МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМ. В. ДАЛЯ

Факультет хімічної інженерії

Кафедра Обладнання хімічних підприємств

Спеціальність 8.05050315 «Обладнання хімічних виробництв та підприємств будівельних матеріалів»

ВИПАРНИЙ АПАРАТ У ВИРОБНИЦТВІ КАЛІЄВОЇ СЕЛІТРИ ПОТУЖНІСТЮ 25 ТИС. Т/РІК

Пояснювальна записка

2020.001.00.000 ПЗ

Завідувач кафедри В. І. Созонтов

Керівник дипломного проекту В. Б. Модестов

Студент Д. П. Агафонов

2020

РЕФЕРАТ

Випарний апарат у виробництві квлієвої селітри потужністю 25 тис. т/рік. Дипломна робота магістра. СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ їм В. Даля – 94 с., 10 ілюстрацій, 3 таблиц, 26 бібл.назв.

Магістрська робота побудована у відповідності до стандарту освіти магістра та включає аналітичний огляд опублікованої літератури, інші інформаційних джерел, патентного огляду по даному напряму досліджень, обгрунтування вибору теми дослідження і аргументацію застосування методик, які використовуються, викладання отриманих результатів, їх аналіз і висновки.

Пояснювальна записка до дипломного проекту у стислій формі розкриває тему дипломного проекту, містить аналіз сучасного стану проблеми, методів вирішення завдань роботи, обґрунтування їх оптимальності, методики та результати розрахунків і висновки з них; містить необхідні ілюстрації, ескізи, таблиці, схеми, рисунки та ін. В ній відсутні загальновідомі положення, зайвий опис, виведення складних формул тощо.

Ключові слова: ВИПАРНИЙ АПАРАТ, КОНВЕРСІЙНИЙ МЕТОД, КАЛІЄВАЯ СЕЛІТРА, ОХОРОНА ПРАЦІ, ЕКОЛОГІЯ

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ 5
ВСТУП 7
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД 8
1.1 Аналіз сучасних методів виробництва калієвої селітри 8
1.2 Обгрунтування обраного методу виробництва 12
1.3 Сучасні конструкції випарних апаратів 15
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА 27
2.1 Опис технологічної схеми 27
2.2 Матеріальний баланс 30
2.3 Тепловий баланс 33
2.4 Технологічний розрахунок 36
3 ОПІС КОНСТРУКЦІЇ ТА ПРИНЦИПУ РОБОТИ ВИПАРНОГО АПАРАТУ 39
4 ВИБІР ОСНОВНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ 41
5 РОЗРАХУНКИ НА МІЦНІСТЬ, ЖОРСТКІСТЬ І СТІЙКІСТЬ 42
5.1 Розрахунок сепаратора 42
5.1.1 Визначення товщини стінки обичайки сепаратора 42
5.1.2 Розрахунок еліптичного днища сепаратора 45
5.1.3 Розрахунок конічного днища корпусу 46
5.1.4 Розрахунок зміцнення отворів 49
5.2 Розрахунок гріючої камери 50
5.2.1Визначення товщини стінки обичайки 50
5.2.2 Розрахунок зміцнення отворів 52
5.3 Розрахунок трубної решітки гріючої камери 56
5.3.1 Визначення товщини трубної решітки 56
5.3.2 Визначення допоміжних величин 57
5.3.3 Визначення зусиль в елементах апаратів 61

