна використати для додаткового розпарювання під вакуумом розчинів, отриманих у нейтралізаторі , тобто коли вдається дворазово використати теплоту реакції нейтралізації й одержати розчини  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  концентрацією 82 – 85 %. Використання більше концентрованої азотної кислоти (58-60 %  $\text{HNO}_3$ ) з попереднім підігрівом вихідної сировини дає можливість при атмосферному тиску одержувати розчин високої концентрації (до 92 – 95 %  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ).

Однак подальше укрупнення одиничної потужності агрегатів для одержання аміачної селітри, а також необхідність знаходження шляхів корисного використання теплоти сокової пари, що у випадку застосування 58 - 60 % азотної кислоти надходять у великій кількості й не може бути повністю використана у виробництві аміачної селітри, працюють усе більше

актуальної розробку раціональної схеми нейтралізації азотної кислоти аміаком під підвищеним тиском.

### Схема нейтралізації азотної кислоти під атмосферним тиском

Застосовується в агрегатах АС - 60 схема нейтралізації під атмосферним тиском [2].

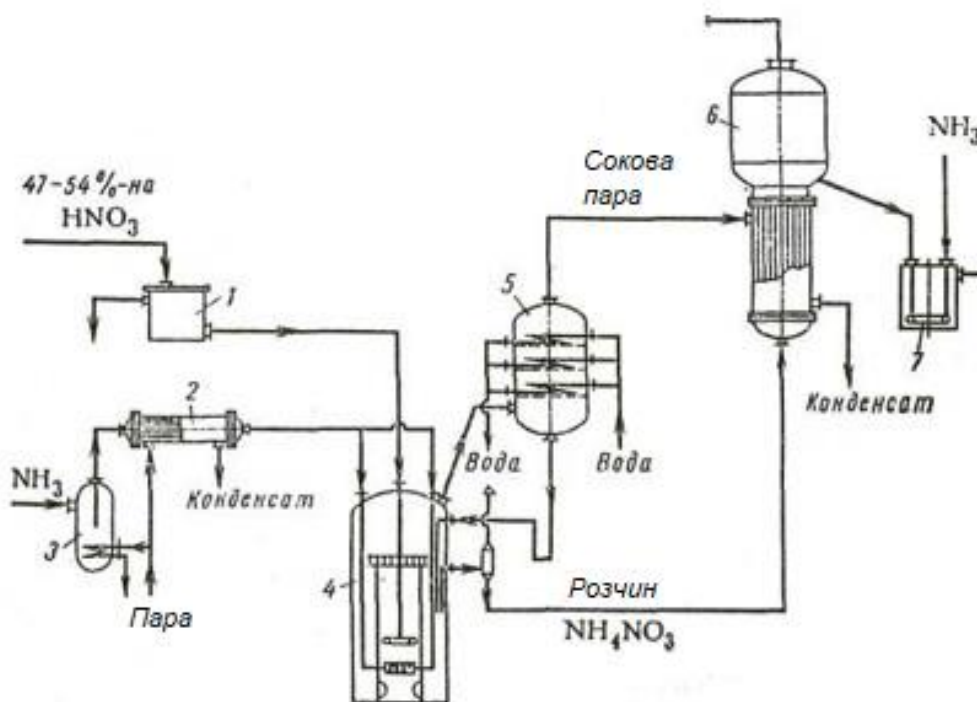


Рисунок 1.1–Схема нейтралізації під атмосферним тиском. Агрегат АС-60

Азотна кислота концентрацією 47 - 54 % надходить у напірний бак 1, а потім через автоматичний регулятор витрати в нейтралізатор - апарат ВТН 4 газоподібний аміак надходить із цеху синтезу аміаку під тиском 200 -300кПа, проходить сепаратор 3 і підігрівач 2 для запобігання потрапляння в нейтралізатор рідкого аміаку. Тиск газоподібного аміаку на вході в цех стабілізують за допомогою автоматичного регулятора; витрата аміаку в нейтралізатор, автоматично регулюють по співвідношенню до азотної кислоти й коректують по розчину на виході з нейтралізатора.

Нейтралізатор одержав назву апарата ВТН (використання тепла нейтралізації) у відмінності від нейтралізаторів, що застосовувалися раніше,

у яких тепло реакції відводили водою без використання для розпарювання розчину.

В агрегатах АС-67 і АС-72 також застосована нейтралізація під атмосферним тиском, що відрізняється від представленої в частині промивання й використання сокової пари, а також конструктивним рішенням вузла нейтралізації. Тут відзначимо вдосконалення розподілу потоків аміаку й азотної кислоти. Установка розподільника азотної кислоти на вході в робочу зону, а розподільника аміаку далі по ходу потоку дозволяє уникнути потрапляння газової фази з високою концентрацією аміаку на струмені практично не розведеної азотної кислоти, що має місце при протилежній послідовності установки. Це робить процес реагування більше м'яким і знімає утворення туману аміачної селітри, неминуче при реакції в газовій фазі. Нове конструктивне рішення, крім того, дозволяє забезпечити більше рівномірний розподіл потоків реагентів по діаметру робочої склянки апарата

Як видно з рис. 1.1 після нової організації розподілу потоків реагентів (аміаку й азотної кислоти) різко скоротився зміст аміачної селітри в сокових парах, що йдуть зі стадії нейтралізації. Тому, що продуктивність реакційної зони по сухому продукту вдалося довести до  $6,9 \text{ т/м}^3$ , тоді як в агрегатах АС-60 вона становить  $3,9 \text{ т/м}^3$ .

#### **Схема нейтралізації азотної кислоти під підвищеним тиском**

Ряд закордонних фірм експлуатують установки, у яких процес нейтралізації здійснюється під тиском 350-600 кПа, залежно від концентрації азотної кислоти (49-57 %).



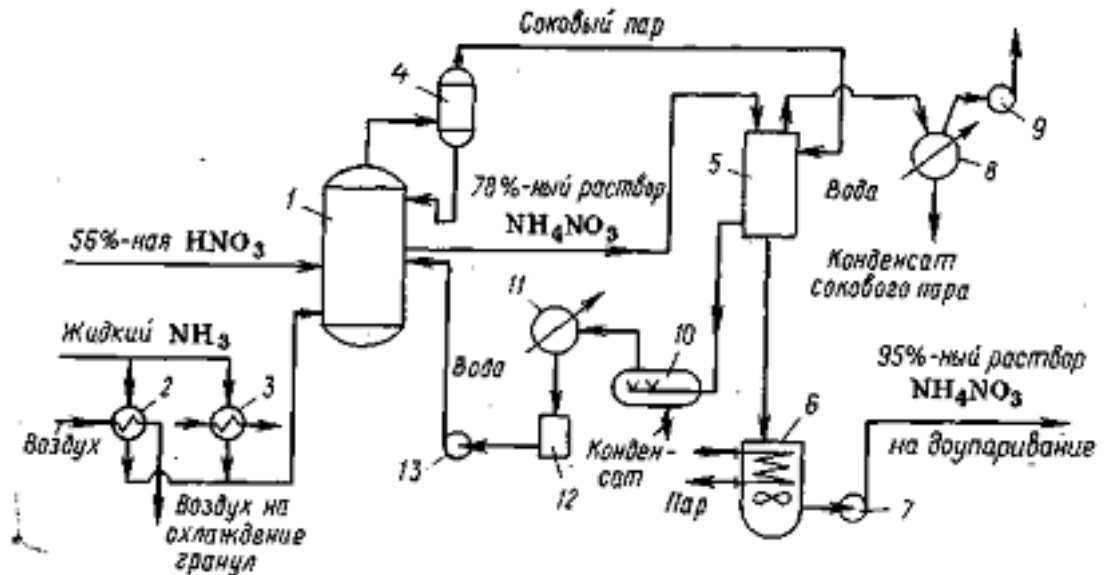


Рисунок 1.2 – Схема нейтралізації під підвищеним тиском

Найчастіше застосовують 56-57 % кислоти й нейтралізацію ведуть під тиском 350 кПа.

На рис.2 зображена принципова схема нейтралізації 56% азотної кислоти під тиском 350 кПа, застосовувана в ряді країн (Франція, Голландія, Англія).

Азотна кислота надходить у нейтралізатор 1 без попереднього підігріву. Рідкий аміак випаровується у випарнику 2 атмосферним повітрям (охлажденне повітря використовується для охолодження гранул аміачної селітри в апараті із псевдоожиженим шаром) або у випарнику 3 конденсатом сокової пари. У нейтралізаторі 1 при температурі близько 180 °С утвориться розчин концентрацією приблизно 78 %.  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , що направляється у випарний апарат 5, що обігрівається соковим паром з нейтралізатора 1. Сокова пара попередньо проходить сепаратор 4.

У випарному апараті підтримують вакуум (залишковий тиск близько 30 кПа або 0,3 кгс/см<sup>2</sup>). Розчин упарюють до 95 %, він стікає в збірник 6, звідки його насосом 7 подають на доупарочні апарати, установлені у верхній частині грануляційної вежі. Сокова пара з випарного апарата 5 конденсується у водяному конденсаторі 8.

Особливістю схем нейтралізації азотної кислоти під підвищеним тиску є підтримування в нейтралізаторі лужного середовища. Це дозволяє зменшити корозійний вплив середовища на матеріал нейтралізатора, а також збільшує безпеку процесу, однак приводить до значного підвищення змісту аміаку в соковій парі.

Витрата аміаку на одну тунну  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  у такій установці досягає 220 кг, тобто значно вище, ніж на вітчизняних установках з нейтралізацією під атмосферним тиском у кислому середовищі [3].

У цьому процесі вигідно також вести попередній підігрів азотної кислоти за рахунок тепла сокової пари з нейтралізатора. Такий прийом дозволяє використати азотну кислоту більше низької концентрації з одержанням, в остаточному підсумку (після випарювання), розчину аміачної селітри тієї ж концентрації (95%).

Слід зазначити, що перші пропозиції по багаторазовому використанню тепла реакції нейтралізації при виробництві нітрату амонію було зроблені в Радянському Союзі ще в 1934-1935 р. зокрема, було запропоновано нейтралізацію проводити без кипіння під тиском 0,45-0,5 МПа з наступним дроселюванням розчинів і їх упаркою під вакуумом, а виділене тепло використати для підігріву розчинів, що утворилися, і їх випарки. Таке багаторазове використання тепла реакції нейтралізації в сполученні з випаркою під підвищеним вакуумом дозволяє розраховувати на здійснення самозабезпеченого процесу по парі, що гріє, можливо навіть із видачею деякої кількості пари тиском 0,5 МПа на сторону.

Оцінюючи наявні рішення по вузлі випарювання, а також перспективи його вдосконалювання, необхідно враховувати загальну тенденцію росту важливості рішення завдання зниження викидів у навколишнє середовище.

З огляду на те, що процес протікає при підвищених температурах (до  $190\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) та агресивнім середовище, матеріал, з якого виготовлений випарний апарат, повинен мати високу корозійну стійкість (Сталь 12X18H10T).

Виходячи з наведених відомостей приймаємо для розробки в проєкти схему виробництва аміачної селітри під атмосферним тиском.

## **2 Технологічна частина**

### **2.1 Обґрунтування обраного методу виробництва й устаткування**

Найбільш прийнятною схемою є схема виробництва аміачної селітри АС-60 (нейтралізації азотної кислоти газоподібним аміаком під атмосферним тиском). Перевагою пропонованої схеми є її простота, можливість використання газоподібного аміаку з тиском 0,17 – 0,25 МПа, використання азотної кислоти з високою концентрацією (не нижче 60 %) без попереднього підігріву вихідної сировини з одержанням розчину аміачної селітри високої концентрації (до 85– 95 %  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) за рахунок використання тепла реакції нейтралізації, введення магнезитової добавки, приготовленої в лужному середовищі, для зменшення злежування аміачної селітри, а також процесом випарювання та обробки гранул аміачної селітри протизлежувальною добавкою Nowo Flon 99056 для збільшення строку її зберігання.

### **2.2 Опис технологічної схеми**

Виробництво аміачної селітри (гранульованої) складається з одного технологічного потоку й має наступні стадії:

1. Нейтралізація азотної кислоти аміаком в апаратах ВТН.
2. Готування магнезитової витяжки.
3. Донеітралізація азотної кислоти аміаком і введення магнезитової витяжки.
4. Концентрування слабких розчинів амселітри й відкачка конденсатів випарки.
5. Розпарювання розчину аміачної селітри у випарних апаратах III ступені й гранулювання.
6. Упакування й зберігання готового продукту.
7. Нанесення антизлеживаючої добавки.

В даній роботі розглядається стадія виробництва аміачної селітри у випарних апаратах III ступені.

### **Розпарювання розчину аміачної селітри у випарних апаратах III ступені й гранулювання**

Із збірників упареного розчину розчин амселітри з масовою часткою  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  не менше 78,0% насосами подається в напірний бак гранбашні №4 поз. 1г [2].

Процес упарювання розчину відбувається по наступній схемі:

з напірного бака (поз. 1г) розчин амселітри надходить у випарні апарати (поз. 2г/1,2).

Рівень в напірному баку (поз.1г) – наявність переливу (поз.LRAL-1), температура розчину – 110-160 °С (поз. TIR-1Н).

У міжтрубний простір випарних апаратів подається насичена пара тиском не більше 1,2 МПа (12 кгс/см<sup>2</sup>) (поз. PI-23-1.2) і температурою не більш 195°С (поз.TR-1и) з парозволожувача (поз. 8г). Температура пари на вході в парозволожувач (поз.8г) (поз.TR-1п) і його витрата (поз.FR-3) не нормуються.

Паровий конденсат з випарних апаратів (поз. 2г/1,2) надається в розширювач парового конденсату (поз. 52) і через віддільник парового конденсату (поз. 10г) в парозволожувач (поз. 8г). З парозволожувача (поз. 8г) паровий конденсат подається в корп. 712 в розширювачі конденсату (поз. 52 або поз. 53).

У аварійних випадках передбачений дренаж парового конденсату з парозволожувача (поз.8г) в оборотну воду.

Для зрівнювання тиску у віддільнику (поз. 10г) і паропроводом між зволожувачем (поз. 8г) і випарним апаратом (поз. 2г), паропровід і віддільник сполучені зрівняльною лінією.

Рівень конденсату у віддільнику (поз.10г) (поз.LRC-2) і парозволожувачі (поз.8г) (поз.LRC-3) підтримується автоматично.

Сокова пара з сепаратора випарного апарату III ступеню (поз.2г/1,2) надходить в промивач сокової пари (поз. 9г) для остаточного відділення крапель амселітри від сокової пари.

Розчин амселітри з промивача поз.9г поступає в переливну лінію з напірного бака (поз.1)г і надходить в збірник упареного розчину (поз.63/1,2).

Сокова пара з промивача (поз.9г) надходить в міжтрубний простір поверхневих конденсаторів (поз.30г/1,2), де конденсується, за рахунок чого створюється вакуум в системі. У трубний простір поверхневих конденсаторів (поз.30г/1,2) подається оборотна вода.

Тиск оборотної води на вході в к.712г не менше 0,26 МПа (2,6 кгс/см<sup>2</sup>), витрата не нормується, температура не більш 30°C .Температура оборотної води на виході з к.712г – не більш 37°C .

Пара, що не сконденсувалася, і інертні гази з поверхневих конденсаторів надходять на всас вакууму (поз. 39г/1,2). Робоча рідина на вакуум надходить конденсат сокової пари із збірника конденсату (поз. 18г) відцентровими насосами (поз. 20г/1,2), охолоджений в теплообміннику (поз. 19г) оборотною водою, що подається з к. 712г.

Конденсат сокової пари з поверхневих конденсаторів (поз.11г/1,2) з масовою концентрацією аміаку не більше 2 г/дм<sup>3</sup>, азотної кислоти – не більше 1 г/дм<sup>3</sup>, амселітри – не більше 6 г/дм<sup>3</sup> надходить в збірку конденсату (поз.18г).

На свічці вакууму (поз.39г/1,2) передбачена аналізна точка.

Передбачена схема промивки поверхневих конденсаторів розчином, що закиляє, містить 180-300 г/дм<sup>3</sup> азотної кислоти, до. 716 насосом (поз. 4а).

У збірнику конденсату (поз.18г) автоматично підтримується рівень в межах 500-1800 мм натжодження конденсату сокової пари в збірник конденсату поз. 54.

Плав амселітри з масовою часткою NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> 98,0-98,5%, аміаку не більше 0,2% (поз.ГО-150/2) і температурою 160-170°C (поз.ТРАНЛ-2-1,2) з нижньої частини сепаратора випарного апарату( поз. 2г/1,2) надходить в гідрозатвор-донецитралізатор (поз. 3г/1,2), де відбувається нейтралізація кислоти, що утворилася при частковому розкладанні амселітри у випарному апараті, аміаком.

З гідрозатвора-донецитралізатора (поз.3г/1,2) плав по колектору надходить в кільцевий розподільник випарного апарату з падаючою плівкою (поз. 4г). Плав потрапляє на розподільні грати апарату і рівномірно, тонкою плівкою, стікає по внутрішній поверхні трубок зверху вниз.

Збільшення концентрації плаву відбувається за рахунок процесу масопередачі між гарячим повітрям, що протитечією поступає по трубках з температурою 180- 190°C, і плавом.

За низької відносної вологості повітря поглинає воду з плаву. Температура плаву підтримується паром, що подається в міжтрубний простір з тиском не більше 1,3 МПа (13 кгс/см<sup>2</sup>) (поз.РІ-12) і температурою 190-200°C.

Повітря нагрівається в підігрівачах повітря (поз.5г/1,2) до температури 180-190°C (поз.ТРАН-1е) вологою паром з тиском не більше 1,3 МПа (13 кгс/см<sup>2</sup>) і температурою не більш 190-200°C.

Пара надходить в корп.712ж з мережі підприємства з тиском не менше 1,5 МПа (15 кгс/см<sup>2</sup>), автоматичне редукується клапаном до тиску не більше 1,3 МПа (13 кгс/см<sup>2</sup>) і надходить в парозволожувач (поз.11г).

Рівень конденсату в парозволожувачі (поз.11г) (поз.LRC-10) в межах 400-700 мм підтримується автоматично.

Зволожена пара з тиском не більше 1,3 МПа (13 кгс/см<sup>2</sup>) (поз.РІ-55) і температурою 190-200°C (поз.ТР-1С) подається у випарний апарат з падаючою плівкою (поз.4г) і підігрівачі повітря (поз.5г/1,2).

Паровий конденсат з випарного апарату з падаючою плівкою надходить в парозволожувач (поз.55г) до або в розширювач конденсату (поз.52).

З середньої частини випарного апарату з падаючою плівкою плав надходить в нижню доупарювальну частину, призначену для доупарювання плаву до масової частки NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> не нижче 99,5% за рахунок масообміну між плавом і гарячим повітрям.

Доупарювання забезпечена двома тарілками провального типу з розташованими на них змійовиками, в які подається пара тиском не більше

1,3 МПа (13 кгс/см<sup>2</sup>). Конструкція тарілок забезпечує утворення стійкого пінного режиму і, отже, досягнення інтенсивної масопередачі.

Повітря забирається з атмосфери і вентилятором (поз. 6г/1,2) через підігрівачі повітря (поз. 5г) подається у випарний апарат з падаючою плівкою (поз.4г).

Тиск повітря на нагнітанні вентиляторів (поз.6г/1,2) не більше 0,006 МПа (600 мм вод.ст.) (поз.РІ-2).

Пароповітряна суміш з середньої частини випарного апарату з падаючою плівкою з температурою 140-170°C (поз.ТРАН-1б) надходить у верхню очисну частину, призначену для відділення бризок амселітри від пароповітряної суміші, звідки надходить в скруббер-сепаратор (поз.12г).

У змішувачі скрубера-сепаратора в результаті інтенсивної взаємодії газового потоку і зрошуючого розчину відбувається насичення вологою газу, зниження температури потоку з 170°C до 80°C, зволоження і укрупнення частинок аміачної селітри. Далі потік проходить через пакет вертикально розташованих рамок з намотаними на них сітчастими металевими рукавами. Рамки рясно зрошуються слабким розчином амселітри. Потім потік прямує в сепаратор, де під дією інерційних і гравітаційних сил відбувається відділення бризок розчину амселітри.