5.3.4 Визначення напружин в елементах апаратів 63
5.3.5 Розрахунок болтів 65
5.3.6 Розрахунок фланця на міцність 66
5.3.7 Умова жорсткості фланцевого з'єднання 67
6 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИПАРНОГО АПАРАТУ 69
6.1 Вимоги до виготовлення 69
6.2 Різання металу й обробка кромок 71
6.3 Виготовлення корпусу апарата 71
7 РЕМОНТ І МОНТАЖ 75
7.1 Вимоги до монтажу і експлуатації 76
7.2 Підготовчі роботи перед проведенням ремонту 77
7.3 Розбирання апарата, виявлення й усунення дефектів 78
7.4 Випробування апарата на міцність і герметичність 80
8 ОХОРОНА ПРАЦІ 81
8.1 Небезпечні і шкідливі виробничі фактори на виробництві 81
8.2 Заходи запобігання шкідливих і небезпечних виробничих факторів 82
8.3 Загальні вимоги до ремонтних робіт 86
9 ПРОМИСЛОВА ЕКОЛОГІЯ 89
9.1 Характеристика відходів, що утворюються на базовому об’єкті 89
9.2 Заходи, направлені на зниження кількості відходів 90
9.3 Заходи, спрямовані на зниження кількості забруднюючих речовин на виробництві 91
ВИСНОВКИ 93
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ 94

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

D – внутрішній діаметр обичайки, мм;

D_e - діаметр окружності, вписаної в максимальну безтрубну зону, визначається конструктивно;

D_0 – діаметр окружності, за межу якої не повинні виступати теплообмінні труби, мм;

D_p – розрахунковий діаметр укріплюваного елементу, мм;

D_i – зовнішній діаметр фланця або перехідної втулки, мм;

P - розрахунковий тиск в апараті, МПа;

$P_т$ - розрахунковий тиск в трубному просторі, МПа;

$P_м$ - розрахунковий тиск в міжтрубному просторі, МПа;

H_c – висота середовища в апараті, м;

g – прискорення вільного падіння, м/с^2;

ρ_c – густина робочого середовища в апараті, кг/м^3;

$E_{\grave{o}}$ – модуль поздовжньої пружності матеріалу труб при розрахунковій температурі, МПа;

R – радіус кривизни в вершині днища по внутрішній поверхні, мм;

φ – коефіцієнт міцності зварних швів;

φ_1 – коефіцієнт міцності зварного шва для штуцера;

S_p – розрахункова товщина стінки, мм;

S – товщина стінки обичайки (днища), мм;

S_1 – товщина стінки штуцера, мм;

χ - відношення допустимих напружин матеріалів конічної та циліндричної перехідних частин при розрахунковій температурі:

$[\sigma]_1$ – допустима напружина для матеріалу конічної перехідної частини при розрахунковій температурі, МПа;

$[\sigma]_2$ – допустима напружина для матеріалу циліндричної перехідної

частини при розрахунковій температурі, МПа;

C - сума добавок до розрахункової товщини стінки, мм;

$Ñ_1$ – добавка для компенсації корозії і ерозії до розрахункової товщини стінки корпусу, мм;

C_2 – добавка для компенсації мінусового допуску на товщину сталевого листа, мм;

C_S – надбавки до розрахункової товщини стінки штуцера, мм;

i – кількість труб, шт.;

l – довжина труб, мм;

$d_í$ – зовнішній діаметр штуцера, мм;

$À_1$ – площа перерізу "надмірного" металу зовнішньої частини штуцера, мм^2;

$À_2$ – зміцнюючого кільця, мм^2;

$À_3$ – внутрішньої частині штуцера, мм^2;

$À_4$ – зміцнюючого елементу, мм^2;

À – площа, що компенсується, перерізу металу, видаленого із стінки посудини для вварки штуцера, мм^2;

$\alpha_K, \alpha_ò$ – коефіцієнти лінійного розширення матеріалів відповідно кожуха та труб, 1/°C;

$t_k, t_ò, t_0$ – температури відповідно кожуха, труб і виготовлення апарата, °C;

$Å_ð, Å_1, E_2, E_ê, E_ä$ - модулі поздовжньої пружності матеріалів відповідно решітки, фланця кожуха, фланця розподільної камери, кожуха та камери при розрахунковій температурі, МПа;

S_1, S_2 – товщіна стінки кожуха та камери в місці з'єднання з трубною решіткою або фланцем, мм;

R_1, R_2 – радіуси центрів ваги тарілки фланця відповідно кожуха та камери, мм;

h_1, h_2 – товщини фланців відповідно кожуха та розподільної камери , мм;

b_1, b_2 – ширини фланців відповідно кожуха та розподільної камери, мм.