З скрубера-сепаратора (поз. 12г) пароповітряна суміш надходить в апарат уловлювання аерозолів амселітри (поз. 13г).

Уловлювання аерозолів амселітри відбувається на фільтрі, що складається з двох чохлаів іглопробивного скловолокна надітих на каркас, що фільтрує. Між фільтрами встановлений розділовий каркас.

Температура пароповітряної суміші в апараті для уловлювання аерозолів амселітри (поз.13г) має бути не більш 80°C (поз.ТРАН-1ж).

На барботажній тарілці апарату аерозольного очищення (поз.13г) відбувається уловлювання амміака з пароповітряної суміші. На барботажну тарілку подається розчин амселітри з масовою концентрацією амселітри не більше 200 г/дм<sup>3</sup> (поз.ГО-355/2) із збірник (поз.44г) насосом (поз.47г/1,2).



Тиск розчину амселітри на лінії нагнітання насоса (поз.47г/1,2) не менше 0,15 МПа (1,5 кгс/см<sup>2</sup>).

Для підтримки масової концентрації амселітри в циркуляційному розчині не більше 200 г/дм<sup>3</sup> в збірник (поз.44г) подається конденсат сокової пари з лінії нагнітання відцентрових насосів (поз.43г/1,2).

Частина розчину виводиться з системи подачею слабкого розчину амселітри в промивач (поз. 9г) і в збірник упареного розчину через переливну лінію з напірного бака (поз.1г).

Передбачені аналізні точки для контролю пароповітряної суміші на виході з випарного апарату з падаючою плівкою (поз.ГО-360/2) і виході з апарату для уловлювання аерозолів амселітри (поз.ГО-365/2). Масова концентрація аміаку в пароповітряній суміші на виході з апарату для уловлювання аерозолів амселітри – не більше 200 мг/м<sup>3</sup>, амселітри – не більше 160 мг/м<sup>3</sup>.

З нижньої частини випарного апарату з падаючою плівкою (поз.4г ) плав амселітри по трубопроводу з температурою 170-185°С (поз.ТІРАНЛ-1Д) надходить в нейтралізатор плаву (поз. 7г).

Для нейтралізації плаву в нейтралізатор (поз.7г)подається газоподібний аміак.

Для ведення оптимального технологічного процесу в нейтралізаторі (поз.7г) передбачена система контролю і автоматичного регулювання процесу нейтралізації (СРН) (поз.QRC-7г)

СРН забезпечує вимірювання концентрації надмірної азотної кислоти і аміаку в нейтралізаторі і здійснює регулювання процесу нейтралізації шляхом зміни подачі аміаку з метою економного витрачання аміаку, а також безпечного ведення технологічного процесу, зниження корозійних руйнувань устаткування і зниження викидів в навколишнє середовище.

З нейтралізатора плаву (поз.7г) плав по трубопроводах надходить в бак фільтрів, проходить через фільтри і надходить на відцентровий гранулятор .

Масова частка амселітри в плаві має бути не менше 99,5%, аміаку – не більше 0,05%, азотної кислоти – не більше 0,02%, масова концентрація масла – не більше 7 міліграма/кг (поз.ГО-394/2).

Передбачено блокування при перевищенні температури плаву зверху 190°C (поз.ТRSH-1Д) .

Для промивки устаткування і комунікацій від плаву при зупинках є схема подачі конденсату сокової пари з бака конденсату (поз. 14г) в сепаратори випарних апаратів (поз. 2г/1,2), в свічку випарного апарату з падаючою плівкою (поз. 4г), в лінії подачі упареного розчину з напірного бака (поз. 1г), у випарні апарати (поз. 2г/1,2).

Конденсат сокової пари з лінії нагнітання насосів (поз. 43г/1,2) подається в бак для промивки фільтрів (поз. 40г), в бак кислого розчину (поз. 48г), в збірник для розчину амселітри (поз. 44г), в скруббер-сепаратор (поз. 12г), для промивки ліній нагнітання насосів упарених щелоків (поз. 64/1,2).

Для промивки тепломасообмінних поверхонь випарних апаратів (поз. 2г/1,2, 4г) є схема циркуляції кислого розчину з бака кислого розчину (поз. 48г) відцентровим насосом (поз. 49г).

Промивка випарних апаратів (поз. 2г/1,2) проводиться від низу до верху. Кислий розчин подається в нижню частину апарату, надходить в сепаратор і з сепаратора прямує в бак кислого розчину (поз. 48г) через зливну воронку.

Випарний апарат (поз. 4г) промивається зверху вниз. Кислий розчин подається на розподільну тарілку, стікає вниз, промиває трубки і тарілки і прямує в бак кислого розчину (поз. 48г).

Для запобігання попаданню пари кислоти в підігрівачі повітря (поз. 5г/1,2) вентилятор відцентровий (поз. 6г/1,2) повинен працювати.

Кислий розчин для промивки готується в баку кислого розчину (поз. 48г). Бак (поз. 48г) заповнюється конденсатом до 60% об'єму і подачею азотної кислоти, кислотність доводиться до 180-300 г/дм<sup>3</sup> HNO<sub>3</sub>.

Азотна кислота в бак кислого конденсату (поз.48г) і збірник (поз.44г) подається з цеху №5/6 по напірному колектору.

Розчин з бака кислого розчину (поз. 48г), з ємності для промивки фільтрів (поз. 40г), з нейтралізатора плаву (поз. 7г), залишки розчину після промивки випарного апарату (поз. 4г) прямують у відстійник магнезитової витяжки. У цю ж лінію зливається кислота з дренажу на лінії азотної кислоти гранбашні №4.

Плав амселітри з нейтралізаторів плаву (поз. 7г) подається у відцентровий гранулятор.

Струмінь плаву, що виходить з отворів гранулятора, набуває хвилеподібної форми, дробиться і під дією сил поверхневого натягнення утворюються краплі. Для рівномірного дроблення струменя застосовується пневматичний вібратор. Краплі плаву при падінні з висоти обдуваються протитечією холодного повітря, що створюється витяжними вентиляторами, застигають, формуються в гранули, при цьому вони злегка просушуються, якщо відносна вологість повітря нижче 70%.

Протікаючий процес називається гранулюванням.

Процес охолодження гранул амселітри на гранбашнях протікає таким чином:

У нижній частині гранбашні встановлений апарат охолодження гранул амселітри в «киплячому» шарі. Під грати подається відцентровими вентиляторами повітря.

На гранбашні встановлені осьові вентилятори з вихлопними трубами.

Вивантаження амселітри з апарату охолодження на стрічкових конвеєрах проводиться через тічку в центрі грат.

Розміри і якість гранул залежать від температури плаву, умов протікання процесу гранулювання і наявності в плаві амселітри домішок, які сприяють зміні структури кристалів амселітри.

Розміри і форма гранул залежать від:

а) окружні швидкості гранулятора

- б) розміру отворів корзини гранулятора
- в) температури, концентрації і середовища плаву
- г) рівня плаву в грануляторі
- д) роботи вібратора.

### 2.3 Характеристика сировини й готового продукту

**Аміак**  $\text{NH}_3$  (молекулярна вага 17,03) при атмосферному тиску й звичайній температурі – безбарвний газ, що відрізняється характерним гострим запахом; він майже в 1,7 рази легше повітря. При нормальних умовах ( $0^\circ\text{C}$  и 760 мм рт. ст.)  $1 \text{ м}^3$  газоподібного аміаку важить 0,771 кг.

Аміак, охолоджений при атмосферному тиску до температури нижче  $-33,4^\circ\text{C}$  або стислий при  $15^\circ\text{C}$  під тиском вище  $7,5 \text{ кгс/см}^2$ , перетворюється в безбарвну рідину. При температурі  $-77,7^\circ\text{C}$  рідкий аміак затвердіє, кристалізуючись у безбарвну масу зі слабким запахом.

При нормальних умовах 1 кг рідкого аміаку утворить більше 1300 л газу.

При звичайній температурі в 1 об'ємі води розчиняється більше 700 об'ємів аміаку. Зі збільшенням тиску розчинність аміаку сильно зростає, з підвищенням температури - зменшується.

Аміак ставиться до досить активних хімічних сполук.

У звичайних умовах аміак стійкий до дії окислювачів. На повітрі аміак не горить. При  $650^\circ\text{C}$  аміак здатний самозайматися.

Для виробництва аміачної селітри застосовується газоподібний аміак, одержуваний з рідкого аміаку. Масова концентрація масла в газоподібному аміаку не більше  $22 \text{ мг/м}^3$ , об'ємна частка інертів (водень, метан, аргон і ін.) не більше 1,0%. Температура аміаку на вході в цех не менш  $10^\circ\text{C}$ , тиск

$0,17 - 0,25 \text{ МПа}$  ( $1,7 - 2,5 \text{ кгс/см}^2$ ).

**Азотна кислота** (молекулярна вага 63,01). Безводна азотна кислота при звичайній температурі являє собою безбарвну рідину з їдким ядушливим запахом; вона кипить при  $86^\circ\text{C}$ , замерзає при  $-41^\circ\text{C}$  з утворенням білих кристалів. Густина  $\text{HNO}_3$  при  $15^\circ\text{C}$  дорівнює  $1,522 \text{ г/см}^3$ .

На повітрі безводна кислота «кипить», тому що її пари утворюють із вологою повітря дрібні крапельки туману. З водою азотна кислота змішується в будь-яких кількостях.

Температура кипіння водних розчинів азотної кислоти підвищується зі збільшенням її концентрації, досягаючи максимального значення 121,9<sup>0</sup>С при вмісті 68,4 % HNO<sub>3</sub> і атмосферному тиску; з подальшим підвищенням концентрації температура кипіння знижується. Азотна кислота має сильні окисні властивості. У процесі окислювання відбувається її розкладання, ступінь якого сильно залежить від температури.

У виробництві аміачної селітри застосовується кислота з масовою часткою не менш 58 %. Масова концентрація іонів хлору повинна бути не більше 20 мг/дм<sup>3</sup>, зміст розчинених оксидів азоту не більше 0,1 %. Тиск азотної кислоти на вході в цех не менш 0,4 МПа (4,0 кгс/см<sup>2</sup>), температура – не більше 45 °С.

Характеристика аміачної селітри наведена в наступній таблиці.

Таблиця 2.1 - Фізико-хімічні властивості аміачної селітри

Назва властивості й одиниця виміру	Значення фізичної величини із граничними відхиленнями	Джерело інформації
1	2	3
Молекулярна маса Густина т/м <sup>3</sup> щира насипна при вологості гранульованого продукту 1% і 20 °С	80,043  1,690-1,725	Довідник азотчика видання 2-ге, стор. 142

при щільному	1,164	
впакуванні при нещільному	0,826	
впакуванні	169,6	
Температура плавлення, °C	73,21	
Теплота плавлення, Кдж/кг	365,6	
Теплота утворення, (крис-талчіної, форми 1В) при 25°C и 0,101 Мпа, Кдж/моль.		

Гігроскопічність селітри аміачної - одна з основних негативних властивостей і є однією із причин її злеживаємості. Селітра аміачна сильно злежується, гублячи сипкість при зберіганні, а за певних умов навіть перетворюється в монолітну масу, із працею підлягаючому роздрібненню.

Злеживаємість селітри аміачної викликається багатьма причинами, основними з яких є:

- підвищення вологи в готовому продукті,
- неоднорідність і механічна неміцність гранул,
- зміна кристалічних модифікацій солі,
- гідроскопічність.

Для зменшення впливу гігроскопічності аміачної селітри на її злеживаємість найбільш ефективною мірою є впакування продукту в поліетиленову тару. Крім того, у цеху для зменшення злеживаємості в селітру аміачну вводять магнезитову добавку, приготовлену в лужному середовищі із рН 7,02-8,0.

З метою збільшення строку зберігання аміачної селітри застосовується антизлеживаюча добавка NowoFlov 99056 (поставка фірми Holland Novochem B.V.)

Селітра аміачна випускається за ГОСТ 2-85 з изм. 1, 2, 3 .

Таблиця 2.2 – Характеристика аміачної селітри

Найменування показника	Норма для марки			
	А	Б		
		ви щий сорт	пе рший сорт	др угий сорт
1	2	3	4	5
1. Сумарна масова частка нітратного й амонійного азоту в перерахуванні на $\text{NH}_4\text{NO}_3$ у сухій речовині, %, не менш	98,0	Не нормується		
на азот у сухій речовині, %, не менш	Не норм.	34,4	34,4	34,0
2. Масова частка води, %, не більше	0,3	0,3	0,3	0,3
3. рН 10%-ого водяного розчину, не менш	5,0	5,0	5,0	5,0
4. Масова частка речовин, не розчинних в 10%-ом розчині азотної кислоти, %, не більше	0,2	Не нормується		

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

5. Гранулометрична сполука: масова частка гранул розміром від 1 до 3 мм, %, не менш	93	Не нормується		
масова частка гранул розміром від 1 до 4 мм, %, не менш	95	Не норм.	95	95
у тому числі: гранул розміром від 2 до 4 мм, %, не менш	Не норм.	80	50	Не
масова частка гранул розміром менш 1 мм, %, не більше	4	норм		
масова частка гранул розміром більше 6 мм, %,	4	3	3	
6. Статична міцність гранул Н/гранулу (кг/гранулу), не менш	0,0	0,0	0,0	
с добавками нітратів кальцію й магнію				
7. Розсипчастість, %, не менш		(8,0) 0,8		
	100	100	100	
	100			



### 3 Конструкція та принцип дії апарата

Випарний апарат призначений для випаровування плаву аміачної селітри парою і підігрітим повітрям з підігрівачів повітря. Випарний апарат є зварним вертикальним циліндровим апаратом що складається (рис. 3.1) з: сепаратора 1, гріючої камери 2 з приварними фланцями і трубними решітками, в які в вальцовані 259(шт) теплообмінні трубки 3, нижні кінці труб обладнані хвостовиками, які знімаються з косим зрізом і розсіченням рідинної плівки, які збирають стікаючу рідину і забезпечують плавний вхід повітря в трубу без утворення бризок, нижньої камери 6. У нижній камері встановлено дві сітчасті тарілки 5 над якими розташовані змійовики 4 . Гаряче повітря, яке подається з нижньої частини апарата протитечією у трубу, потрапляє під нижню трубну дошку проходячи крізь сітчасті тарілки 5 і змійовики розташовані в нижній камері 6 випарного апарата. Пароповітряна суміш, яка утворюється при довипарюванні, проходить крізь сепаратор 1 у якому розташований сітчастий відбійник 7, що стримує краплі аміачної селітри і викидається в атмосферу. Концентрований розчин виводиться із апарата через штуцер. До корпусу гріючої камери приварені опори . Кріплення кришки і люка-лазу здійснюється за допомогою шпильок і гайок. Вхід і вихід плаву аміачної селітри здійснюється через штуцера, приварені в днище сепаратора. Вхід і вихід теплоносія проводиться крізь вварені в корпус гріючої камери штуцери.

Підвищення витрат повітря приводить до зростання концентрації плаву, причому приріст концентрації більш помітний при упарюванні слабких початкових розчинів. При випарюванні розчинів аміачної селітри концентрацією 98 % та вище зміна тиску пари, що гріє, в межах 0,9-1,3 МПа практично не впливає на кінцеву концентрацію плаву, але дані щодо випарювання менш концентрованих розчинів (87 %) показали, що залежність концентрації плаву від тиску пари, що гріє, в цьому разі стає суттєвою. Головним завданням при розрахунку процесу випарювання розчинів аміачної

селітри є: визначення кінцевої концентрації розчину або, при заданому її рівні, визначення поверхні апарата.

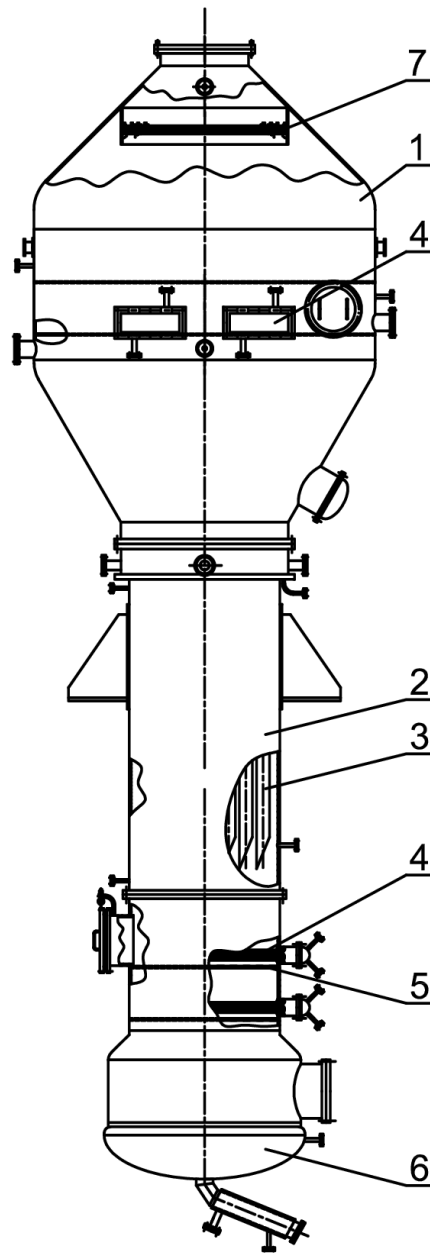


Рисунок 3.1 - Випарний апарат

1 - сепаратор; 2 – грюоча камера; 3 – теплообмінні трубки; 4 - змійовик;  
5 - сітчасті тарілки; 6 – нижня камера; 7 – відбійник сітчастий.

#### 4 Вибір основних конструкційних матеріалів

Матеріали, призначені для виготовлення вузлів деталей апарата повинні задовольняти комплексу вимог, обумовлених конструкцією, технологією виготовлення й умовами експлуатації апарата.

При виборі матеріалу варто враховувати наступні показники:

- теплопровідність;
- коефіцієнт лінійного розширення;
- стійкість проти хімічної й електрохімічної корозії;
- стійкість проти ерозії;
- пористість матеріалу;
- зміна властивостей при термічній обробці;
- пластичність;
- зварюваність;
- вартість матеріалу й дефіцитність.

У нашому випадку визначальним фактором є стійкість проти хімічної й електрохімічної корозії. З урахуванням властивостей середовища, (азотної кислоти, гарячих розчинів аміачної селітри, аміаку і других речовин). Для виготовлення апарата приймаємо аустенітні сталі.

Матеріал для виготовлення корпусу, кришки

- сталь 12X18H10T ГОСТ 5632-72

Матеріал для виготовлення сітчастих тарілок

- сталь 12X18H10T ГОСТ 5632-72

Матеріал для виготовлення сітчастого відбійника

- сталь 12X18H10T ГОСТ 5632-72

Матеріал для виготовлення змійовиків і патрубків

38X18H1 відповідно до ГОСТ 5632-72 і ТУ 3-1391-85.

Матеріал труб для виготовлення патрубків штуцерів корпусу

- сталь 12X18H10T ГОСТ 5632-72

Матеріал трубопровідних фланців

-сталь 12Х18Н10Т ГОСТ 5632-72

Матеріал апаратних фланців

-сталь 12Х18Н10Т ГОСТ 5632-72

Матеріал кріпильних виробів для фланцевих з'єднань :

Для болтів - сталь 12Х18Н10Т ГОСТ 5632-72

Для гайок - сталь 12Х18Н10Т ГОСТ 5632-72

Матеріал прокладок - пароніт ПОН ГОСТ 481-80.

Матеріал цапф для стропових пристроїв

- сталь 12Х18Н10Т ГОСТ 5632-72

Матеріал опор

- сталь 12Х18Н10Т ГОСТ 5632-72

## 5 Параметричні розрахунки апарата

### 5.1 Матеріальний баланс

Кількість розчину, що поступає у випарний апарат з концентрацією 93% (кг/г) 60009

Концентрація плаву на виході з випарного апарату (%) 99,5

Продуктивність установки (т/рік) 453 000

Річний фонд робочого часу (рік) 8424

Продуктивність по аміачній селітрі

$$G_1 = \frac{455000 \cdot 10^3}{8424} = 55793 \text{ кг \textbackslash рік}$$

Матеріальний розрахунок стадії кристалізації

Кількість аміачної селітри надходить з вежі

$(55793 \cdot 100) / 99,95 = 56636,2$  кг/г.

Кількість випарювальної води:

$60009 - 56636,2 = 3372,8$  кг/г.

Таблиця 5.1 – Матеріальний баланс випарювання

Прихід	кг/г	Витрата	кг/г
Плав:		Кріст. продукт	
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	55793	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	55793
H <sub>2</sub> O	4126	H <sub>2</sub> O	843,2
		Разом:	56636,2
		Пари води	3372,8
Всього:	60009	Всього:	60009

## 5.2 Технологічний розрахунок

Матеріал - сталь марок 08Х22Н6Т, 12Х18Н10Т. Тиск в міжтрубному просторі трубчастої частини і в змійовиках - 1,6 МПа.

### Розрахунок випарного апарату

Із апаратів ВТН подається 93 %-ний розчин аміачної селітри з температурою 160 °С в кількості 64662,8 кг/годин.

Концентрація плаву аміачної селітри, який виходить із випарного апарата - 99,8 %.

Температура плаву -180 °С.

Кількість повітря, яке подається в випарний апарат - 25000 кг/годин.

Температура повітря - 180 °С.

Пара, що гріє - насичена водяна пара: тиск - 1,275 МПа;  
температура -190,7 °С.

Приймаємо, що атмосферне повітря має температуру 0 °С і відносну вологість 100 %. При цих умовах вологовміст  $d$  становить 0,00385 кг/годин

Таким чином, склад повітря буде такий:

сухе повітря - 24904 кг/годин

H<sub>2</sub>O – 96 кг/годин.

За практичними даними, втрати аміачної селітри з повітрям, яке виходить із трубчатки, ~ 10 г/м<sup>3</sup>, а із випарного апарата становлять 2 г/м<sup>3</sup> сухого повітря

Об'єм сухого повітря в робочих умовах при 180 °С:

$$V_{p.y.} = 24904 \cdot (273 + 180) / 1,293 \cdot 273 = 24200 \text{ м}^3/\text{годину}$$

де 1,293 - питома вага повітря, кг/м<sup>3</sup>.

Тоді втрати аміачної селітри з сухим повітрям із трубчатки складають:

$$31960 \cdot 0,01 = 319 \text{ кг/годин}$$

Об'єм повітря на вході з випарного апарата (приймаємо температуру повітря на виході із нього 70 °С):

$$V_{p.y.} = 24904 \cdot (273 + 70) / 1,293 \cdot 273 = 24200 \text{ м}^3/\text{Г}$$

Втрати аміачної селітри, яка виноситься з повітрям із випарного

апарата:

$24200 \cdot 0,002 = 48$  кг/годин, залишається:

$319 - 48 = 271$  кг/годин.

Приймаємо, що із цієї кількості селітри (271 кг/годин) на промивних тарілках

утворюється 65 %-ний розчин  $\text{NH}_4\text{NO}_3$

$271/0,65=417$  кг/годин, в якому міститься води 146 кг/годин.

Цей розчин повертається в трубчасту частину апарата. Концентрація розчину, який подається на випарку після розчинення, - 92,8 %. Умовно розіб'ємо випарний апарат на три частини: трубчасту, де відбувається випарювання розчину аміачної селітри від 92,8 до 99,5 %  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ; концентраційну (тарілчасту), де розчин випарюється від 99,5 до 99,8 %  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ; і промивну, де відбувається очистка пароповітряної суміші від домішок  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ .

Враховуючи втрати з повітрям 48 кг/годині за рахунок розладу  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  - 60 кг/годин, 93 %- розчин аміачної селітри буде містити:  $55793 - 48 - 60 = 55685$  кг/годин,  $\text{H}_2\text{O} = 4518$  кг/годин.

З врахуванням розбавлення 65 %- розчином із промивника на випарку надходить 92,8 %- розчин у кількості

$55685/0,998=55796$  кг/годин

у тому числі:  $\text{NH}_3 + \text{HNO}_3 = \text{NH}_4\text{NO}_3 - 55685$  кг/годин і  $\text{H}_2\text{O} - 302$  кг/годин. Кількість води, яка випарилась в трубчастій частині:  $4657 - 302 = 4355$  кг/годин.

Із тарілчастої нижньої частини випарного апарату виходить розчин аміачної селітри концентрацією 99,8 %  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  в кількості:

$55685/0,998=55796$  кг/годин

Кількість води, яка випарилась на тарілках:

$302 - 120 = 182$  кг/годин.

В трубчастій частині випарного апарата розчин аміачної селітри випарюється за рахунок процесу теплообміну і масообміну між розчином

аміачної селітри і ненасиченим гарячим повітрям під тиском, близьким до атмосферного.

Розглядаючи трубку окремо, умовно розкладаємо її на дві зони по висоті трубки. Враховуємо, що поверхня верхньої частини трубки (І зона) працює тільки на теплопередачу з випарюванням води в рівноважній фазі, нижня частина трубки (ІІ зона) працює на масообмін. Масообмін протікає при постійній температурі, рівній температурі розчину, який виходить із І зони.

Приймаємо температуру розчину, який виходить із І зони, рівною 180 °С. їй відповідає 96 %- концентрація розчину аміачної селітри [4].

В І зоні випарюється води від 92,8 до 96 %:

$$W_1 = 55685 \cdot \left( \frac{1000}{0.928} - \frac{1000}{0.96} \right) = 55685 \cdot 35.9 = 2000 \text{ кг/годин}$$

В ІІ зоні випарюється води від 96 % до 99,5 %:

$$W_1 = 55685 \cdot \left( \frac{1000}{0.96} - \frac{1000}{0.995} \right) = 55685 \cdot 36,65 = 2041 \text{ кг/годин}$$

### Розрахунок І зони випарки

Поверхня теплообміну:

$$F_1 = \frac{Q_1}{K \cdot \Delta t}$$

де  $Q_i$  - тепло, підведене в І зону, кДж/годину;

$K$ - коефіцієнт теплопередачі,  $\Delta$  - середня різниця температур, °С .

Середня різниця температур:

$$190,7 \text{ °С-пара} \rightarrow 190,7 \text{ °С}$$

$$160 \text{ °С-розчин} \rightarrow 180 \text{ °С}$$

$$\Delta t_B = 30,7 \text{ °С} \quad \Delta t_M = 10,7 \text{ °С}$$

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{30,7 - 10,7}{2,3 \cdot \lg \frac{30,7}{10,7}} = 19 \text{ °С}$$

Коефіцієнт теплопередачі

Для розрахунку приймається випарний апарат з трубками  $\text{Ø}56 \times 3 \text{ мм}$ , = 721 шт.,  $L = 6000 \text{ мм}$



а) товщина плівки рідини , яка стікає по трубках апарата

$$\delta_i = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot \tilde{\alpha} \cdot \mu}{\gamma^2 \cdot \delta \cdot g}}$$

де  $\gamma$  – густина зрощування, кг/годин.

$$\Gamma = \frac{G}{3600 \cdot n \cdot \pi \cdot d}$$

$$G = 55685 / 0.944 = 58988 \text{ кг/годин.}$$

$$\Delta t_{\text{пд\ddot{a}}} = \frac{160 + 180}{2} = 170 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\gamma = 1400 \text{ кг/м}^3$$

$$\mu = 2.96 \cdot 10^{-3} \text{ н}\cdot\text{с/м}^2$$

Тоді

$$\delta_i = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 0.156 \cdot 2.96 \cdot 10^{-3}}{1400^2 \cdot 9.8}}$$

б) коефіцієнт теплопровідності плівки

$$\lambda_{\text{пл}} = A \cdot C \cdot \gamma \cdot \sqrt[3]{\frac{\gamma}{M}}$$

де  $A = 3,58 \cdot 10^{-6}$  для асоційованих рідин;

$C = 1,825$  кДж/кг град при середній концентрації  $\text{NH}_4\text{NO}_3 = 94,4 \%$ ;

$$\lambda_{\text{пл}} = 3,58 \cdot 10^{-3} \cdot 1.825 \cdot 10^{-3} \cdot 1400 \cdot \sqrt[3]{\frac{1400}{76.53}} = 0.241 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$$

в) І зону трубки випарного апарата можна розбити на дві ділянки: Перша ділянка нагрівання розчину до температури кипіння 96 %-го розчину аміачної селітри (180 °С).

В цьому випадку коефіцієнт тепловіддачі розраховується за формулою, яку запропонував Нуссельт для примусової ламінарної течії плівки, що має місце в пропонованому апараті ( $\text{Re} = 300$ ).

$$N_u = \frac{\alpha \cdot D}{\lambda} = 4,12$$

де

$\alpha$  - коефіцієнт теплопередачі, ВТ/(м<sup>2</sup>·К);

$D$  - подвійна товщина плівки, м;

$\lambda$  - коефіцієнт теплопровідності плівки, ВТ/(м<sup>2</sup>·К);

$$\alpha = 4,12 \cdot 0,241 / 2 \cdot 0,00041 = 1211 \text{ ВТ/(м}^2 \cdot \text{К)};$$

Ділянка кипіння розчину

Приймаємо

$$K = 1200 \text{ ВТ/(м}^2 \cdot \text{К)};$$

розчином аміачної селітри концентрацією 92,8 %.

$$Q_1 = q_1 \cdot C_1 \cdot t_1 = 60005 \cdot 1,863 - 160 = 17886290 \text{ кДж/годину},$$

Де  $q_1 = 55685 / 0,928 = 60005$  кількість розчину аміачної селітри, кг/годину,

1,863 - питома теплоємність 92,8 % розчину аміачної селітри, кДж/(кг · град);

160 - температура розчину аміачної селітри, °С.

*Витрати тепла:*

З розчином аміачної селітри концентрацією **96 %**:

$$Q_1 = q'_1 \cdot C'_1 \cdot t'_1 = 60005 \cdot 1,8 \cdot 180 = 19441620 \text{ кДж/годин},$$

Де  $q'_1 = 55685 / 0,928 = 60005$  кількість розчину аміачної селітри, який виходить із I зони,

1,8 - питома теплоємність 96 %- розчину аміачної селітри, кДж/кг - град;

180 - температура розчину, який виходить із I зони, °С.

$$Q'_1 = W_1 \cdot i = 2000 \cdot 2835,3 = 5670600 \text{ кДж/годин},$$

де  $W_1 = 2000$  кількість випареної води, кг/годин;

$i = 2835,3$  - тепловміст перегрітої пари при 180 °С, кДж/кг.

Загальні витрати тепла:

$$\Sigma Q_{\text{витр}} = Q'_1 + Q'_2 = 19441620 + 5670600 = 25112220 \text{ кДж/годину}.$$

Визначимо тепло, яке приноситься з парою, що гріє:

$$Q_2 = \sum Q_{\text{витр}} - Q_1 = 25112220 - 17886290 = 7091051 \text{ кДж/годину,}$$

(або  $Q_2 = 1683668 \text{ Вт}$ ).

Витрати пари, що гріє:

$$g_{\text{п}} = Q_2 / r = 7091051 / 1976 = 3589 \text{ кг/годину;}$$

де  $r = 1976$  - тепловміст пари при 1,275 МПа і 190,7 °С, кДж/кг.

Поверхня теплообміну (І зона)

$$F_1 = Q_2 / K \cdot \Delta t_{\text{ср}} = 16833668 / 1200 \cdot 19 = 73,8 \text{ м}^2$$

### Розрахунок ІІ зони випарки

Поверхня масообміну

$$F_2 = \frac{W_2}{K \cdot \Delta C_{\text{ср}}}$$

де  $W_2$  - кількість води, яка випарилась у ІІ зоні, кг/годин;

$K$  - коефіцієнт масо передачі;

$\Delta C$  - середня різниця вологовмісту, кг/м<sup>3</sup>.

Середня різниця вологовмісту

$C_1$  і  $C_3$  - концентрації водяної пари над розчином аміачної селітри, який входить і виходить, відповідно;

$C_2$  і  $C_4$  - концентрації водяної пари в пароповітряній суміші, яка входить у ІІ зону і виходить з неї, відповідно.

Рівноважна концентрація водяної пари над 96 %-ним розчином аміачної селітри, який входить у ІІ зону:

$$Q_1 = \frac{0.405 \cdot P^{0.9}}{T} \cdot X$$

$P$  - тиск водяної пари над чистою водою, мм. рт. ст.

$X$  - кількість (вміст) води в розчині, мольна доля;

$T$  - температура процесу, К.

$$P = 0,973 \text{ МПА} = 9,92\text{-}760\text{-}7539,2 \text{ мм.рт.ст.овба } 180 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Формула і розрахунок масообміну наведені для умов випарки чистого плаву:

$$X = \frac{\frac{0.04}{18}}{\frac{0.04}{18} + \frac{0.96}{80}} = 0.156 \text{ мол. частки } \text{H}_2\text{O};$$

$$C_1 = \frac{0.405 \cdot 7539.2^{0.9}}{(273 + 180)} \cdot 0.156 = \frac{0.405 \cdot 3090}{453} \cdot 0.156 = 0.431 \text{ кг/м}^3$$

Рівноважна концентрація водяної пари над 99,5 %- розчином аміачної селітри, який виходить із II зони:

$$X = \frac{\frac{0.005}{18}}{\frac{0.005}{18} + \frac{0.995}{80}} = 0.022 \text{ мол. долі } \text{H}_2\text{O};$$

$$C_1 = \frac{0.405 \cdot 7539.2^{0.9}}{(273 + 180)} \cdot 0.022 = 0.0608 \text{ кг/м}^3$$

Концентрація водяної пари в пароповітряній суміші, яка входить в II зону.

В апарат подається 25000 кг/годин повітря з температурою 180 °С, в тому числі сухого повітря - 24904 кг/годин і Н<sub>2</sub>О - 96 кг/годин.

На тарілках випарюється 182 кг/годин.

Об'єм суміші на вході в II зону:

$$24904/0.779 + (96 + 182) \cdot 2.12 = 32558 \text{ м}^3/\text{годин},$$

де 0,779 - питома вага сухого повітря при 180 °С, кг/м<sup>3</sup>;

2,12 - питома вага пари при 180 °С і 0,0981 МПа.

Концентрація водяної пари в пароповітряній суміші:

$$C_{II} = (96 + 182) / 32558 = 0,00853 \text{ кг/м}^3$$

Об'єм суміші на виході із II зони:

$$24904 / 0,779 + (96 + 182 + 2200) \cdot 2,12 = 37222 \text{ м}^3/\text{годину}$$

де 2200 - кількість води, випареної в II зоні, кг/годину;

Концентрація парів води в пароповітряній суміші, яка виходить із II зони:

$$C_2 = \frac{96 + 182 + 2200}{37222} = 0,0666 \text{ кг/м}^3$$

Середня різниця вологовмісту:

$C_1$ розчин -----> $C_3$	0,431 -----> 0,0608
$C_2$ повітря <----- $C_4$	<u>0,0666</u> <----- <u>0,0853</u>
	0,3644                      0,05227

$$\Delta C_{\text{н\ddot{a}д}} = \frac{0,3644 - 0,05227}{2,3 \cdot \lg \frac{0,3644}{0,05227}} = 0,1609$$

Поверхня масообміну:

$$F_2 = \frac{W_2}{K \cdot \Delta C_{\text{н\ddot{a}д}}} = \frac{2200}{27 \cdot 0,1609} = 506,4 \text{ м}^2$$

де  $W_2 = 2200$  - кількість випареної води в II зоні, кг/годину;

$K = 27$  - коефіцієнт масопередачі

### 5.3 Тепловий баланс II зони

*Прихід тепла:*

1. З розчином аміачної селітри концентрацією 96 %:

$$Q_1 = q_1 \cdot C_1 \cdot t_1 = 62531 \cdot 1,8 \cdot 180 = 20260044 \text{ кДж/кг.}$$

де  $q_1 = 62531$  - кількість розчину, який надходить у II зону, кг/годин;

$C_1=1,8$  - питома теплоємність 96 %- розчину аміачної селітри,

$t_1=180$  - температура розчину в II зоні, °С.

З парою, що гріє (розраховується після визначення загальної кількості витрат тепла),  $Q_2$ .

*Витрати тепла:*

1. З розчином аміачної селітри концентрацією 99,5 %

$$Q'_1 = 60332 \cdot 1,8 \cdot 180 = 19547568 \text{ кДж/годин}$$

де 60332 - кількість розчину, який виходить із трубчастої частини II зони, кг/годин.

*Загальні витрати тепла:*

$$\sum Q_{\text{витр}} = 19547568 + 6236340 = 5523864 \text{ кДж/кг.}$$

Тепло, яке приноситься з парою, що гріє:

$$Q_2 = 25783908 - 20260044 = 5523864 \text{ кДж/годин}$$

*Витрати пари:*

$$q_{\text{пар}} = \frac{Q_2}{r} = \frac{5523864}{1976} = 2796 \text{ кг/годин}$$

де  $r = 1976$ -тепловміст насиченої пари при 1,275 МПа і 190,7 °С,

Сумарна поверхня трубчастої частини I та II зон:

$$F_{\text{сум}} = F_1 + F_2 = 73,8 + 506,4 = 580,2 \text{ м}^2.$$

Запас поверхні:

$$\%_{\text{зап}} = \frac{662 - 580,2}{580,2} = 14,0$$

Загальні втрати пари в трубчастій частині I та II зон:

$$q_{\text{пар}} = 3589 + 2796 = 6385 \text{ кг/годин.}$$

З урахуванням 5 % тепловтрат:

$$q_{\text{пар}} = 6385 \cdot 1,05 = 6704 \text{ кг/годин.}$$

### Розрахунок концентраційної (тарілчастої) частини апарата

Після трубчастої частини плав аміачної селітри концентрацією 99,5 %  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  для більш глибокого випарювання подається в концентраційну частину, де встановлюються тарілки провального типу для утворення більшої поверхні масообміну[5].

Кількість 99,8 %- плаву аміачної селітри, який виходить із апарата - 60150 кг/годин

Кількість 99,5 %- плаву, що надходить - 60332 кг/годин

Кількість випареної води:  $60332 - 60150 = 182$  кг/годин

Кількість повітря, що подається - 25000 кг/годин

Розрахунок необхідної кількості теоретичних тарілок для концентраційної частини апарата.

$$y = \frac{(y_1 - l_1 \cdot y_1) - (y_1 - l_1) \cdot X_1}{(1 - l_1 \cdot X_1) - (1 - l_1) \cdot X_2}$$

де  $l_1$  - відношення витрат рідини до витрат сухого повітря на виході із апарата,

$$l_1 = \frac{60150}{24904} = 2.41;$$

$X$  і  $Y$ - мольні долі компонента в рідині і газі .

$$X_2 = \frac{\frac{\bar{X}}{M_a}}{\frac{\bar{X}}{M_a} + \frac{1 - \bar{X}}{M_a}}$$

Де  $\bar{X}$  - мольна доля води у 99,5 %- розчині, який надходить на тарілки ( $\bar{X} = 0,005$ );

$M_a$  і  $M_e$  - молекулярна вага води і аміачної селітри ( $M_a = 18$ ,  $M_e = 80$ ),

тоді

$$X = \frac{\frac{0.005}{18}}{\frac{0.005}{18} + \frac{0.995}{80}} = 0.022 \text{ (мольна доля води 95 \% -ному плаві амселітри)}$$

$$X = \frac{\frac{0.002}{18}}{\frac{0.002}{18} + \frac{0.998}{80}} = 0.0087 \text{ (мольна доля води в 99,8 \% -ному плаві аміачної}$$

селітри)

Мольна доля води в повітрі, що надходить у апарат:

$$X_2 = \frac{\frac{\bar{X}}{M_a}}{\frac{\bar{X}}{M_a} + \frac{1}{M_a}} = \frac{\frac{0.00385}{18}}{\frac{0.00385}{18} + \frac{1}{29.3}} = 0.00621$$

де  $X = 0,00385$  - відносна масова концентрація або вологовміст повітря, яке подається в апарат.