ВСТУП

Калієва селітра використовується в багатьох сферах промисловості та сільському господарстві. Вона є коштовним безбаластним добривом, що містить калій і азот. Найбільший ефект досягається при внесенні його під культури, що негативно відносяться до хлору: цукровий буряк, виноградники, тютюн, садові і ягідні культури, цитрусові та інші. У наслідок високої вартості і дефіцитності калієва селітра доки в сільському господарстві має обмежене вживання, в основному для гідропоніки.

Продукт вищого ґатунку використовують у виробництві електровакуумного і оптичного скла, для знебарвлення і освітлення кришталевих і технічних стекол. Продукт першого ґатунку входить до складу деяких порохів (містить солі кальцію і магнію не більше 0,002%) і піротехнічних композицій; в харчовій промисловості калієва селітра широко використовується для консервування м'яса та інших продуктів, в металургії – для загартування металів.

Застосовується вона також у виробництві фармацевтичній промисловості, використовується для виробництва емалей.

Порівняно з іншими добривами калієва селітра має наступні переваги:

- містить відразу два необхідних для зростання рослин елементи – азот і калій;

- містить азот у формі нітрату, який підсилює зростання рослин;

- не містить баластних речовин;

- не гігроскопічна.

Сучасне виробництво калійних добрив є одним з найбільш розвинених галузей тукової промисловості. Кількість цих добрив, що щорік поставляються сільському господарству, вимірюється десятками мільйонів тонн.

Крупні поклади калійних солей відомі в Німеччині, Канаді, Франції, Іспанії, США. Виробництво калієвої селітри постійно удосконалюється.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Аналіз сучасних методів виробництва калієвої селітри

Калієва селітра у природі зустрічається у вигляді невеликих відкладень. Штучним методом, відомим з давніх часів, калієву селітру отримують у «селітрицях» з компостів, у які входили навіз, золу та інше.

У результаті біохімічних процесів через деякий час у таких компостах утворювалась калієва селітра, до якої додавали воду та кристалізували, при цьому отримували відносно чистий продукт.

В промисловості калієву селітру отримують різними способами:

- конверсійним;
- прямим;
- катіонообмінним;
- нейтралізаційним.

Найбільшого поширення в промисловості набув конверсійний спосіб отримання KNO_3, що полягає в обмінному розкладанні $NaNO_3$ і KCl. Основними недоліками даного способу є:

- застосування дорогої кальцинованої соди, що призводить до високої собівартості готового продукту;
- утворення як відхід значної кількості розчину NaCl, який із-за домішок KNO_3 має обмежене застосування.

Конверсійні способи засновані на обмінному розкладанні між нітратами натрію, кальцію або амонію і хлоридом, сульфатом або карбонатом калію. [1]

У Франції розроблений і здійснений на практиці процес, заснований на реакції:

$$KC1+NH_4NO_3 \quad KNO_3 + NH_4C1 \qquad (1.1)$$

Істотним недоліком даного способу є необхідність після виділення нітрату калію при низьких температурах випаровувати надзвичайно агресивні розчини

хлориду амонію. Тому все устаткування, що знаходиться у контакті з NH_4Cl, виготовляється з молібденової сталі.