$M_a$  і  $M_v$  - молярна вага води і повітря ( $M_a = 18$ ;  $M_v = 29,3$ ).

Мольна доля води ( $Y_2$ ) у повітрі, що відходить з тарілок:

$$y = \frac{(0.00621 - 2.41 \cdot 0.0087) - (0.00621 - 2.41) \cdot 0.022}{(1 - 2.41 \cdot 0.0087) - (1 - 2.41) \cdot 0.022} = 0.03778.$$

$$P = 1.41 \cdot P_0^{0.9} \cdot X,$$

де  $P$  - парціальний тиск водяної пари над розчином аміачної селітри, мм. рт. ст.;

$P_0 = 7539,2$  - тиск водяної пари над чистою водою при  $180^\circ\text{C}$ , мм. рт. ст.;

$X = 0,022$  - вміст вологи в розчині при концентрації плаву  $99,5\%$   $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , мольні долі. Тоді

$$P = 1,41 \cdot 7539,2^{0.9} \cdot 0,022 = 95,8 \text{ мм.рт.ст.}$$

Вміст вологи над розчином

$$y^* = \frac{P}{P_{\text{çãä}}}$$



де  $P_w$  - загальний тиск над розчином, мм. рт. ст.

Приймаємо, що  $m_{заг} = 0,103 \text{ МПа} = 760 \cdot 1,05 = 798 \text{ мм.рт.ст.}$ , тоді

$$y^* = \frac{95.85}{798} = 0.12$$

Рівняння рівноважної лінії можна записати як  $Y^* = K \cdot X$ ,

Коефіцієнт  $K$  у рівнянні рівноважної лінії визначається так:

$$K = \frac{y^*}{X} = \frac{0.12}{0.022} = 5.45$$

Побудувавши графік, знайдемо теоретичну кількість тарілок.

Вона дорівнює, двом тарілкам.

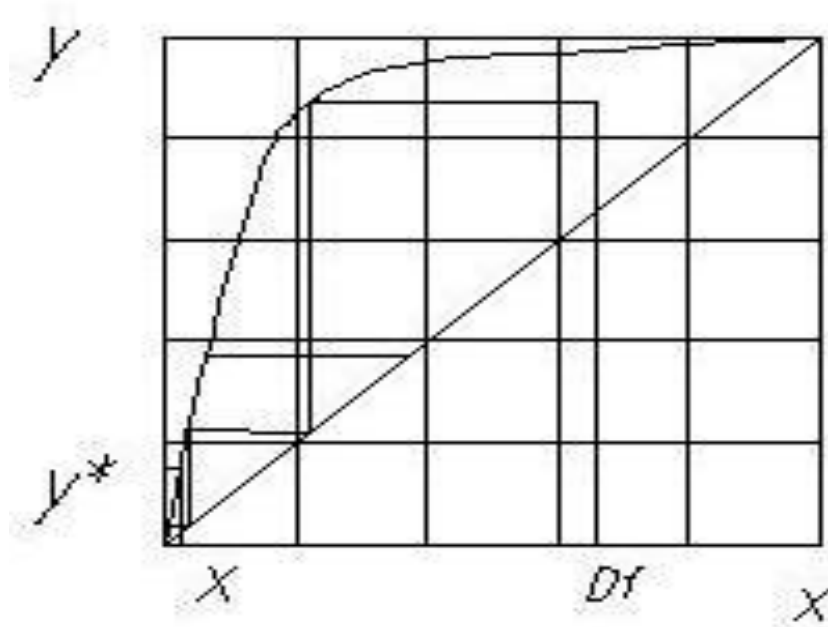


Рисунок 5.1

### Розрахунок необхідної поверхні змійовиків на тарілках

На тарілках випарюється 182 кг/годин води. Для цього необхідно подати тепло.

*Прихід тепла:*

З 99,5 %- плавом аміачної селітри:

$$Q_1 = 60332 \cdot 1,8 \cdot 180 = 19547350 \text{ кДж/годин}$$

З парою  $Q_2$  (розраховується після визначення загальної кількості витрат тепла).

*Витрати тепла:*

Умовно приймаємо, що розчин аміачної селітри на трьох верхніх тарілках випарюється до концентрації 99,7 %.

$$Q'_1 = 60211 \cdot 1,8 \cdot 180 = 19508364 \text{ кДж/годин}$$

Витрати тепла випарною водою:

$$Q'_2 = 121 \cdot 2835 = 343035 \text{ кДж/годин}$$

де 121 - кількість випареної на тарілках води, кг/годин,

2835 - тепловміст перегрітої пари при 180 °С, кДж/кг.

$$\Sigma Q_{\text{випр}} = 19508364 + 343035 = 19851399 \text{ кДж/г.}$$

Тепло, яке приноситься з парою:

$$Q_2 = 19851399 - 19547 = 304049 \text{ кДж/годин.}$$

Визначимо витрати пари при тиску 1,275 МПа:

$$q_{\text{іаде}} = \frac{304049}{1976} = 154 \text{ кг/годин}$$

З урахуванням 5 % тепловтрат:

$$q_{\text{випр}} = 154 \cdot 1,05 = 162 \text{ кг/годин}$$

Коефіцієнт теплопередачі від пари через змійовик, укладений на тарілці, до розчину можна прийняти рівним 700 ккал/(м<sup>2</sup>·г·град), або 1055·10<sup>3</sup> вт/м<sup>2</sup>град. При температурі плаву 180 °С і температурі пари в змійовиках 190,7 °С різниця температур становить:

$$\Delta t = 190,7 - 180 = 10,7 \text{ °С.}$$

Тоді поверхня змійовиків визначиться:

$$F_2 = \frac{Q_2}{K \cdot \Delta t} = \frac{304049 \cdot 10^3 \cdot 3600}{1055 \cdot 10^3 \cdot 10,7} = 9,7 \text{ м}^2$$

Змійовики укладають на три верхні тарілки. Поверхня кожного змійовика 8 м<sup>2</sup> діаметр трубок 25x2,5 мм. На двох нижніх тарілках відбувається незначне упарювання розчину (~ 0,1 % = 61 кг/годину), для чого необхідно підвести тепла:

$$Q=61 \cdot 2835=172953 \text{ кДж/годину.}$$

При цьому температура плаву (якщо тепло з зовні не підводиться) знизиться на  $1,6^\circ\text{C}$ :

$$\Delta t = \frac{Q}{q_{i\bar{e}} \cdot C} = \frac{172953}{60211 \cdot 1,8} = 1,6^\circ\text{C}$$

де  $60211 = 60332 - 121$  - кількість 99,7 %- плаву, який подається на тарілки, кг/г.

Таке незначне зниження температури вказує на недоцільність встановлення зміювиків, що обігрівають, на двох нижніх тарілках.

## 5.4 Гідравлічний розрахунок

### Визначення діаметра тарілки

Приймаємо, що тарілки - сітчасті. Межі роботи сітчастої тарілки визначаються за рівняннями

$$W_{\max} = 0.416 \cdot \sqrt{\frac{\gamma_p \cdot \gamma_r}{\gamma_r}} \cdot \omega \cdot (1 - \tau)$$

$$W_{\min} = 0.185 \cdot \sqrt{\frac{\gamma_p \cdot \gamma_r}{\gamma_r}} \cdot \omega \cdot (1 - \tau)$$

де  $\tau$  - доля перетину отворів, яка зайнята стікаючою рідиною. Вона визначається за рівнянням:

$$\tau = \frac{\left[ \left( \frac{Z}{g} \right)^2 \cdot \left( \frac{\rho_r}{\rho_p} \cdot \zeta \cdot \alpha^2 \right) \right]^{1/3}}{1 + \left[ \left( \frac{Z}{g} \right)^2 \cdot \left( \frac{\rho_r}{\rho_p} \cdot \zeta \cdot \alpha^2 \right) \right]^{1/3}}$$

де

$\zeta = 1,85$  - коефіцієнт опору сухої тарілки;

$\alpha = 0,62$  - коефіцієнт витрат при стіканні рідини із отвору;

$\rho_r ; \rho_p$  - відповідно густина і питома вага газу і рідини;

$\frac{Z}{g} = 2,41$  - відношення витрат рідини до витрат газу

$\omega = 127$ - доля вільного перетину тарілки;

$t=16$ -крок між отворами на тарілці, мм;

$d_{\text{отв}}= 6$  - діаметр отворів в тарілці, мм;

$\rho_p=1430$  - густина 99,8 % розчину аміачної селітри, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_r=0,779$  – густина повітря при 180 °С, кг/м<sup>3</sup>.

$$\tau = \frac{\left[ (2.41)^2 \cdot \left( \frac{0.779}{1430} \cdot 1.85 \cdot 0.62^2 \right) \right]^{1/3}}{1 + \left[ (2.41)^2 \cdot \left( \frac{0.779}{1430} \cdot 1.85 \cdot 0.62^2 \right) \right]^{1/3}} = \frac{0.131}{1.131} = 0.116$$

Приймаємо діаметр тарілки  $D = 2800$  мм. Приведену швидкість повітря на тарілці знаходимо за рівнянням:

$$W_{\tau} = \frac{V_{\text{н\grave{a}}} \cdot T_{\text{н\grave{a}}}}{3600 \cdot 0,785 \cdot D^2 \cdot T_0 \cdot \gamma_{\bar{A}}} = \frac{25000 \cdot (273 + 180)}{3600 \cdot 0,785 \cdot 2.8^2 \cdot 273 \cdot 273 \cdot 1.29} = 1.45 \text{ м/с}$$

Визначимо межі роботи провальної тарілки:

$$W_{\text{max}} = 0.416 \cdot \sqrt{\frac{1430 \cdot 0.779}{0.779}} \cdot 0.127 \cdot (1 - 0.116) = 2 \text{ м/с}$$

$$W_{\text{max}} = 0.185 \cdot \sqrt{\frac{1430 \cdot 0.779}{0.779}} \cdot 0.127 \cdot (1 - 0.116) = 0.89 \text{ м/с}$$

Гідравлічний опір провальної тарілки визначається за рівнянням

$$\Delta P = \frac{\zeta}{1-\beta} \cdot \frac{e_{\bar{A}} \cdot W_{i0}^2}{2 \cdot (1-\tau)^3} \cdot [1-\tau \cdot (1-\beta)] + \frac{4 \cdot \sigma}{d_{i0a} \cdot (1-\beta)}$$

де  $\sigma = 78 \cdot 10^{-3}$  - поверхневий натяг розчину аміачної селітри при  $180^\circ\text{C}$ ,  
Н/м;

$\beta$  - коефіцієнт, який визначає співвідношення між середнім статистичним тиском, що викликає провал рідини. Він визначається за рівнянням

$$\beta = 1.11 \cdot \left( \frac{\rho_r}{\rho_p} \right)^{0.118} = 1.11 \cdot \left( \frac{0.779}{1430} \right)^{0.118} \cdot 0.118 = 0.457$$

Тоді

$$\Delta P = \frac{1.85}{1-0.457} \cdot \frac{0.799 \cdot 11.41^2}{2 \cdot (1-0.116)^3} \cdot [1-0.116 \cdot (1-0.457)] + \frac{4 \cdot 78 \cdot 10^{-3}}{6 \cdot 10^{-3} \cdot (1-0.457)} = 330.4$$

Н/м<sup>2</sup>

або 32 мм. вод. ст.

### Визначення висоти піни на тарілці

Цей показник визначаємо, користуючись рівнянням

$$\frac{W_{от}^2}{g \cdot h_{II}} \cdot \frac{\rho_r}{\rho_p} \cdot C = 0,011 \text{ (при } B > 10 \text{ в рівнянні } y = B \cdot e^{-4x} \text{ )}.$$

$$C = \left( \frac{U^6 \cdot \mu_p^2}{g \cdot \sigma^3} \right)^{0.067}$$

де

$U$ - густина зрошування, м/с;

$\mu_p = 5,6 \cdot 10^{-3}$  - в'язкість аміачної селітри при  $180^\circ\text{C}$ .

Перехід від одного режиму до другого описують рівнянням

$$y = B \cdot e^{-4x}$$

Причому,  $X$  та  $Y$  визначаються:

$$X = \left(\frac{Z}{g}\right)^{1/8} = 2.41^{1/4} \left(\frac{0.779}{1430}\right)^{1/8} = 0.487$$

$$y = \frac{W_{i\dot{\alpha}}^2}{g \cdot d_{i\dot{\alpha}} \cdot \omega^2} \cdot \frac{e_r}{e_p} \cdot \mu_p^{0.16} = \frac{11.42^2}{9.81 \cdot 0.006 \cdot 0.127^2} \cdot \frac{0.779}{1430} \cdot (5.6 \cdot 10^{-3})^{0.16} = 32.57$$

$$B = \frac{y}{e^{-4x}} = \frac{32.57}{e^{-4 \cdot 0.487}} = \frac{32.57}{0.142} = 229.3$$

як бачимо,  $B > 10$ , тому рівняння для визначення висоти піни вибрано вірно

$$U = \frac{60150}{3600 \cdot 1430 \cdot 0.785 \cdot 2.8^2} = 1.9 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$$

Тоді

$$h_f = \frac{W_{i\dot{\alpha}}^2}{0.011 \cdot g} \cdot \frac{\rho_r}{\rho_p} \cdot \left[ \frac{U^6 \cdot \mu_p^2 \cdot \rho_p}{g \cdot \sigma^3} \right]^{0.067} = \frac{11.41^2 \cdot 0.779}{0.011 \cdot 9.81 \cdot 1430} \cdot \left[ \frac{(1.9 \cdot 10^{-3})^6 \cdot (5.6 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 1430}{9.81 \cdot (7.8 \cdot 10^{-3})^3} \right]^{0.067} = 0.061 \text{ м}$$

## 6 Розрахунок елементів апарата на міцність, жорсткість та стійкість

### Розрахункова температура

За розрахункову температуру для обичайок, патрубків, корпусу приймаємо максимально можливу температуру + 180 °С [6,7]:

$$t_k = 180 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

### Допустимі напруження

Допустимі напруження при розрахунковій температурі і при 20°С для елементів апарата наведені в таблиці

Таблиця 6.1 Допустимі напруження матеріалу

Матеріал елемента апарата	допустимі напруження, МПа		
	$[\sigma]_{20}$	$[\sigma]_t$	$[\sigma]_{20} / [\sigma]_t$
Сталь 12Х18Н10Т	184	162	1,135

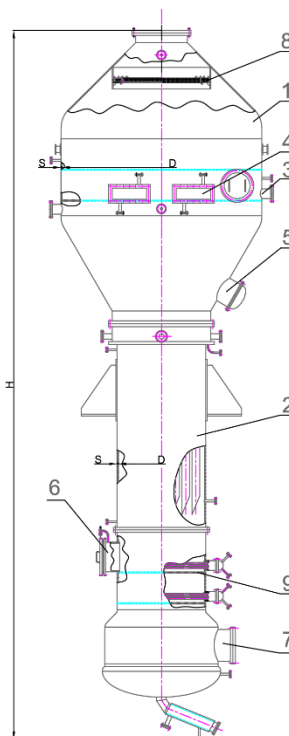


Рисунок 6.1 – Розрахункова схема випарного апарата

## Коефіцієнт міцності зварного шва

Коефіцієнт міцності зварного шва визначається залежно від групи апарата. Тому що в апараті середовище вибухонебезпечне, пожежонебезпечне, токсичне, і тиск більше 0,07 МПа і група апарата 1 по ДСТУ 3 – 17 – 2000. Для апаратів 1 групи довжина контрольованих зварних швів становить 100 % від загальної довжини швів. Для стикових швів із двостороннім суцільним проваром, виконуваних автоматичним і напівавтоматичним зварюванням коефіцієнт міцності зварного шва  $\varphi_p = 1$

### Прибавки до розрахункових величин конструктивних елементів

Прибавки для компенсації корозії прийняті виходячи з максимально допустимої швидкості проникнення корозії з боку робочого середовища.

Корпус виготовлений зі сталі 12Х18Н10Т

Прибавки до розрахункової товщини корпусу:

$$C = C_1 + C_2;$$

$C_1$  = прибавка для компенсації корозії:

$$C_1 = П \cdot \tau;$$

$П = 0,1$  мм - швидкість проникнення корозії для сталі 12Х18Н10Т;

$\tau = 20$  років - термін служби апарата;

$$C_1 = 0,1 \cdot 20 = 2 \text{ мм}$$

$C_2$  – прибавка для компенсації мінусового допуску.

Прибавка  $C_2$  приймається залежно від товщини листового прокату. Прибавку  $C_2$  урахуємо в тому випадку, коли її значення перевищує 5 % від номінальної товщини листа.

Робочий, розрахунковий і пробний тиск в апараті .

Сталь 12Х18Н10Т - матеріал корпусу

$t = 180$  °С – розрахункова температура в апараті

$P_{\text{раб}} = 0,02$  МПа – максимальний робочий тиск в апараті



$[\sigma]_{20} = 184$  МПа – допустиме напруження для матеріалу апарата при 20 °С

$[\sigma] = 162$  МПа - допустиме напруження для матеріалу апарата при розрахунковій температурі

Тиск при повному відкритті запобіжного клапана , МПа:

$$P_k = P_{\text{раб}} + 0,05 \quad (\text{при } P_{\text{раб}} \leq 0,3 \text{ МПа});$$

$$P_k = 0,02 + 0,05 = 0,07.$$

Елементи апарата повинні розраховуватися на тиск , що становить 90% тиску при повнім відкритті клапана:

$$P_p = 0,9 \cdot P_k = 0,9 \cdot 0,07 = 0,063 \text{ МПа.}$$

Гідростатичний тиск за умови заповнення апарата середовищем , МПа

$$P_r = \rho_c \cdot g \cdot H \cdot 10^{-6};$$

де  $\rho_c = 1356$  кг / м<sup>3</sup> – густина середовища;

$g = 9,81$  м/с<sup>2</sup> – прискорення вільного падіння;

$H = 6,15$  м - висота стовпа рідини в апараті;

$$P_r = 1356 \cdot 9,81 \cdot 6,15 \cdot 10^{-6} = 0,0818 \text{ МПа}$$

$$0,05 \cdot P_{\text{раб}} = 0,05 \cdot 0,02 = 0,001 \text{ МПа}$$

$$0,0818 \text{ МПа} > 0,001 \text{ МПа.}$$

Гідростатичний тиск середовища більше 5 % від робочого тиску , отже враховується в подальших розрахунках.

Обчислюємо розрахунковий тиск:

$$P_p = 0,063 + 0,0818 = 0,145 \text{ МПа.}$$

Пробний тиск при якому проводиться випробування апарата:

$$P_{\text{пр}} = 1,25 \cdot P \cdot [\sigma]_{20} / [\sigma];$$

$$P_{\text{пр}} = 1,25 \cdot 0,145 \cdot 184 / 166 = 0,201 \text{ МПа.}$$

Гідростатичний тиск води при гідровипробуванні , МПа:

$$P_{\text{Г.води}} = \rho_{\text{Г.води}} \cdot g \cdot H_{\text{Г}} \cdot 10^{-6}$$

$H_{\text{Г}} = 6,5$  м – висота стовпа рідини в апарату при гідровипробуванні:

$$P_{\text{Г.води}} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 6,5 \cdot 10^{-6} = 0,0638 \text{ МПа}$$

$$0,05 \cdot P_{\text{пр}} = 0,05 \cdot 0,201 = 0,01 \text{ МПа}$$

$$0,0638 > 0,01 \text{ МПа.}$$

Гідростатичний тиск води більше 5 % від тиску гідровипробування отже враховується при визначенні тиску гідровипробування:

$$P_{\text{пр}} = 0,201 + 0,0638 = 0,264 \text{ МПа.}$$

При виконанні умови:

$$P_{\text{пр}} < 1,35 \cdot P \cdot [\sigma]_{20} / [\sigma]$$

розрахунок апарата в умовах випробування проводити не потрібно.

$$1,35 \cdot 0,145 \cdot 184 / 166 = 0,217 \text{ МПа}$$

$$0,264 \text{ МПа} > 0,217 \text{ МПа}$$

Умова не виконується, отже потрібен розрахунок на міцність для умови гідровипробування.

### 6.1 Розрахунок обичайки, що працює під внутрішнім тиском і тиском гідровипробування (корпус)

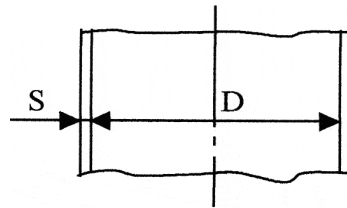


Рисунок 6.2 - Обичайка (корпус)

Матеріал обичайки: Сталь 12X18Н10Т

$P' = 0,145 \text{ МПа}$  – розрахунковий внутрішній надлишковий тиск;

$P'' = 0,264 \text{ МПа}$  – розрахунковий тиск гідро випробування;

$D = 2600 \text{ мм}$  – внутрішній діаметр апарата;

$t' = 180 \text{ }^{\circ}\text{C}$  – розрахункова температура середовища в апарату;

$t'' = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  – температура середовища в апарату при гідро випробуванні;

$\varphi_p = 1$  – коефіцієнт міцності зварних швів;

$[\sigma]' = 162 \text{ МПа}$  – допустиме напруження для матеріалу обичайки при розрахунковій температурі для робочих умов;

$[\sigma]''$  – допустиме напруження для матеріалу обичайки при  $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  для умов гідро випробування:

$$[\sigma]'' = Re^{20} / n_T$$

$Re = 276$  МПа – розрахункове значення границі текучості для матеріалу обичайки при  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

$n_T = 1,1$  – коефіцієнт запасу міцності для умов гідровипробування.

$$[\sigma]'' = \frac{276}{1.1} = 250.9 \text{ МПа.}$$

Розрахункова товщина стінки обичайки, мм:

$$S_p = \frac{P \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - P};$$

для робочих умов:

$$S_p' = \frac{0.145 \cdot 2800}{2 \cdot 162 \cdot 1 - 0.145} = 1.136 \text{ мм.}$$

Для умов гідровипробувань:

$$S_p'' = \frac{0.264 \cdot 2800}{2 \cdot 250,9 \cdot 1 - 0.264} = 1,369 \text{ мм}$$

Виконавча товщина стінки обичайки

$$S > S_p + C$$

$C = 2,6$  мм – сума прибавок до розрахункової товщини стінки на корозію та мінусовий допуск.

для робочих умов:

$$S' \geq 1,136 + 2,6 = 3,74 \text{ мм;}$$

для умов гідровипробувань

$$S'' \geq 1,369 + 2,6 = 3,97 \text{ мм.}$$

Приймаємо більше з отриманих значень для робочих умов і умов гідровипробування та округляємо до більшої стандартної товщини листа.

$S = 6$  мм – виконавча товщина стінки обичайки.

Надлишковий тиск, що допускається:

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (S - C)}{D + (S - C)}$$

для робочих умов:

$$[P]' = \frac{2 \cdot 166 \cdot 1 \cdot (6 - 2.6)}{2800 + (6 - 2.6)} = 0,434 \text{ МПа}$$

$$0,145 \text{ МПа} < 0,434 \text{ МПа}$$

Умова міцності для робочих умов виконується.

для умов гідровипробування:

$$[P]'' = \frac{2 \cdot 250 \cdot 9 \cdot 1 \cdot (6 - 2.6)}{2800 + (6 - 2.6)} = 0,655 \text{ МПа}$$

$$0,264 \text{ МПа} < 0,655 \text{ МПа}$$

Умова міцності для умов гідровипробування виконується.

Визначення найбільшого діаметра отвору, що допускається, не потребуючи додаткового зміцнення:

$$d_o = 2 \cdot \left( \frac{S - C}{S_p} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D \cdot (S - C)}$$

для робочих умов:

$$d_o' = 2 \cdot \left( \frac{6 - 2.6}{1.136} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{2800 \cdot (6 - 2.6)} = 412.4 \text{ мм}$$

для умов гідровипробування:

$$d_o'' = 2 \cdot \left( \frac{6 - 2.6}{1.369} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{2800 \cdot (6 - 2.6)} = 316.7 \text{ мм}$$

Умова застосування формул:

$$\frac{S - C}{D} \leq 0.1;$$

$$\frac{6 - 2.6}{2800} = 0.001 < 0,1$$

Умова виконується. Таким чином отвори на обичайці діаметр яких не перевищує  $d_o'' = 316.7$  мм не потребують укріплення.

**6.2 Розрахунок обичайки без тороїдального переходу, що працює під внутрішнім тиском і тиском гідровипробування**

Матеріал обичайки: сталь 12Х18Н10Т.

$T = 180 \text{ }^{\circ}\text{C}$  – розрахункова температура.

$P' = 0,145 \text{ МПа}$  – розрахунковий внутрішній надлишковий тиск.

$P'' = 0,264 \text{ МПа}$  – розрахунковий тиск гідровипробування.

$t' = 180 \text{ }^{\circ}\text{C}$  – розрахункова температура середовища в апараті.

$t'' = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  – температура середовища в апараті при гідровипробуванні

$[\sigma]' = 162 \text{ МПа}$  – допустиме напруження для матеріалу конічної обичайки при розрахунковій температурі  $t = 180 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

$\varphi_T = 0,9$  – коефіцієнт міцності кільцевого зварного шва для конічної обичайки.

$[\sigma]''$  – допустиме напруження для матеріалу обичайки при  $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  для умов гідровипробування:

$$[\sigma]'' = Re^{20} / n_T;$$

де  $Re = 276 \text{ МПа}$  – розрахункове значення границі текучості для матеріалу;

$n_T = 1,1$  – коефіцієнт запасу міцності для умов гідро випробування.

$$[\sigma]'' = \frac{276}{1.1} = 250.9 \text{ МПа.}$$

Розрахункові параметри [8,9].

Розрахункова довжина перехідної частини конічної обичайки, мм:

$$a_1 = \sqrt{\frac{D}{\cos \alpha_1} \cdot (S_T - C)};$$

де  $S_T = 6 \text{ мм}$  – виконавча товщина стінки конічного переходу;

$D = 2800 \text{ мм}$  – внутрішній діаметр більшої підстави конічної обичайки;

$\alpha_1 = 60 \text{ град.}$  - половина кута при вершині конічної обичайки;

$C = 2,6 \text{ мм}$  – сума прибавок до розрахункової товщини конічної обичайки.

$$a_1 = \sqrt{\frac{2800}{\cos 60} \cdot (6 - 2.6)} = 133 \text{ мм.}$$

Розрахунковий діаметр гладкої конічної обичайки, мм:

$$D_k = D - 1,4 \cdot a_1 \cdot \sin \alpha_1;$$

$$D_k = 2800 - 1,4 \cdot 133 \cdot \sin 60 = 2538,8 \text{ мм}$$

Розрахункова товщина конічної обичайки, мм:

$$S_{к.р.} = \frac{P \cdot D_k}{2 \cdot \varphi_p \cdot [\sigma] - P} \cdot \frac{1}{\cos \alpha_1};$$

де  $\varphi_p$  – коефіцієнт міцності зварного шва для конічної обичайки;

$$\varphi_p = \sqrt{\varphi_T} = 1.$$

для робочих умов:

$$S_{к.р.}' = \frac{0,145 \cdot 2538,8}{2 \cdot 1 \cdot 162 - 0,145} \cdot \frac{1}{\cos 60^0} = 2,25 \text{ мм};$$

для умов гідровипробування:

$$S_{к.р.}'' = \frac{0,264 \cdot 2538,8}{2 \cdot 1 \cdot 250,9 - 0,264} \cdot \frac{1}{\cos 60^0} = 2,71 \text{ мм}.$$

Виконавча товщина стінки конічної обичайки, мм:

$$S \geq S_{к.р.} + C;$$

для робочих умов:

$$S' \geq 2,25 + 2,6 = 4,85 \text{ мм};$$

для умов гідровипробування:

$$S'' \geq 2,71 + 2,6 = 5,31 \text{ мм};$$

Приймаємо  $S = 6 \text{ мм}$ .

Надлишковий тиск, що допускається, МПа:

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (S_k - C)}{\frac{D_k}{\cos \alpha_1} + (S_k - C)};$$

для робочих умов:

$$[P]' = \frac{2 \cdot 162 \cdot 1 \cdot (6 - 2,6)}{\frac{2538,8}{\cos 60^0} + (6 - 2,6)} = 0,219 \text{ МПа};$$

$$0,219 \text{ МПа} > 0,145 \text{ МПа}.$$

Умова міцності виконується.

для умов гідровипробування:

$$[P]'' = \frac{2 \cdot 250.9 \cdot 1 \cdot (6 - 2.6)}{\frac{2538.8}{\cos 60^\circ} + (6 - 2.6)} = 0,349 \text{ МПа}$$

$$0,349 \text{ МПа} > 0,264 \text{ МПа}$$

Умова міцності виконується.

### 6.3 Розрахунок зміцнення отвору в обичайці

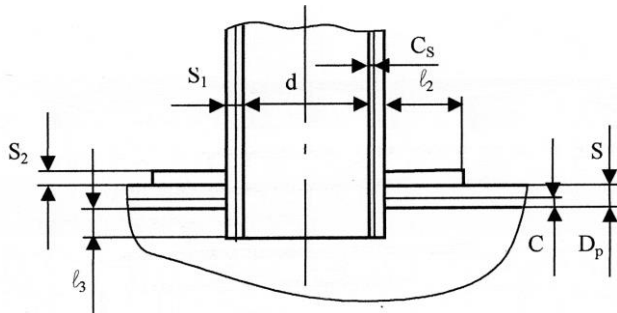


Рисунок 6.3 - Люк

Вихідні дані:

матеріал обичайки апарата - Сталь 12Х18Н10Т ;

матеріал патрубку люка - Сталь 12Х18Н10Т ;

$P' = 0,145 \text{ МПа}$  – розрахунковий внутрішній тиск в апараті;

$P'' = 0,264 \text{ МПа}$  – розрахунковий тиск гідровипробування в апараті;

$T = 180 \text{ }^\circ\text{C}$  – розрахункова температура середовища в апараті;

$D_p = 2800 \text{ мм}$  – розрахунковий внутрішній діаметр елемента, що зміцнюється,

$S = 6 \text{ мм}$  – виконавча товщина стінки обичайки;

$S'_p = 1,136 \text{ мм}$  – розрахункова товщина стінки обичайки в робочих умовах (з розрахунку циліндричної обичайки);

$S''_p = 1,369 \text{ мм}$  - розрахункова товщина стінки обичайки при гідровипробуванні (з розрахунку циліндричної обичайки);

$D = 500 \text{ мм}$  – внутрішній діаметр патрубка люка;

$S_1 = 8 \text{ мм}$  - виконавча товщина стінки люка (ГОСТ 26-2002-83);

$\phi = 1$  – коефіцієнт міцності зварного шва для обичайки;

$\varphi_T = 1$  - коефіцієнт міцності поздовжнього звареного шва люка;

$[\sigma]_1' = 162$  МПа – допустиме напруження для матеріалу зовнішньої частини люка при розрахунковій температурі в робочих умовах;

$[\sigma]_1'' = 250,9$  МПа - допустиме напруження для матеріалу зовнішньої частини люка при гідровипробуванні;

$[\sigma]_2' = 162$  МПа – допустиме напруження для матеріалу накладного кільця штуцера при розрахунковій температурі в робочих умовах;

$[\sigma]_2'' = 250,9$  МПа - допустиме напруження для матеріалу накладного кільця штуцера при гідро випробуванні.

$C_1 = 2$  мм – збільшення на корозію до розрахункової товщини обичайки

$C_2 = 0,8$  мм – збільшення для компенсації мінусового допуску стінки люка

$l_1 = 200$  мм – виконавча довжина зовнішньої частини люка.

Відношення напруг, що допускаються для люка:

$$\chi_1 = \min \{ 1,0; [\sigma]_1/[\sigma] \};$$

для накладного кільця:

$$\chi_2 = \min \{ 1,0; [\sigma]_2/[\sigma] \};$$

$$\chi_1 = \min \{ 1,0; 1,000 \} = 1,0;$$

$$\chi_2 = \min \{ 1,0; 1,000 \} = 1,0.$$

Розрахунковий діаметр отвору, що зміцнюється, мм [10,11,12]:

$$d_p = d + 2 \cdot C_s$$

$C_s$  – сума прибавок до розрахункової товщини стінки люка, мм:

$$C_s = C_1 + C_2;$$

$$C_s = 2 + 0,8 = 2,8 \text{ мм.}$$

$$d_p = 600 + 2 \cdot 2,8 = 605,6 \text{ мм.}$$

Розрахункова товщина стінки люка, мм

$$S_{1p} = \frac{P \cdot (d + 2 \cdot C_s)}{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 - P}$$

у робочих умовах:

$$S_{1p}' = \frac{0.145 \cdot (500 + 2 \cdot 2.8)}{2 \cdot 162 \cdot 1 - 0.145} = 0,26 \text{ мм;}$$



при гідровипробуванні:

$$S_{1p}'' = \frac{0.264 \cdot (500 + 2 \cdot 2.8)}{2 \cdot 250.9 \cdot 1 - 0.264} = 0,48 \text{ мм.}$$

Розрахункова довжина зовнішньої частини, що бере участь у зміцненні,  
мм:

$$l_{1p} = \min \left\{ l_1; 1,25 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot C_s) \cdot (S_1 - C_s)} \right\}$$

$$1,25 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot C_s) \cdot (S_1 - C_s)} = 1,25 \cdot \sqrt{(500 + 2 \cdot 2.8) \cdot (8 - 2.8)} = 70,1 \text{ мм.}$$

$$l_{1p} = \min \{200; 70,1\} = 70,1 \text{ мм.}$$

Розрахункова довжина внутрішньої частини, що бере участь у зміцненні,  
мм:

$$l_{3p} = \min \left\{ l_3; 0.5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot C_s) \cdot (S_3 - C_s - C_{s1})} \right\};$$

$$l_{3p} = 0 \text{ (внутрішня частина відсутня).}$$

"Надлишковий" метал зовнішньої частини, мм<sup>2</sup>:

$$A_1 = l_{1p} \cdot (S_1 - S_{1p} - C_s) \cdot \chi_1.$$

у робочих умовах:

$$A_1' = 70,1 \cdot (8 - 0,26 - 2,8) \cdot 1 = 346,29 \text{ мм}^2;$$

при гідровипробуванні:

$$A_1'' = 70,1 \cdot (8 - 0,48 - 2,8) \cdot 1 = 330,87 \text{ мм}^2;$$

"Надлишковий" метал внутрішньої частини, мм<sup>2</sup>:

$$A_3 = l_{3p} \cdot (S_3 - C_s - C_{s1}) \cdot \chi_3;$$

$A_3 = 0$  мм (внутрішня частина відсутня).

Визначаємо необхідну ширину накладного кільця.

Компенсуюча площа отвору, мм<sup>2</sup>:

$$A = 0,5 \cdot (d_p - d_{op}) \cdot S_p;$$

де  $d_{op}$  – розрахунковий діаметр отвору, мм;

$$d_{op} = 0.4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (S - C)};$$

$$d_{op} = 0.4 \cdot \sqrt{2600 \cdot (6 - 2.6)} = 37,61 \text{ мм.}$$

у робочих умовах:

$$A' = 0,5 \cdot (605,6 - 37,61) \cdot 1,136 = 322,6 \text{ мм}^2$$

при гідровипробуванні:

$$A'' = 0,5 \cdot (605,6 - 37,61) \cdot 1,369 = 388,8 \text{ мм}^2$$

Ширина зони зміцнення в стінці обичайки, мм:

$$L_0 = \sqrt{D_p \cdot (S - C)};$$

$$L_0 = \sqrt{2800 \cdot (6 - 2,6)} = 94,02 \text{ мм.}$$

Розрахункова ширина зони зміцнення в стінці обичайки, мм

$$l_p = L_0 = 94,02 \text{ мм}$$

"Надлишковий" метал, що бере участь у зміцненні отвору, мм<sup>2</sup>

$$A_4 = l_p \cdot (S - S_p - C) \cdot \chi_1$$

у робочих умовах:

$$A_4' = 94,02 \cdot (6 - 1,136 - 2,6) \cdot 1 = 212,86 \text{ мм}^2;$$

при гідровипробуванні:

$$A_4'' = 94,02 \cdot (6 - 1,369 - 2,6) \cdot 1 = 191,00 \text{ мм}^2;$$

Умова зміцнення люка без використання зміцнювального кільця:

$$A_1 + A_3 + A_4 \geq A$$

у робочих умовах:

$$A_1' + A_3 + A_4' = 346,29 + 0 + 212,86 = 563,15 \text{ мм}^2$$

$$563,15 \text{ мм}^2 > 322,6 \text{ мм}^2 \quad \text{отже, накладне кільце не потрібне;}$$

при гідровипробуванні:

$$A_1'' + A_3 + A_4'' = 330,87 + 0 + 191,00 = 521,87 \text{ мм}^2$$

$$521,78 \text{ мм}^2 > 388,8 \text{ мм}^2 \quad \text{отже, накладне кільце не потрібне.}$$

$$l_{2p} = 0,00 \text{ мм, отже } A_2 = 0 \text{ мм}^2$$

Умова зміцнення отвору:

$$A_1 + A_2 + A_3 + A_4 \geq A;$$

у робочих умовах:

$$A_{\text{сум}} = A_1' + A_2' + A_3 + A_4' = 319,13 + 0 + 0 + 212,86 = 563,15 \text{ мм}^2;$$

$$563,15 \text{ мм}^2 > 322,6 \text{ мм}^2$$

Умова зміцнення отвору в робочих умовах виконується.

при гідровипробуванні:

$$A_{\text{сум}} = A_1'' + A_2'' + A_3 + A_4'' = 330,87 + 0 + 0 + 191,00 = 521,87 \text{ мм}^2$$

$$521,87 \text{ мм}^2 > 388,8 \text{ мм}^2$$

Умова зміцнення отвору при гідровипробуванні виконується.

Внутрішній надлишковий тиск, що допускається:

$$[P] = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (S - C) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_p + (S - C) \cdot V} \cdot V;$$

де  $K_1 = 1$  - коефіцієнт;

$V$  - коефіцієнт зниження:

$$V = \min \left\{ \frac{1 + \frac{l_{1P} \cdot (S_1 - C_S) \cdot \chi_1 + l_{2P} \cdot S_2 \cdot \chi_2 + l_{3P} \cdot (S_3 - C_S - C_{S1}) \cdot \chi_3}{l_p \cdot (S - C)}}{1 + 0,5 \cdot \frac{d_p - d_{0P}}{l_p} + K_1 \cdot \frac{d + 2 \cdot C_S}{D_p} \cdot \frac{\varphi}{\varphi_1} \cdot \frac{l_{1P}}{l_p}} \right\};$$

$$V = \min \left\{ \frac{1 + \frac{70,1 \cdot (8 - 2,8) \cdot 1 + 0 + 0}{94,02 \cdot (6 - 2,6)}}{1 + 0,5 \cdot \frac{605,6 - 37,61}{94,02} + 1 \cdot \frac{600 + 2 \cdot 2,28}{2600} \cdot \frac{1}{1} \cdot \frac{70,1}{94,02}} \right\}.$$

$$V = \min \{1; 0,564\} = 0,564.$$

У робочих умовах:

$$[P] = \frac{2 \cdot 1 \cdot (6 - 2,6) \cdot 1 \cdot 162}{2800 + (6 - 2,6) \cdot 0,564} \cdot 0,564 = 0,245 \text{ МПа};$$

$$0,145 \text{ МПа} < 0,245 \text{ МПа}$$

Умова міцності в робочих умовах виконується.