Розроблений в Швейцарії спосіб отримання калієвої селітри полягає в обмінному розкладанні хлориду калію з нітратом кальцію:

$$2KC1 + Ca(NO_3)_2 \quad 2KNO_3 + CaC1_2 \qquad (1.2)$$

Спосіб відрізняється багатостадійністю: після виділення при температурі мінус 10-20°С нітрату калію матковий розчин випаровують, подвійну сіль $KNO_3 \cdot CaCl_2 \cdot 2H_2O$, що виділяється при охолоджуванні до 20°С, повертають на першу стадію. З цієї солі при охолоджуванні розчину до мінус 10°С може бути виділений $CaC1_2 \cdot 6H_2O$. Вихід нітрату калію в даному способі не перевищує 76%, при - утилізації маткового розчину після відділення хлориду кальцію вихід KNO_3 може бути підвищений до 92%.

На основі нітрату кальцію і сульфату калію розроблений конверсійний процес отримання нітрату калію:

$$K_2SO_4 + Ca(NO_3)_2 \Leftrightarrow 2KNO_3 + CaSO_4 \qquad (1.3)$$

В даному способі гіпс фільтрують при 60°С, а з фільтрату при охолодженні до 20°С кристалізується нітрат калію. Щоб уникнути втрат калію у вигляді подвійної солі $CaSO_4 \cdot K_2SO_4 \cdot 2H_2O$ при кристалізації гіпсу в розчин вводять надлишок нітрату кальцію і ретельно контролюють цей надлишок. Домішки сульфатів і хлоридів магнію і натрію, що містяться в сировині, виводять при упарюванні маткового розчину. Одержаний таким чином продукт містить до 99,9% KNO_3. [2]

Найбільше промислове розповсюдження отримав спосіб отримання KNO_3, заснований на обмінному розкладанні $NaNO_3$ і КС1, що став традиційним:

$$KC1 + NaNO_3 \Leftrightarrow NaCl + KNO_3 \qquad (1.4)$$

Рівноважний вміст солей, що беруть участь в цій реакції, сильно залежить від температури процесу.

Прямі способи отримання калієвої селітри засновані на взаємодії хлориду калію з азотною кислотою, рідкими або газоподібними оксидами нітрогену:

$3KCl + 3HNO_3 = 3\ KNO_3 + 3HCl$ (1.5)

$3HCl + HNO_3 = NOCl + Cl_2 + 2H_2O$ (1.6)

$3KCl + 4HNO_3 = 3KNO_3 + NOCl + Cl_2 + 2H_2O$ (1.7)

$KCl + N_2O_4 = KNO_3 + NOCl$ (1.8)

При розкладанні хлориду калію 30—40%-ою нітратною кислотою при температурі нижче 60 °С основним газоподібним продуктом реакції є хлорид водню. При концентрації HNO_3 вище 40—50% і температурі – 60 - 100°С виявляється помітний вплив реакції (1.6) і в газову фазу виділяються більш летючі, ніж хлорид водню, хлор і нітрозилхлорид. Реакція (1.6) зворотня, вона зсовується вправо із збільшенням кислотності розчину і підвищенням температури. При розкладанні хлориду калію надлишком 65%-ої HNO_3 при температурі 80—100 °С реакція (1.6) практично повністю зсунута у бік утворення NOCl і Cl_2.

Повне очищення реакційних розчинів KNO_3 в 50—55%-вій HNO_3 від розчинених NOCl і Cl_2 (до 0,003—0,005% Cl_2) при атмосферному тиску досягається дистиляцією при температурі 120—125°С. Та ж ступінь вилучення хлоридів при тиску 0,15—0,24 МПа досягається при температурах 140—160°С.

Даний спосіб отримання калієвої селітри дозволяє організувати великотоннажне виробництво, його здійснення не вимагає дефіцитних лугів і великої витрати пари, спосіб володіє високою економічністю. Його основним недоліком є висока агресивність середовища і необхідність утилізації побічних продуктів - HCl, Cl_2, NaCl.. Основне устаткування головної стадії процесу виготовляють з титану, застосовують також засклене устаткування. Внутрішні частини колон ізолюють тефлоном. [3]

Катіонний спосіб - обмін між іонами калію й кальцію в еквівалентних співвідношеннях за допомогою твердих сорбентів – катіонітів. Процес одержання калієвої селітри методом катіонного обміну не складний по технологічному і конструктивному оформленню. Цей метод відрізняється рядом переваг від інших

способів виробництва KNO_3 (не вимагає дефіцитну сировину, менше витрати пари, частина апаратури може виготовлятися із чорних металів.

Катіонообмінний спосіб отримання калієвої селітри [6] схематично описується наступними рівняннями:

$$2К\ (катіонит) + Ca(NO_3)_2 = Ca\ (катіонит) + 2KNO_3 \quad (1.9)$$

$$Ca\ (катіонит) + 2КС1 = 2К\ (катіонит) + CaC1_2 \quad (1.10)$$

Катіонування проводять в реакторі, майже на всю висоту завантаженого катіонітом (зерна розміром 1—2 мм, наприклад марки КУ-1).

В циклі зарядки через катіонітовий реактор пропускають фільтрований розчин КС1. В циклі конверсії послідовно пропускають частково конвертований розчин нітрату кальцію (в розчині міститься KNO_3) з отриманням продукційного розчину, що містить близько 200 г/л KNO_3 і 60—100 г/л $Ca(NO_3)_2$, потім свіжий розчин $Ca(NO_3)_2$ з отриманням частково інвертованого розчину, і, нарешті, воду. Свіжий розчин $Ca(NO_3)_2$, одержаний з вапнякової щебінки і розбавленої нітратної кислоти, заздалегідь фільтрують на рамних фільтр - пресах. Продукційний розчин упарюють і з нього одержують первинні кристали KNO_3, а з них після перекристалізації - продукт із змістом 99,8% KNO_3.

Маткові розчини після первинної кристалізації приєднують до частково конвертованих розчинів $Ca(NO_3)_2$, маткові розчини після виділення готового продукту — до продукційних розчинів. [13]

Нейтралізаційний спосіб виробництва калієвої селітри. Процес виробництва калієвої селітри за цим способом [14] складається з двох основних стадій:

1) абсорбція нітрозних газів розчинами їдкого калію або поташу;

2) інверсії нітриту калію, що утворився в розчинах лужної абсорбції, в нітрат калію.

Недоліком цього методу є те, що застосовувані в якості сировини їдкий калій і гідрооксид калію містять багато домішок, тому для одержання досить чистого нітрату калію доводитися проводити перекристалізацію первинної солі. Але після декількох циклів переробки калієвої селітри в маткових розчинах

накопичується велика кількість домішок (хлориди, сульфати, карбонати й ін.). У зв'язку із цим з маткових розчинів неможливо навіть після двох перекристалізацій солі одержувати продукт, який по якості відповідав би калієвій селітрі першого гатунку. Такі маткові розчини доводиться відводити з виробничого циклу і окремо переробляти в добрива.

Отримання нітрату калію нейтралізацією лугів (NaOH, N_2CO_3) азотною кислотою внаслідок необхідності затрат дорогої сировини – їдкого калію ($KHCO_3$) та HNO_3 здійснюється рідко. Отриманий розчин, який містить біля 30% калієвої селітри, випарюють при 110-120^oC, відфільтровують від домішок на фільтрпресі та направляють на кристалізацію. Кристали висушують.

Також використовується метод отримання нітрату калію абсорбцією калієвими лугами нітрозних газів в обмежених масштабах через дефіцит їдкого калію. Цей процес аналогічний описаному вище. Інверсія проводиться при 70-80^{o}C з надлишком азотної кислоти до 30 г/л.

1.2 Обґрунтування обраного методу виробництва

Найпоширенішим способом виробництва нітрату калію є конверсійний, заснований на обмінному розкладанні:

$$KCl + NaNO_3 = NaCl + KNO_3 \qquad (1.1)$$

На рисунку 1.1 представлена діаграма розчинності $KCl + NaNO_3 = NaCl + KNO_3$ при температурі 5, 25, 50 і 100 ^{o}C у водній системі.