При гідровипробуванні:

$$[P] = \frac{2 \cdot 1 \cdot (6 - 2,6) \cdot 1 \cdot 250,9}{2800 + (6 - 2,6) \cdot 0,564} \cdot 0,564 = 0,37 \text{ МПа};$$

$$0,264 \text{ МПа} < 0,370 \text{ МПа.}$$

Умова міцності при гідровипробуванні виконується.

Умови застосування розрахункових формул:

$$\frac{d_p - 2 \cdot C_s}{D} \leq 1,0;$$

$$\frac{d_p - 2 \cdot C_s}{D} = \frac{605,6 - 2 \cdot 2,8}{2800} = 0,21;$$

$$0,21 < 1.$$

Умови застосування розрахункових формул виконуються.

**Висновок.**

З розрахунків слідує, що виконавча товщина стінки апарату  $S=6$  мм. Отвори відносно яких був здійснений розрахунок щодо зміцнення отворів на обичайці позиції(3,5,6,7) не потребують укріплення.

## **7 Технологія виготовлення випарного апарата**

### **7.1 Підготовчі роботи**

#### **7.1.1 Розмітка**

Розмітку листа наносять для визначення контуру обичайки та листа, з якого штампується днище. Визначаються місце і розміри внутрішніх вирізів, розташування центрів отворів, розмірів фасок для виконання зварювальних робіт, місць згинання листа та його границь для послідууючої механічної обробки. Розмітку також застосовують для визначення базових площин деталей.

Розмітка сталей аустенітного класу марки 12X18H10T повинна виключати ушкодження робочої поверхні. Для цих сталей кернування допускається тільки по лінії зрізу.

Розмітку деталей виконують із урахуванням необхідних припусків для зварювання контрольного ( для контролю механічних властивостей ) зварного з'єднання. Необхідна точність досягається застосуванням універсальних інвентарних шаблонів, розміткою ряду отворів від початкової точки наростаючими числами, використанням шаблонів, виготовлених з урахуванням припусків на наступну механічну обробку.

Розмітку виконують як на плоскій поверхні, так і по поверхні корпусів. При цьому наносять осьові лінії, що є осями симетрії, а також базисну лінію, розташовану поблизу крайки листа і співпадаючу з однією з ліній розмітки. Від цих ліній відкладають розміри, зазначені на кресленні.

При розмітці деталей з листа на кожну деталь наносять маркування, завірене клеймом відділу технічного контролю.

У середній частині кожної, розміченої на листі заготовки для днищ і обичайок, поперек прокату поза зоною наступної обробки, відповідно до ОСТ108.030.39-80 виконують маркування з визначенням:

- заводу - постачальника листа;
- марки сталі;
- номера плавки;

- номера листа;
- порядкового номера днища або обичайки;
- діаметра днища й товщини листа;
- номера креслення.

Маркування заготовок для днищ і обичайок, що в нашому випадку працюють під тиском, виготовлених по ОСТ 26-291-79 ,повинне включати:

- марку сталі;
- номер партії плавки;
- номер листа.

На всіх обичайках, з яких складаються вироби, повинно бути маркування із вказівкою їхнього порядкового номера та позначення виробу. Маркування розташовують у куті листа на відстані 700 мм від крайок.

У маркування для днищ включають номер днища, його розмір (діаметр, товщину). Маркування та клейма розташовують на зовнішній опуклій поверхні днища.

Розмітку корпусів здійснюють після його приварювання і термічної обробки. Розмітку починають із розбивки чотирьох основних осьових ліній, які наносять керном (або іншим способом ) на довжині не менш 200 мм від торця. Осьові лінії нумерують. Отвори розмічають по робочих кресленнях: у повздовжньому напрямку - від середини циліндричної частини, у поперечному - по дугових розмірах від головних осей . При відхиленні зовнішнього діаметра від номінального дугові розміри перераховуються по фактичному розміру.

### **7.1.2 Різання металу й обробка крайок**

Допускається різання листів, труб і інших заготовок на механічних ножицях , газовим або електродуговим різанням. Газове різання частіше застосовують при вирізці заготовок для днищ.

Повздовжнє та поперечне різання листового матеріалу роблять на гільйотинних ножицях, прес - ножицях або дискових ножицях.

Крім того, різання металу роблять зубчастими, дисковими пилами, на відрізних верстатах, а також механічними ножівками.

Для різання труб для послідуочого виготовлення штуцерів можна застосувати трубовідрізні верстати з нерухомим різальним інструментом, а також верстати з різальною голівкою, що обертається .

Газокисневе різання складається із двох одночасних процесів : підігріву металу в місці різу зварювальним полум'ям до 1300-1500 °С і спалювання металу в спрямованому струмені кисню. Оскільки сталь 12Х18Н10Т чутлива до місцевого нагрівання, то технологія газового або електродугового різання повинна виключати можливість утворення тріщин або погіршення якості металу на крайках і в зоні термічного впливу. Цьому процесу слід приділяти особливу увагу.

Для додання крайкам обрисів, заданих кресленням, а також видалення шару металу, ушкодженого при різанні на ножицях або газовому різанні, крайки необхідно обробити на спеціальних кромкостругальних верстатах.

У випадку їх відсутності дозволяється крайки оброблювати їх вручну або із застосуванням пневмозубила.

Кільцеві крайки підлягають обробці на кромкообточувальних верстатах, на яких обичайка закріплюється нерухомо, а різальний інструмент при круговому обертанні має подачу уздовж її осі. Обробку крайок штампованих днищ здійснюється на токарно - карусельних верстатах.

Підготовлені під зварювання крайки необхідно контролювати на відповідність кута скосу і величини притуплення заданим у кресленні, а також їхню довжину. Для контролю застосовують спеціальні шаблони. Оброблені крайки ретельно оглядають для виявлення можливих розшарувань або інших внутрішніх дефектів металу.

## **7.2 Виготовлення корпусу апарата і днища**

### **7.2.1 Виготовлення обичайок**

Обичайки можуть бути виготовлені вальцюванням карт, зварених у плоскому стані з декількох листів. Зварені шви в обичайках, зварених з карт, повинні бути розташовані паралельно утворюючої.

Вальцювання обичайок з листа роблять у холодному стані. З метою обмеження залишкових напруг у металі після холодного згинання обичайку варто піддати термічній обробці, або виготовляти обичайку гарячим способом ( нагрівання листа до  $\sim 1000$  °С ; закінчення згинання не нижче  $700$  °С ).

Згинання обичайок з отриманого листа здійснюють на трьохвалкових або чотирьохвалкових листозгинальних вальцях, а також на згинальних пресах. У цих машинах згинання листа здійснюється обертовими валками. У трьохвалкових машинах згинальним є середній валок, а в чотирьохвалкових - бічні валки. Лист, що підлягає вальцюванню, вводять у валки й згинають його переміщенням вниз середнього валка (трьохвалкова машина) або підйомом нагору бічних валків. Згинання роблять за кілька пропусків. Після кожного пропуску кривизну листа збільшують до одержання замкнутої циліндричної обичайки.

Трьохвалкова машина не дозволяє зігнути крайки листа при вальцюванні. На довжині трохи менше половини відстані між бічними валками, крайки залишаються плоскими. Тому для одержання правильної циліндричної форми обичайок крайки попередньо підгинають. При вальцюванні обичайок на чотирьохвалковій машині додаткового устаткування для підгинання крайок не потрібно.

### **7.2.2 Установка штуцерів**

Штуцери апарата виготовляються із суцільнотягнутих труб з корозійностійкої сталі 12Х18Н10Т (ГСТУ 9941-72).

Отвори для установки штуцерів на обичайці і днищах розміщати від крайки ближнього зварного шва від осі отворів на відстані не менш  $0,9$  діаметра отвору. Відстань між центрами двох сусідніх отворів у



циліндричній обичайці по зовнішній поверхні повинна бути не менш 1,4 діаметри отвору або 1,4 напівсуми діаметрів отворів, якщо діаметри їх різні .

На днищах відстань між крайками двох сусідніх отворів приймають не менш діаметра меншого отвору.

Не допускається розташовувати отвори на поздовжніх швах обичайки, допускається установка штуцерів діаметром не більше 150 мм при відстані між центрами двох сусідніх штуцерів не менш суми діаметрів їхніх отворів на корпусі. У кільцевих швах обичайки установка штуцерів і люків не обмежується .

У зварних швах днищ установка штуцерів і люків може бути здійснена тільки після 100 % контролю зварних швів просвічуванням або ультразвуковою дефектоскопією.

### **7.3 Конструкція і розташування зварних з'єднань**

При виготовленні, ремонті і монтажі елементів устаткування в основному застосовують зварні з'єднання - стикові й кутові з повним проплавленням перерізу шва. Зварювання обичайок і труб, приварювання днищ, люків виконують стиковими швами.

Кутові зварні з'єднання з конструктивним зазором можуть бути допущені при зварюванні штуцерів і труб із внутрішнім діаметром не більше 100 мм.

Поздовжні й поперечні шви в обичайці, трубах, а також днищах, штуцерах, люках і т.д., повинні бути розташовані так, щоб можна було проводити візуальний огляд швів, контроль якості, і усунути дефекти.

Число зварних швів, виконуваних при виготовленні, монтажі і ремонті повинне бути мінімальним.

Зварні шви не повинні перекриватися опорами. При примиканні опори до зварного шва відстань від неї до звареного з'єднання повинна бути такою, щоб можна було виконувати необхідний контроль у процесі експлуатації.

Приварка внутрішніх корпусних елементів і пристроїв допускається з перетинанням основних стикових швів, якщо розрахункова величина кутового шва не більше 50 % номінальної товщини стінки корпусу й не більше 10 мм.

## **8 Монтаж і ремонт апарату**

### **8.1 Монтаж випарного апарату**

1. Монтаж і збирання випарного апарату проводиться відповідно до вимог складального креслення з урахуванням вимог по монтажу і експлуатації.

2. Складання випарного апарату, у разі повного демонтажу його перед ремонтом, можна проводити як на ремонтному майданчику так і на місці монтажу. Порядок зборки при будь-якому варіанті залишається незмінним і полягає в наступному:

1) встановити корпус випарного апарату на опорні поверхні і, провівши вивіряння на вертикальність, закріпити опорні лапи гайками анкерних болтів;

2) заздалегідь встановивши прокладки, провести монтаж кришки;

3) обтягнути кріплення на фланцевому з'єднанні еліптичної кришки з корпусом гріючої камери;

4) приєднати технологічні трубопроводи до всіх штуцерів апарату, встановивши прокладки і затягнувши кріплення фланцевих з'єднань.

3. У разі виникнення необхідності опресовування трубного пучка після монтажу корпусу гріючої камери, кришку не встановлювати до закінчення гідровипробувань.

4. При установці і затягуванні кріпильних деталей на фланцевих з'єднаннях кришки, штуцерів і трубопроводів обв'язки випарного апарату звертати увагу на стан різьблення болтів, гайок і шпильок. У разі виявлення дефектів - замінити на нові.

## **8.2 Класифікація ремонтів і обсяги ремонтних робіт за видами ремонтів**

Система технічного обслуговування і ремонту устаткування, окрім міжремонтного технічного обслуговування передбачає два види ремонту - поточний і капітальний. Крім того, для деяких видів складного устаткування допускається проведення додаткового капітального ремонту зменшеного об'єму.

У обсяг капітального ремонту зменшеного обсяг входять наступні роботи:

1. Відключення апарату від комунікацій, що діють, з установкою заглушок.
2. Всі роботи поточного ремонту.
3. Розбирання і збірка апарату для внутрішнього огляду.
4. Чищення і огляд поверхні трубних решіток, трубного пучка.
5. Ремонт корпусу
6. Заміна прокладок.
7. Ревізія блокувальної арматури, ремонт.
8. Ремонт трубопроводів.
9. Гідровипробування на щільність і міцність корпусу апарату.
10. Фарбування (при необхідності).

У обсяг капітального ремонту входять наступні роботи:

1. Всі роботи поточного і капітального ремонту зменшеного об'єму.
2. Заміна повна або часткова труб трубного пучка.

3. Перевірка товщини стінок корпусу і його ремонт.
4. Перевірка зварних швів апарату.
5. Ремонт фундаменту (при необхідності).
6. Гідровипробування на щільність і міцність корпусу апарату і трубного пучка.
7. Фарбування(при необхідності).

### **8.3 Підготовка апарату до ремонту і прийом його в ремонт**

Виведення обладнання в ремонт здійснюється по письмовому розпорядженню начальника цеху, в якому указується особа, відповідальна за виведення устаткування в ремонт і підготовку до ремонту. На підставі письмового розпорядження начальника цеху, заст. начальника цеху в журналі розпоряджень по цеху , і підписує порядок виведення устаткування в ремонт.

Обсяг робіт з підготовки до ремонту випарного апарату визначається вимогами інструкції СПО-56 "Про порядок здачі і прийому устаткування (комунікацій) в ремонт і з ремонту".

Після виконання заходів щодо підготовки до ремонту випарного апарату оформляється "Акт здачі устаткування в ремонт" (форма №4А-МИ), який підписується особою, відповідальною за підготовку до ремонту (майстром зміни) і заступником начальника цеху.

Після того, як механік цеху особисто переконається у виконанні всього обсягу робіт з підготовки до ремонту випарного апарату відповідно до вимог п.2.6. інструкції СПО-56, він підписує акт форми №4А-МИ про прийом в ремонт випарного апарату.

При передачі випарного апарату в ремонт стороннім організаціям за три місяці до виконання робіт виконавцям передаються наступні документи:

1. Відомість дефектів – у трьох екземплярах
2. Смети- у трьох екземплярах.

3. Креслення і схеми на випарний апарат.
4. Технічні умови на ремонт випарного апарату.

Роботи, що проводяться сторонніми організаціями повинні виконуватися згідно типової інструкції " Про порядок безпечного проведення ремонтних робіт на підприємствах.

До початку ремонтних робіт: цех зобов'язаний скласти план підготовчих робіт, придбати необхідне устаткування і матеріали по заздалегідь складених заявках, підрядчик складає і затверджує проект робіт. Ремонтний персонал підрядчика має право виконувати роботи тільки на тих робочих місцях які визначені нарядом- допуском.

Акт на здачу устаткування в ремонт форми №4А-МИ оформляється в двох екземплярах, один з яких передається механіком цеху виконавцеві робіт під розпис.

#### **8.4 Правила дефектації і методи виявлення дефектів**

При підготовці устаткування до ремонту і в процесі його розбирання проводиться тріступінчата дефектація: попередня, поузлова, подетальна.

Попередня дефектація здійснюється за два-три місяці перед зупинкою устаткування на ремонт. Вона передбачає виявлення найбільш вірогідних дефектів і несправностей. При цьому використовуються записи в ремонтних журналах, зроблені в процесі експлуатації, технічного обслуговування і попередніх ремонтів. Попередня відомість дефектів служить організаційним документом для підготовки до ремонту.

Позулова дефектація проводиться при розбиранні устаткування. При поузловій дефектації виявляються відхилення вузлів від заданого взаємного положення згідно креслень.

При по детальної дефектації визначається можливість повторного використання деталей і характер необхідного ремонту.

Дефектація вузлів і деталей проводиться тільки після їх очищення і промивки.

При дефектації застосовуються наступні види контролю: зовнішній огляд – виявлення видимих пошкоджень (вимір товщини стінок корпусу і днища апарату) – визначення величини зносу, корозії, контроль взаємного розташування поверхонь, визначення вигину, викривлення, відхилення від осей.

Визначення дефектів, (виявлення мікротріщин, розшарування металу, стан структури металу, якості зварних швів), проводиться методами неруйнуючої дефектоскопії (рентгенографія, ультразвукова, кольорова, магнітна). Методи контролю і дефекти, що виявляються ними, вказані в таблиці 8.1.

Всі виявлені дефекти заносяться у відомість дефектів і усуваються в процесі ремонту.

Таблиця 8.1.

Метод контролю	Вид дефекту
Візуально-оптичний	Вм'ятини, гофри, хвилястість, випучини і ін. деформації корпусу і внутрішніх елементів. Корозія поверхні, тріщини.
Ультразвуковий (ГОСТ 14782-76)	Тріщини в металі шва і біляшовної зоні, в основному металі, розшарування металу.
Капілярний: люмінесцентний або кольоровий (ГОСТ 23349-78)	Тріщини зварного шва, біляшовної зони і основного металу, що виходять на поверхню, корозійне розтріскування, пори.
Радіографічний (ГОСТ 7517-72)	Внутрішні дефекти зварних швів і основного металу, зони ураження

	корозією.
Електроіндуктивний (метод вихрових струмів)	Відкриті і закриті поверхневі і підповерхневі дефекти, малорозкриті тріщини.
Магнітопорошковий	Поверхневі і підповерхневі тріщини, волосовина, неметалічні включення, надриви і ін.
Гаммаграфічний	Внутрішні приховані дефекти.
Гідравлічні випробування	Локальні точки в зварних швах, свищі, кризні пори, тріщини і ін.

## 8.5 Ремонт випарного апарата

### 8.5.1 Ремонт корпусу

8.5.1.1 Роботи по ремонту корпусу і його елементів проводяться за наслідками вимірів товщини стінок, обстеження і контролю зварних швів, механічних, корозійних і інших пошкоджень.

8.5.1.2 Ремонт полягає у видаленні дефектних ділянок, накладенні нових швів, установці латок або наплавленні металу.

8.5.1.3 Ремонт корпусних деталей апарату проводиться шляхом заміни дефектних ділянок.

8.5.1.3.1 Для корпусних елементів найбільш характерні:

- 1) механічні пошкодження у вигляді тріщин, вм'ятин, забоин, обрив внутрішніх і зовнішніх устроїв;
- 2) знос ущільнюючих поверхонь;
- 3) корозійний знос у вигляді загального і місцевого стоншування стінок;
- 4) відшаровування і здуття поверхневого шару металу;
- 5) дефекти зварних швів.

#### 8.5.1.3.2 Засоби відновлення корпусу, що рекомендуються:

- 1) оброблення пошкоджень до непошкодженого металу з подальшою заваркою;
- 2) видалення пошкодженої царги з подальшою вваркою нової царги.

8.5.1.4 При зменшенні товщини стінки корпусу апарату, в результаті суцільної корозії, більш мінімальної товщини стінки, корпус апарату відбраковується і ремонту не підлягає.

При зменшенні товщини стінки корпусу апарату, в результаті місцевої корозії, більш мінімальної товщини стінки і при займаній площі більше 1м<sup>2</sup> допускається замінити частину корпусу. При меншій площі корозії рекомендується встановлювати латку з попереднім видаленням дефектної ділянки.

8.5.1.5 Зварку тріщин, корозійних і ерозійних дефектів прозвести з урахуванням наступних вимог:

- 1) для запобігання розповсюдженню тріщин їх кінці засверлити свердлом 6-12 мм;
- 2) зачистити дефектне місце металевою щіткою і шліфмашинкою на відстані не менше 50 мм на сторону;
- 3) вибрати дефект до повного видалення і підготувати кромки (кут 50-60°) під зварку;
- 4) заварити підготовлене оброблення на 3-5 мм вище за поверхню стінки корпусу;
- 5) зачистити урівень з поверхнею корпусу виправлене місто шліфмашинкою.

8.5.1.6 Установку на корпусі і його елементах латок, штуцерів, фланців і, відповідно, оброблення кромки під зварювання, і наплавлення проводити згідно проекту ПКО. Зварювальні роботи виконуються по



програмах розроблених Головним зварювачем і затверджених Головним механіком.

### **8.5.2 Ремонт фланців**

8.5.2.1 Ризики, забоїни і інші невеликі дефекти, глибина яких не перевищує 0,1 мм, вивести з поверхні елементів ущільнення фланців притиранням, шабренням або пришліфовуванням по місцю.

8.5.2.2 Глибші ризики, вм'ятини, забоїни і тому подібне пошкодження усунути проточкою за допомогою спеціальних переносних або стаціонарних пристосувань, або на верстаті.