Як видно, при 5-25 ^{o}C розчинність солей калію значно менше, чим солей натрію (після кристалізації KNO_3 займає більшу частину площі квадрата), при 100^{o}C, навпаки, різко збільшується поле кристалізації NaCl. Якщо приготувати розчин еквімолекулярної суміші KCl і $NaNO_3$ при 100^{o}C, то фігуративна точка а сольової маси такого розчину, що лежить на перетинанні діагоналей квадрата, виявиться в полі кристалізації NaCl. При випарюванні із цього розчину води при

100°С, коли буде досягнуте насичення, почнеться кристалізація NaCl, і склад сольової маси розчину буде змінюватися по лінії ab.

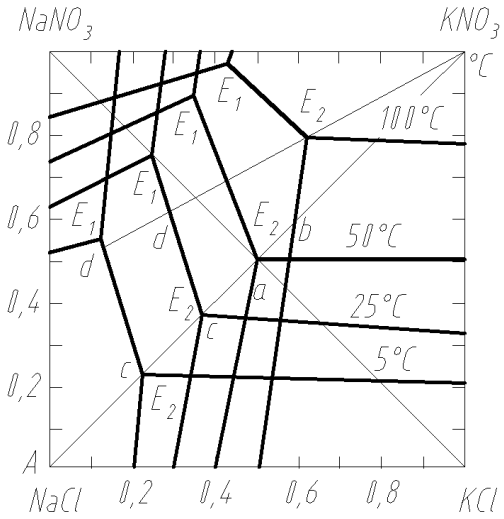


Рисунок 1.1 - Діаграма розчинності у водній системі

$KCl + NaNO_3 = NaCl + KNO_3$ при температурі 5, 25, 50 і 100 °С

У крапці b розчин стане насиченим також і KCl. Якщо кристали, що виділилися до цього моменту, NaCl відокремити й потім остудити розчин, наприклад до 5°С, то точка b виявиться в полі кристалізації KNO_3 - ця сіль і буде виділятися в осад при охолодженні, склад розчину буде змінюватися по лінії bc.

Тому що відстань між крапками a та b невелика, то при випарюванні води з розчину, що містить еквімолекулярні кількості $NaNO_3$ і KCl, в осад виділяється лише невелика кількість NaCl, і розчин незабаром стає насиченим також і KCl. Це зменшує й вихід кристалічного KNO_3 при охолодженні розчину. Щоб збільшити кількість відокремлюваного NaCl і підвищити вихід KNO_3, як видно з діаграми, слід уводити у вихідний розчин надлишок $NaNO_3$. Найбільший вихід виходить, якщо до кінця виділення NaCl розчин насичено трьома солями - NaCl, KCl і KNO_3, тобто сольова маса його зображується точкою E2. Тоді після відділення, що виділився NaCl кристалізація KNO_3 при охолодженні розчину йде по найбільш довгому шляхові E2d, що забезпечує найбільший вихід продукту.

Найбільш раціональним і економічним є здійснення обмінного розкладання $NaNO_3$ і KCl у циклічному процесі, коли кристалізація NaCl йде під час випарювання із системи води при постійному тиску й змінній температурі. Описи

та розрахунки такого оптимального циклу можуть бути зроблені за допомогою комбінації ізотермічного й ізобаричного перетинів діаграми.

На рисунку 1.2 представлений приклад оптимального циклу для випадку, коли кристалізація KNO_3 завершується при 50°С.