8.5.2.3 Глибокі ризики, тріщини, раковини і забоїни по всій поверхні ущільнення фланця ремонтуються наплавленням з подальшою проточкою на верстаті, або фланець замінюється на новий з того ж матеріалу.

### **8.5.3 Ремонт штуцерів**

8.5.3.1 Усунення дрібних дефектів провести механічним обробленням місць і їх заварюванням або наплавленням.

8.5.3.2 Видалення старого (дефектного) штуцера переважно проводити механічним способом.

8.5.3.3 Допускається місцеве наплавлення кромки отвору або наплавлення на зовнішній поверхні штуцера, якщо після видалення дефектного штуцера отвір в корпусі (кришці, днищі) вийшов овальної форми або більшого діаметру, чим потрібний. При цьому:

- 1) товщина наплавленого шару, як на корпусі, так і на штуцері повинна бути не більше 10 мм, а після механічної обробки – 8мм;
- 2) ширина наплавленого металу по утворюючій штуцера повинна бути більше товщини стінки на 15-20 мм;
- 3) наплавлену поверхню слід обробити і проконтролювати неруйнуючими методами на відсутність тріщин.

### **8.5.4 Ремонт труб і трубних решіток**

8.5.4.1 Що входить до числа ремонтних операцій чищення внутрішніх поверхонь теплообмінних трубок гріючої камери може бути проведена одним з трьох способів. Рекомендуються наступні методи очищення:

- а) хімічний;
- б) механічний (для нерозчинних відкладень)
- в) спеціальний.

Хімічне очищення проводиться 5 - 15% розчином соляної кислоти з добавкою інгібіторів.

Механічне очищення здійснюється за допомогою свердел, щіток (йоржів), бурів з подачею води або повітря для видалення продуктів очищення труб.

Очищення труб за допомогою води і повітря (гідропневматична) здійснюється повітряним пістолетом. Повітря під тиском 0,7 - 0,8 МПа і вода під тиском 0,5 - 0,6 МПа подаються шлангами. Гідропневматичне очищення труб в 8-10 разів скорочує час в порівнянні з механічною.

Гідромеханічний метод очищення труб.

Вода насосами високого тиску подається в порожнисту штангу, на кінці якої встановлено сопло. Струмінь води під великим тиском ріже і обриває відкладення від стінок поверхонь, що очищаються.

Ультразвуковий метод очищення.

Ультразвукові перетворювачі через посередством головок з вібраторами, що встановлюються в рідині (воді) усередині труб, що очищаються, дозволяють повністю видалити тверді відкладення, що руйнуються під тиском ультразвукових коливань і вимиваються звукопередаючим середовищем.

8.5.4.2 У трубних решітках кінці теплообмінних труб кріпляться розвальцюванням. Ремонт вузла полягає в усуненні розгерметизації вальцювального з'єднання, релаксації напруги тих, що виникли в наслідку корозії, дії циклических і термоциклічних навантажень.

8.5.4.3 Порушення герметичності може бути викликане порушенням цілісності труб або ослабленням вальцювального з'єднання. У першому випадку течії усунути установкою конічних пробок з обох боків дефектної трубки, а в другому - розвальцюванням з застосуванням розвальцювального інструменту з ручним, пневмо- або електроприводом.

8.5.4.4 При виході з ладу більше 10% теплообмінних труб всі вони замінюються повністю.

8.5.4.5 Дефектні трубки віддаляються за допомогою спеціального устаткування або уручну з використанням обламівання.

8.5.4.6 У трубних ґратах всі отвори захищаються від задирок, окалини, грязі і тому подібне Перед установкою трубок отвору в решітках продуваються повітрям і досуха протираються.

8.5.4.7 Нові трубки, що вставляються, відрізаються по довжині трубного пучка з надбавкою 8-10 мм довжини на сторону. Кінці трубок

зачищаються до металевого блиску на довжину, рівну товщині решітки із збільшенням 10 мм на сторону.

8.5.4.8 Зазор між зовнішнім діаметром трубки і отвором в решітках не повинен перевищувати 1,5% діаметру трубки.

8.5.4.9 Якість проведеного розвальцьовування оцінюється по висновкам виміру внутрішнього діаметру трубок а також при проведенні гідровипробувань апарату по відсутності течі в місцях розвальцьовування.

8.5.4.10 Корозійні дефекти, тріщини на торцевих поверхнях трубних грат, забоїні, вм'ятини, ризики на поверхні ущільнення усуваються відповідним обробленням дефектних місць з подальшою заварюванням або наплавленням і механічною обробкою (зачисткою, шліфванням, шабренням).

8.5.4.11 Трубні решітки вибраковуються:

- при перевищенні допустимого розміру діаметрів отворів під теплообмінні трубки
- при виявленні крізних тріщин, подовжніх рисок, свищів, пір, раковин в стінках отворів

Заміна решіток проводиться в умовах РМЗ, де після видалення теплообмінних трубок, дефектні трубні решітки замінюються на нові. Потім вмонтовуються теплообмінні трубки, проводиться їх розвальцьовування, контрольні виміри і гідровипробування.

## **8.5.5 Ремонт тарілок**

8.5.5.1 Чищення зовнішніх поверхонь і отворів в тарілках випарного апарату може бути проведена одним з двох способів:

- а) хімічним
- б) механічний

Хімічне очищення проводиться 5 - 15% розчином соляної кислоти з добавкою інгібіторів. Механічне очищення здійснюється за допомогою щіток (йоржів) з подачею води або повітря для видалення продуктів очищення отворів і поверхні тарілок.

8.5.5.2 Ремонт тарілок при викривленні, руйнуванні тарілок проводиться шляхом видалення дефектної ділянки в місцях найбільш придатних для ремонту. Потім проводиться виготовлення частини або повністю тарілки, з подальшою установкою, згідно ремонтних креслень.

## **8.6 Складання випарного апарату**

8.6.1 Складання випарного апарату проводиться відповідно до вимог складального креслення

8.6.2 Порядок складання полягає в наступному:

- 1) встановивши прокладки, провести монтаж кришки;
- 2) обтягнути кріплення на фланцевому з'єднанні еліптичної кришки з корпусом гріючої камери;
- 3) приєднати технологічні трубопроводи до всіх штуцерів апарату, встановивши прокладки, і затягнувши кріплення фланцевих з'єднань.

У разі виникнення необхідності опресовування трубного пучка після монтажу корпусу гріючої камери, кришку не встановлювати до закінчення гидровипробування.

## **8.7. Випробування випарного апарату**

8.7.1 Після закінчення ремонтних робіт виконати випробування апарату в два етапи:

- 1) випробування по міжтрубному простору при знятій кришці;
- 2) випробування по трубному простору при повністю зібраному випарному апараті.

8.7.2 Воду для випробувань трубного пучка застосовувати демінералізовану. Температура води для випробувань апарата має бути не нижче 5°C і не вище 40°C.

8.7.3 Воздушник при заповненні водою міжтрубного простору використовується вварна бобишка з різьбовою пробкою в штуцері виходу пари, а при заповненні трубчатого простору - така ж бобишка з пробкою в штуцері входу продукту. Ці ж бобишки можуть бути використані для установи контрольних манометрів при випробуванні.

8.7.4 Випарний апарат визнається таким, що витримав гідравлічні випробування якщо:

- в процесі випробування не виявлено падіння тиску по манометру, течі, крапель, потіння в течії п'яти хвилин.
- не виявлені залишкові деформації після випробувань;

8.7.5 Результати випробувань апарату, контролю зварних з'єднань, виконаних при капітальному ремонті, фіксуються в паспорті і ремонтному журналі.

## 9 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

### 9.1 Охорона праці

Охорона праці - це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних мір і засобів, спрямованих на збереження здоров'я й працездатності людини в процесі праці [13].

Умови праці на робочому місці, безпека технологічних процесів, роботи машин, механізмів, устаткування й інших засобів виробництва, стан засобів колективного й індивідуального захисту, використовуваних працівником, а також санітарно-побутові умови повинні відповідати вимогам нормативних документів.

#### 9.1.1 Основні фізико-хімічні властивості, токсичність, пожежо- і вибухонебезпечність речовин

Таблиця 9.1– Основні фізико-хімічні властивості сировини й готового продукту

№ п/п	Назва речовини	Емпірична формула	Агрегатний стан	Температура плавлення, °С	Температура кипіння, °С
1.	Азотна кислота	$\text{HNO}_3$	рід.	-42	83
2.	Аміак	$\text{NH}_3$	газ	-77,8	-33.34
3.	Аміачна селітра	$\text{NH}_4\text{NO}_3$	тв.	169,6	210
4.	Оксиди азоту	$\text{NO}, \text{NO}_2$	газ	-164	-154
5.	Порошок каустичний магnezитовий	н/м 75% Mg н/б 4,5% Ca ост. Si	тв.		

### 9.1.2 Небезпечні й шкідливі виробничі фактори в виробництві аміачної селітри

#### ***Виробництво аміачної селітри характеризується:***

- наявністю шкідливих і небезпечних речовин (аміак, азотна кислота, оксиди азоту, аміачна селітра, порошок каустичний магнезитовий, азот),
- наявністю апаратів і трубопроводів, що працюють під тиском,
- наявністю частин механізмів, що рухаються й обертаються,
- наявністю високої температури (до 200° С),
- застосуванням електричної енергії високого 6000 В і низької 220, 380 В напруги,
- розміщенням устаткування на висоті,
- зберіганням на складах великих кількостей амселітри, упакованої в поліетиленові мішки, що відрізняється небезпечними властивостями й здатної до загоряння (розкладання) при сильному нагріванні, потрапляння вогню або забруднення деякими домішками,
- горінням (розкладанням) аміачної селітри, що може відбуватися без доступу повітря, за рахунок кисню, що втримується в самій амселітрі,
- одержанням у випарних апаратах висококонцентрованого плаву аміачної селітри, схильного до розкладання з виділенням оксидів азоту у випадку перегріву, підвищеного вмісту вільної азотної кислоти або забруднення сторонніми домішками,
- застосуванням в якості сировини аміаку, азотної кислоти, що відрізняються токсичними властивостями; крім того, аміак схильний до утворення вибухонебезпечних сумішей з повітрям. Імовірність утворення вибухонебезпечних сумішей зростає при наявності в аміаку горючих домішок (водень, метан, СО і інші),
- транспортуванням по трубопроводах гарячих розчинів (плаву) амселітри, застосуванням для обігріву пари з тиском не менш 1,5 МПа (15 кгс/см<sup>2</sup>),



-наявністю значної кількості стрічкових конвеєрів для амселітри і вузлів пересипання при транспортуванні, можливості запиленості приміщень дрібно дисперсним пилом аміачної селітри, небезпекою влучення під автомобільний і залізничний транспорт, рівнем шуму вище норми.

Основними джерелами шуму в цеху є насоси упареного розчину амселітри, вакуум-насоси, осьові вентилятори, відцентрові вентилятори, відцентрові насоси.

### 9.1.3 Класифікація й категорійність виробництва і його приміщень

Таблиця 9.2 – Класифікація й категорійність виробництва і його приміщень

Найменування цеху, відділення, установки	Категорія приміщення по вибухопожежонебезпеці відповідно з ОНТП 24-86	Класифікація приміщень і зовнішніх установок по електроустаткуванню (ПУЭ-86)		Група виробничого процесу по санітарній характеристиці відповідно СНіП 2.09.04
		Клас приміщення	Категорія і група Вибухонебезпечних сумішей	
-відділення нейтралізації	Б	2	ПА Т1	Ш 6
-відділення донейтралізації	Б	2	ПА Т1	Ш 6
-відділення концентрування слабких розчинів амселітри й відкачки конденсатів випарки	Б	<b>2</b>	ПА Т1	<b>Ш 6</b>
-відділення випарки III ступені й гранулювання	Б	2	ПА Т1	Ш 6

-відділення упакування із транспортною естакадою	—	22	—	П г
-склад аміачної селітри	В	22	—	П г

Клас по санітарній характеристиці II

Ширина санітарно-захисної зони – 500 м

#### **9.1.4 Засоби запобігання шкідливих і небезпечних виробничих факторів**

##### **Вентиляція та опалення**

Для того щоб в технологічних приміщеннях не накопичувалися гази у вибухонебезпечних концентраціях або в концентраціях які перевищують санітарні норми, в звичайних умовах експлуатування передбачена примусова та природна витяжна вентиляція.

Для оповіщення про порушення в роботі приточних вентиляційних агрегатів передбачена світлова і звукова сигналізація з виносом на щит в ЦПУ.

В технологічних приміщеннях з виробництвами категорії А,Б,В,Е усі металеві повітряпровод та обладнання приточних та витяжних вентсистем повинні бути заземлені, площадки та інші місця і установки вентиляційного обладнання повинні бути освітлені.

Площадки для обслуговування вентсистем, стаціонарні сходи і пройоми у перекриттях повинні бути захищені перилами висотою не менш 1 м. Венткамери повинні бути оснащені засобами пожежегасіння.

Крім постійно діючих приточних систем передбачена аварійна витяжна вентиляція з видаленням повітря природнім шляхом – через шахти в покрівлі приміщення, яка забезпечує 8-кратний повітрообмін. Пряжки для конденсатних насосів і водопровідні канали обслуговуються постійно

діючою приточною вентиляцією, яка забезпечує в них 10-кратний повітрообмін.

Електродвигуни вентиляційних систем здійснюється у місцях установки вентиляційних агрегатів. Їх відключення здійснюється зі щита ЦПУ.

При аварійному відключенні робочих вентиляторів передбачено автоматичне включення електродвигунів резервних вентиляторів.

Приточні осеві вентилятори, які встановлені за зовнішніми стінами, виконуються в іскрозахищенному виконанні з електродвигуном у вибухобезпечному виконанні.

Аварійна вентиляція вмикається тільки автоматично по сигналізації датчика газоаналізатора типа ГОА 5501, ГОА – 21.

В зимовий період опалення здійснюється підігрітим повітрям через приточну вентиляцію та за допомогою батарей централізованого опалення.

### **Засоби боротьби з пилом**

Основним видом пилу на виробництві є роздроблені гранули аміачної селітри. Пил з'являється при механічному руйнуванні гранул селітри.

Основним напрямком боротьби з пилом на виробництві є попередження його утворення і надходження в повітря. Цей апарат встановлений на відкритому майданчику, але роботи проводяться всередині апарата і пиловидалення не можна попередити. Тому рекомендується застосовувати індивідуальні захисні засоби: респіратори типу «Лепесток», шлангові протигази ПШ-1, ПШ-2, захисні окуляри.

### **Заходи захисту від статичної електрики**

До таких способів ставлять захисне заземлення всіх металевих частин, а також захисне занулення.

Захисне занулення використається для електродвигунів, використовуваних на проектованому виробництві.

## Заходи електробезпеки

Щоб уникнути електротравматизму роблять недоступними струмопровідні потенціалу.

При поразки електричним струмом необхідно швидко звільнити потерпілого від дії електроструму. Для цього необхідно негайно частини (під напругою), електророзподільні мережі, застосування заземлюючих пристроїв, застосовується мала напруга, установка запобіжних вимикачів, застосування 2-ої ізоляції, вирівнювання відключити установку, встаткування або лінію, якої стосується потерпілий. Якщо потерпілий перебуває на висоті вжити заходів, що забезпечують безпеку падіння його після відключення електроструму.

При неможливості відключення установки, встаткування або лінії необхідно швидко відокремити потерпілого від струмоведучих частин. Для цього необхідно скористатися гумовими рукавичками, сухим одягом, дошкою або іншими сухими неметалічними предметами, що не проводять електричний струм.

Звільнити потерпілого від одягу, що стискує. Якщо потерпілий не дихає, робити йому штучне дихання з одночасним непрямим масажем серця, негайно викликати швидку медичну допомогу.

Якщо потерпілий знепритомнів, але дихає потрібно привести його в почуття, не допускаючи западання язика.

Про кожен нещасний випадок, що пов'язаний з виробництвом, сам потерпілий або свідок нещасного випадку зобов'язаний негайно сповістити начальника зміни й начальника цеху.

Всі електроустановки виробництва аміачної селітри мають надійну електроізоляцію. Електропроводка монтується закритою.

Для усунення переходу напруги на корпус апарату і на неструмоведучі частини електричного й технологічного встаткування при замиканні на них однієї з фаз, застосовують захисне заземлення.

До заходів щодо електробезпечності відносяться: забезпечення недоступності струмоведучих частин, які перебувають під напругою; усунення небезпеки поразки з появою напруги на корпусах, частинах електроустаткування, що досягається використанням малих напруг, застосуванням подвійної ізоляції; організація безпечної експлуатації електроустановок.

Розрахунок заземлюючого контуру установки для проєктованого виробництва аміачної селітри здійснюють, виходячи з умови, що загальний опір заземлюючого контуру  $R_{ззн}$  повинен бути меншим за 4 Ом.

### **Заходи пожежної безпеки**

Для забезпечення пожежної безпеки й дотримання протипожежного режиму необхідно:

- не допускати паління на території і у виробничих приміщеннях, розведення багать, використання сірників,
- не допускати застосування відкритого вогню, газо- і електрозварювальних робіт без оформлення дозволу на вогневі роботи,
- не допускати зберігання горючих і мастильних матеріалів, балонів з киснем, ацетиленом у непередбачених для цих місцях, спільне зберігання балонів з киснем і ацетиленом,
- не допускати захарашення проходів, виходів і підходів до засобів пожежогасіння, сигналізації, зв'язку,
- припинити вогневі роботи з появою запаху аміаку, при аварії і за розпорядженням майстра зміни або представника пожежної охорони,
- все електроустаткування повинне бути надійно заземлено,
- амселітру, що зайнялася, гасити тільки водою. Необхідно пам'ятати, що при загорянні амселітри виділяється велика кількість окислів азоту, тому підходити до вогнища пожежі потрібно з повітряної сторони і у протигазі,

- при загорянні електроустаткування або приладів КІПіА в першу чергу необхідно виключити електроживлення. Гасіння сухим піском, азбестовим полотном, порошковим і вуглекислотним вогнегасниками.

*Спеціальні заходи щодо забезпечення пожежної безпеки процесу виробництва аміачної селітри*

Для забезпечення пожежної безпеки процесу виробництва аміачної селітри передбачені:

- блокування по температурі плаву понад 185 °С, автоматична подача конденсату в лінію лугів,
- блокування по температурі розчину амселітри в реакційній зоні апаратів ВТН понад 165 °С, автоматичне припинення подачі аміаку, газів дистиляції, азотної кислоти в апарат ВТН і автоматична подача конденсату в реакційну зону апарата,
- місцеві відсоси пилу аміачної селітри від місць інтенсивного утворення
- щомісячне чищення устаткування й прибирання території у відділенні упакування від пилу аміачної селітри

Вимоги до утримання приміщень, примикаючих територій, проходів, проїздів.

У приміщеннях і зовнішніх установках всі проходи, евакуаційні виходи, тамбури, сходи, коридори, підступи до виробничого устаткування, засобом пожежогасіння, зв'язку й пожежній сигналізації завжди повинні бути вільними.

Протипожежні системи, установки, устаткування приміщень, будівель і споруджень повинні постійно утримуватися в справному робочому стані.

Прорізи в стінах, перегородки, перекриття повинні бути обладнані захисними пристроями проти поширення вогню й продуктів горіння. Не допускається встановлювати будь-які пристосування, що перешкоджають довільному закриттю дверей, а також знімати пристрої, що самозакриваються.

Стаціонарні зовнішні пожежні сходи, сходи на перепадах висот і огороження на дахах (покриття) будинків повинні втримуватися в постійній справності й бути пофарбованими.

У технологічних приміщеннях повинна бути забезпечена справна й безперебійна робота всіх вентиляційних пристроїв.

Експлуатація нагрівальних приладів, крім систем центрального й повітряного опалення, не дозволяється.

*Засоби пожежогасіння, призначення й правила їхнього застосування.*

Для пожежогасіння у виробництві аміачної селітри застосовуються ящики з піском, азбестове полотно, вогнегасники, комунікації пожежної води з пожежними кранами й рукавами, системи пожежогасіння.

Основними вогнегасними засобами є: вода, водяна пара, пісок, азбестове полотно, вогнегасники вуглекислотні й порошкові.

Вогнегасники ОУ-2, ОУ-5 застосовуються для гасіння твердих речовин, легкозаймистих і горючих рідин, електричних установок, що перебувають під напругою до 380 В.

Для гасіння устаткування, що перебуває під напругою до 1140 В, а також горючих речовин, використовуються порошкові вогнегасники ОП-5 і ОП-10. Для їхнього заповнення використовуються порошки, що не працюють корозійного впливу на устаткування. Вогнегасна дія вогнегасника заснована на тому, що робочий газ вогнегасника розпорошує порошок, при цьому створюється вогнегасна хмара.

Азбестове полотно застосовується для гасіння загоряння при невеликій площі пожежі.

Пісок застосовується в тих місцях, де варто очікувати розливу невеликих кількостей легкозаймистих і горючих рідин. Пісок зберігають у ящиках. Для закидання піском місць загорянь необхідно мати совок або лопату.

Гасити амселітру при загорянні тільки водою й обов'язково користуватися протигазом, тому що при горінні амселітри виділяється велика

кількість оксидів азоту. Підходити до вогнищу пожежі з підвітряної сторони. При гасінні пожежі забороняється ходити по штабелях, тому що можна провалитися в розплавлену аміачну селітру, що призведе до важких наслідків.

**Безпека виробництва аміачної селітри забезпечується наступними заходами:**

1. Передбачена аварійна світлозвукова сигналізація відхилень від норм основних параметрів технологічного процесу й стану роботи машин і апаратів.
2. Для виключення можливості переливів і переповнення ємнісного встаткування передбачена світлова й звукова сигналізація максимальних рівнів.
3. На фланцевих з'єднаннях трубопроводів, по яких транспортується азотна кислота, повинні бути встановлені захисні кожухи.
4. Трубопроводи, що транспортують газоподібний аміак, повинні бути заземлені.
5. Для захисту устаткування від підвищення тиску газоподібного аміаку, пари передбачені запобіжні клапани.
6. Для запобігання потрапляння рідкого аміаку в апарати ВТН, ДН
7. Апаратура на корозійних середовищах виконана з корозійностійких установлений випарник аміаку. Передбачена герметизація устаткування і фланцевих з'єднань.
8. На токсичних і вибухонебезпечних середовищах застосована сталева арматура з ущільнювальною поверхнею « шип-паз» або « виступ-западина».
9. Всі робочі місця цеху пов'язані із центральним пультом керування телефонами технологічного зв'язку. Робочі місця відділення упакування обладнані двостороннім гучномовним зв'язком.
10. Слюсарний інструмент для роботи на газопроводах аміаку при ревізії і ремонті повинен виключати іскроутворення.



11. Щоб уникнути травм всі обертові й частини, що рухаються, машин і механізмів надійно обгороджені. Змащення й ремонт обертювих і частин, що рухаються, механізмів і машин на ходу забороняється.

**Основні вимоги правил техніки безпеки при ремонті та монтажі технологічного устаткування.**

1. До ремонту устаткування можна приступати, переконавшись у відключенні ремонтюванюго обладнання запірними арматурами, заглушками, установленими на комунікаціях входу й виходу аміаку й азотної кислоти.

2. Одночасне розбирання конструкцій або демонтаж устаткування у двох або більше ярусах по одній вертикалі не допускаються. При проведенні робіт в одній вертикалі, нижче розташовані робочі місця повинні бути обладнані захисними пристроями (сітки, козирки).

3. Рознімання фланцевих з'єднань працюючих під тиском, робити поступовою паралельним відпуском протилежних болтів або шпильок до розкриття фланцевого з'єднання.

4. Затягування гайок при ремонті повинно бути рівномірним, щоб уникнути перенапруги в окремих болтах.

5. Під час складання й стикування секцій устаткування не застосовувати сторонні предмети.

6. Працювати інструментом, що відповідають наступним вимогам:

- кувалди й молотки повинні бути насаджені на рукоятки овального перетину, розклинені металевими клинами й виготовлені з дерева твердих порід (дуб, клен),

- гайкові ключі повинні бути справними й відповідати розмірам болтів і гайок, нарощувати довжину ключів іншими предметами забороняється.

7. До роботи з вантажопідйомними механізмами, до стропування вантажів допускаються спеціально навчені особи.

8. Забороняється застосовувати для стропування деталей несправні вантажозахватні пристрої, а також стропи, що не мають бирок.

Під час перерв у роботі не залишати підняті елементи обладнання у висячому положенні.

При роботі з вантажопідйомними механізмами не стояти під піднімаючим вантажем, і не допускати сторонніх у зону роботи.

9. Для живлення світильників повинне застосовуватися напруга не вище 12 В.

### **Допуск до проведення робіт**

Система допусків, дозволів і нарядів на проведення особливо небезпечних робіт є важливим засобом забезпечення безпеки при виконанні ремонтних робіт. Не можна починати ремонтні роботи без спеціального документа - допуску, у якому повинні бути наведені такі дані: склад бригади, час, місце і відповідальна за проведення робіт особа, визначені засоби безпеки, які обов'язкові для проведення робіт, а також зафіксований факт перевірки цих засобів, що підтверджується підписами осіб, які проводили перевірку. Допуск необхідно погодити з іншими підрозділами підприємства (пожежною охороною, газорятувальною службою) і затвердити головним інженером підприємства.

Вогневі роботи повинні виконуватися по спеціальному дозволу, складеному механіком цеху й заступником начальника цеху, підписаному начальником цеху й затвердженому головним інженером підприємства з обов'язковим узгодженням з пожежною охороною.

Газонебезпечні роботи повинні виконуватися по наряд-допуску, складеному механіком цеху й заступником начальника цеху, підписаному начальником цеху, представником ВГСО, інженером по ВІД і затвердженому головним інженером підприємства.

Перед проведенням ремонтних робіт необхідно скласти план організації робіт, що передбачає всі засоби по охороні праці й техніку безпеки в процесі проведення ремонтних робіт. Всі працівники повинні

ознайомитися із планом організації робіт і пройти інструктаж з техніки безпеки.

### **Організація робочого місця.**

Ремонт апаратів і комунікацій проводиться після їхньої зупинки й повного відключення від системи.

Необхідно забезпечити вільні проходи до ремонтovanого устаткування, шляху доставки деталей і інструмента, необхідних для ремонту. Зона проведення робіт повинна бути обгороджена, повинні бути вивішені попереджувальні плакати ("Ремонтні роботи", "Вогневі роботи", "Газонебезпечні роботи" і т.п.).

Риштування й підмости, застосовувані для ремонтних робіт, повинні бути міцними. Ліси по всій висоті повинні бути прикріплені до міцних частин будинків.

### **Організація робіт на висоті**

Роботи, виконувані на висоті 1,3 м від поверхні ґрунту, перекриття або робочого настилу, над якими виробляються роботи з монтажних пристосувань або безпосередньо з елементів конструкцій, устаткування, машин і механізмів при їхній установці, експлуатації, монтажі й ремонті, називаються роботами на висоті.

Ці роботи повинні виконуватися із застосуванням приставних сходів, драбин, риштування, лісів, що мають огороження або при обов'язковому застосуванні перевірених і випробуваних запобіжних поясів, якщо робота проводиться з необгороджених поверхонь.

До роботи на висоті допускаються особи не молодше 18 років, що пройшли медичний огляд відповідно до вимог, пропонованими до даної роботи.

Поверхня ґрунту, на яку встановлюються ліси або підмости, необхідно спланувати, утрамбувати й забезпечити відвід з її поверхневих вод.

Забороняється встановлювати ліси на зледеніння або на нерівні поверхні, а також вирівнювати під ними підкладку за допомогою цегли, каменів, обрізок дощок, клинів і інших випадкових предметів.

Забороняється кріпити ліси до парапетів, карнизам, балконам і іншим виступаючим частинам будинків і споруджень.

Забороняється підйом і спуск робітників по стійках лісів. Проріз у настилі лісів для виходу зі сходів повинен бути обгороджений із трьох сторін.

Скупчення на настилах людей в одному місці не допускається.

Монтаж і демонтаж лісів повинен виконуватися робітниками, постаченими запобіжними поясами, які прикріплюються до надійних елементів і конструкцій.

Настили й драбини лісів і риштовання слід після закінчення робіт очищати від сміття, снігу і зледеніння й при необхідності посипати піском.

Доступ людей, що не беруть участь у роботі, у зону, де проводиться установка й розбирання лісів, повинен бути закритий.

Під час грози й при вітрі силою 6 балів і більше роботу на лісах, а також їхній монтаж і демонтаж варто припинити.

При необхідності верхні кінці сходів повинні мати спеціальні гаки для закріплення до конструкцій.

Користуватися приставними сходами дозволяється тільки випробуваними.

Забороняється працювати з механізованим інструментом із приставних сходів.

### **Засоби забезпечення безпеки зварювальних і інших вогневих робіт**

До вогневих робіт відносяться виробничі операції, пов'язані із застосуванням відкритого вогню, іскроутворенням і нагріванням до температур, здатних викликати заpalення матеріалів і конструкцій (електрозварювання, електрогазорізка, бензорізка, паяльні роботи, обробка металу з виділенням іскор, варіння бітумів (розігрів) і т.п.).

При підготовці до вогневих робіт визначається небезпечна зона, границі якої чітко позначаються попереджувальними знаками й написами.

Апарати, машини, ємності, трубопроводи й інше устаткування, на якому будуть проводитися вогневі роботи, повинні бути зупинені, знеструмлені, звільнені від вибухонебезпечних, пожежонебезпечних, токсичних і інших продуктів, відключені заглушками від діючих апаратів, комунікацій (про що повинен бути зроблений запис у журналі установки й зняття заглушок), продуті азотом, парою, повітрям підготовлені до проведення вогневих робіт і здані по акту. Пускова апаратура, призначена для відключення машин і механізмів, повинна бути відключена й вжиті заходи, що виключають раптовий пуск машин і механізмів.

Місце проведення вогневих робіт необхідно забезпечити первинними засобами пожежогасіння (вогнегасник, ящик з піском, балон з азотом, лопата й цебро з водою, азбестове полотно).

Виконавці проведення вогневих робіт зобов'язані:

- пройти інструктаж з безпечного проведення вогневих робіт і розписатися в дозволі,
- мати при собі кваліфікаційне посвідчення (зварника, різьбяра) і посвідчення про проходження навчання по пожежно-технічному мінімумі,
- ознайомитися з умовами, характером і обсягом робіт на місці їхнього проведення,
- приступати до виконання робіт тільки за вказівкою відповідального за проведення цієї роботи,
- виконувати тільки ту роботу, що зазначена в дозволі,

-застосовувати засоби індивідуального захисту й дотримувати мір безпеки, передбачених дозволом і інструкціями, що діють на підприємстві,

-уміти користуватися засобами пожежогашіння й у випадку виникнення пожежі негайно вжити заходів до виклику пожежної частини й приступитися до ліквідації пожежі,

При проведенні вогневих робіт забороняється:

- робота на несправній апаратурі,
- робота без спецодягу й засобів захисту очей,
- працювати на незаземленому устаткуванні,
- проводити зварювальні роботи на устаткуванні, що перебуває під тиском пари, газу або заповненого горючою рідиною або кислотою,

До виконання вогневих робіт допускаються особи не молодше 18 років, що пройшли медичний огляд, перевірку знань інструкцій відповідно до Переліку, що мають кваліфікаційне посвідчення й посвідчення про проходження навчання по пожежотехнічному мінімуму.

#### *Підготовка об'єкта до проведення роботи:*

Підготовка устаткування, комунікацій і т.п. до проведення вогневих робіт здійснюється експлуатаційним персоналом під керівництвом відповідального за підготовку. При підготовці до вогневих робіт начальник цеху або зам. начальника цеху (начальник відділення) разом з майстром зміни визначають небезпечну зону, границі якої чітко позначаються попереджувальними знаками й написами.

Спалювані конструкції повинні бути захищені від влучення на них іскор екранами, азбестовим полотном, металевими аркушами або іншими неспаленими матеріалами, а також добре змочені водою.

Зливальні лійки, виходи з лотків і інші пристрої, пов'язані з каналізацією, у яких можуть бути горючі гази й пари, повинні бути надійно перекриті.

#### *Проведення вогневих робіт*

При проведенні вогневих робіт повинна бути призначена відповідальна особа із числа ІТП, не зайнятого в даний час веденням технологічного процесу, що знає правила безпечного проведення вогневих робіт.

У випадку підвищення змісту горючих речовин у небезпечній зоні, усередині апарата або трубопроводу вогневі роботи негайно припиняються. Ці роботи можуть бути відновлені тільки після з'ясування й усунення причин загазованості й відновлення нормального повітряного середовища.

Під час проведення вогневих робіт технологічним персоналом повинні бути вжиті заходи, що виключають можливість виділення в повітряне середовище пожежо-вибухонебезпечних речовин. Забороняється розкриття люків і апаратів, перевантаження й злив продуктів, а також інші операції, які можуть привести до виникнення вибухів або загазованості, проток ЛВЖ або запиленості, де проводяться вогневі роботи.

Якщо вогневі роботи проводяться усередині ємностей, то вони вимагають письмового дозволу головного інженера підприємства, погодженого з органами пожежного нагляду, наявності акту огляду ємності й дотримання особливих мір безпеки згідно зі спеціально розробленою інструкцією.

До цих мір відноситься: забезпечення максимального повітрообміну, якщо необхідно - примусового; обов'язкове заземлення ємності; цілісність ізоляції електрокабелів; наявність повного комплекту захисного одягу (діелектричні рукавиці, калоші, шоломи або каски).

Засоби забезпечення безпеки газонебезпечних робіт.

До газонебезпечних робіт відносять роботи, пов'язані з оглядом, чищенням, ремонтом, розгерметизацією технологічного устаткування, комунікацій, у тому числі роботи усередині ємностей, при проведенні яких є або не виключена можливість виділення в робочу зону вибухопожежо-небезпечної або шкідливої пари, газів і інших речовин, здатних викликати вибух, загоряння, зробити шкідливий вплив на організм

людини, а також роботи при недостатньому змісті кисню (об'ємна частка нижче 20%).

До газонебезпечних робіт ставляться роботи : усередині апарата ВТН, усередині донейтралізатора, роботи з установки й зняття заглушок, ремонту запірної й регулюючої арматур, по усуненню пропусків на трубопроводах аміаку й азотної кислоти.

Перед проведенням газонебезпечних робіт комунікації, технологічне і ємнісне встаткування, на якому будуть проводитися газонебезпечні роботи, повинне бути зупинене, скинутий тиск, звільнено від шкідливих і вибухонебезпечних продуктів, промито водою, продуто повітрям, парою, азотом.

Для оцінки якості виконання підготовчих робіт проводиться аналіз повітряного середовища на: масову концентрацію аміаку - не більше 20 мг/м<sup>3</sup>, оксидів азоту - не більше 5 мг/м<sup>3</sup> , при роботі усередині апаратів на об'ємну частку кисню – не менш 20%,

Виконуються газонебезпечні роботи в присутності відповідального за проведення газонебезпечної роботи, газорятівника або члена ДГСД бригадою не менш 2-х людина (працюючий і що спостерігає), які зобов'язані:

- пройти інструктаж з безпечного проведення газонебезпечних робіт і розписатися в наряді-допуску або в журналі газонебезпечних робіт,

- ознайомитися з умовами, характером і обсягом робіт на місці їхнього виконання,

- виконувати тільки ту роботу, що зазначена у наряді-допуску,

- застосовувати засоби індивідуального захисту й дотримувати мір безпеки, передбачені нарядом-допуском,

- уміти надавати першу допомогу постраждалим,

- стежити за станом товаришів по роботі, надавати їм необхідну допомогу.

При погіршенні власного самопочуття або виявленні ознак нездужання товаришів, роботу припинити й негайно сповістити про це відповідальному за проведення робіт,



Входити в газонебезпечне місце можна тільки з дозволу відповідального за проведення робіт і у відповідних засобах захисту, надягнутих за межами

Строк одноразового перебування працюючого в шланговому протигазі визначається нарядом-допуском, але не повинен перевищувати 30 хвилин. небезпечної зони.

Газонебезпечні роботи усередині ємностей виконуються бригадою не менше 2-х чоловік (працюючий і що спостерігає), при постійній присутності газорятівника. Перебування усередині ємності дозволяється, як правило, одній людині. При необхідності перебування в ємності більшого числа працюючих, розробляються, вносяться в наряд-допуск і додатково здійснюються міри безпеки, що передбачають призначення не менш одного спостерігаючого персонально на одного працюючого в апараті, порядок входу та евакуації працюючих, порядок розміщення шлангів, забірних патрубків протигазів, сигнально-рятувальних мотузок, наявність засобів зв'язку й сигналізації на місці проведення робіт і ін.

Для захисту органів дихання працюючих усередині ємності застосовуються шлангові або киснево-ізолюючі протигази. Застосування фільтруючих протигазів заборонено.

При проведенні робіт усередині ємностей спостерігаючий повинен перебувати в люці (лазу) ємності в такому ж спорядженні як і працюючий, маючи при собі ізолюючий протигаз у положенні "Напоготові".

Всі необхідні для роботи інструменти й матеріали повинні подаватися в ємність способом, що виключає їхнє падіння й травмування працюючих.

Вогневі роботи в ємностях проводяться при повністю відкритих люках (лазах) і повітрообміні, що забезпечує нормальні умови в зоні роботи.

### **Висновки й рекомендації**

1. Були виконані: креслення загального виду випарного апарата, креслення загального виду основних складальних одиниць, функціональна схема автоматизації.

2. У даному дипломному проекті були проведені розрахунки на міцність, жорсткість і стійкість проєктованого апарата. Також виконані технологічний і тепловий розрахунки встаткування. Дані розрахунки підтверджують надійність і безпеку впроваджуваного встаткування.

3. Всі розрахунки й креслення виконані відповідно до вимог діючої нормативно - технічною документацією.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

- 1 Производство аммиачной селитры. Миниович, Химия, Москва, 1968.
- 2 Производство аммиачной селитры в агрегатах большой единичной мощности, Иванов, Олевский, Химия, Москва, 1990.
- 3 Справочник азотчика , Издание 2 переработанное, Химия, Москва, 1987.
- 4 Бесков С. Д. Технохимические расчеты. М.: Высшая школа, 1966. – 520с.
- 5 Химическое и нефтяное машиностроение. 1971. - № 3.
- 6 ОСТ 26-01-1246-83. Корпуса стальные сварные вертикальных аппаратов с перемешивающими устройствами. Типы, параметры, конструкция и основные размеры.
- 7 ГОСТ 28759. 6-90. Прокладки из неметаллических материалов. Конструкция и размеры. Технические требования. – М.: Издательство стандартов, 1991. – 11 с.
- 8 Методически указания к расчету цилиндрических обечаек стальных сварных сосудов и аппаратов. – Северодонецк: СТИ, 2002. – 36с.
- 9 Методические указания к расчету выпуклых днищ и крышек, конических обечаек, днищ и переходов стальных сварных сосудов и аппаратов. – Северодонецк: СТИ, 2003, - 122 с.
- 10 Методические указания к расчету на прочность укрепления отверстий в обечайках, переходах и выпуклых днищах стальных сосудов и аппаратов. – Северодонецк: СТИ, 1999, - 24 с.
- 11 Методические указания к расчету на прочность и герметичность фланцевых соединений сосудов и аппаратов. - Северодонецк: СТИ, 2002. – 36 с.
- 12 Методические указания к выбору типов фланцевых соединений стальных сварных сосудов и аппаратов в курсовом и дипломном проектировании. - Днепропетровск: ДХТИ, 1993, - 56 с.
- 13 Методические указания к выполнению раздела охрана труда в дипломных проектах. – Северодонецк: СТИ, 2003, - 26 с.