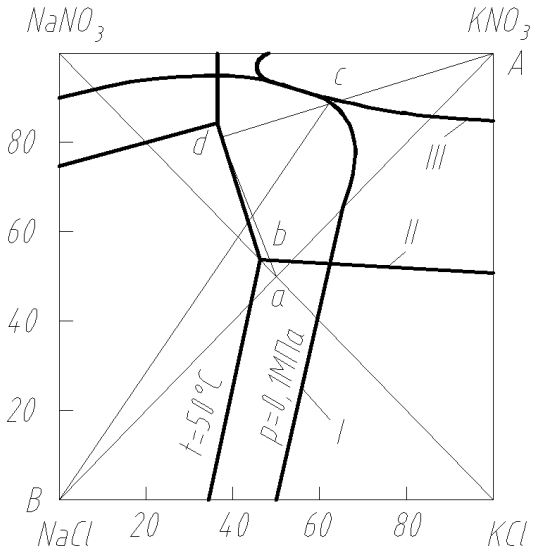


Рисунок 1.2 - Розчинність в системі KCl+$NaNO_3$ NaCl+KNO_3:

I - ізобара розчинності при тиску 105 Па;

II, III - ізотерми розчинності при 50 і 100°С.

Точка а на ізотермічному перетині характеризує склад маткового розчину після кристалізації KNO_3 на відрізку ba у процесі охолодження. На початку кристалізації сольовому складу розчину відповідає крапка b. Перед кристалізацією до нього додають таку кількість води, щоб він наситився хлоридом натрію лише при заданій температурі кінця кристалізації (50°С). Розчин b виходить у результаті випарювання води і кристалізації NaCl з киплячого розчину с. Точка с належить до ізобаричного перетину діаграми і лежить на промені випарювання Bcb. Вихідний розчин для випарювання с виходить при змішанні маткового розчину а з еквімолекулярною сумішшю KCl і $NaNO_3$.

Таким чином, цикл здійснюється по трикутникові cba. Чим вище сольовий коефіцієнт циклу (тобто відношення маси отриманого KNO_3 до маси випареної води), тем менше витрата енергії на випарювання. Чим вище кінцева температура

кристалізації KNO_3, тем менше витрати на охолодження розчину. Найбільш економічними є цикли з температурними інтервалами від точки кипіння до кінцевої температури кристалізації, що знаходиться в межах 50-25 °С. При цьому для променя розпарювання Bb оптимальні співвідношення $K+ : NO_3^-$ перебувають у межах 0,69-0,96. [15]

1.3 Сучасні конструкції випарних апаратів

Нині відома велика кількість найрізноманітніших конструкцій випарних апаратів. Єдиної класифікації випарних апаратів немає, і їх зазвичай, підрозділяють за принципом дії, типу циркуляції, способу підведення тепла, характеру руху розчину і розташування зони випару, орієнтації поверхні нагріву і іншим параметрам.

Випарні апарати з природною циркуляцією

Природна циркуляція розчинів в цих апаратах здійснюється за рахунок різниці щільностей розчину в сепараторі випарного апарата та пароросчинної суміші у зоні кипіння.

Випарний апарат з внутрішньою циркуляційною трубою (рисунок 1.3) складається із гріючої камери 1, яка представляє собою пучок труб 2, кінці яких закріплюються та ущільнюються у двох трубних решітках 3, і має у центральній частині зворотню циркуляційну трубу 4; сепаратора 5, встановленого над гріючою камерою; краплевідокремлювача 6, конічного днища 7, призначеного для часткового освітлення циркулюючої суспензії та видалення кристалів солі з апарата. Кут нахилу конічного днища має бути більше кута природного відкосу маси, що кристалізується.

Апарати цього типу прості по конструкції і надійні в експлуатації, але мають недоліки:

– низький коефіцієнт теплопередачі (700÷1400 Вт/(м^2·К);

– невелика швидкість циркуляції розчину (0,5–0,8 м/с);

– часті зупинення апарата на промивку (через 8–20 год), унаслідок заростання солями теплопередавальної поверхні;

– жорстке кріплення трубного пучка до корпуса апарата, що є причиною порушення щільності з’єднань труб з трубною решіткою.

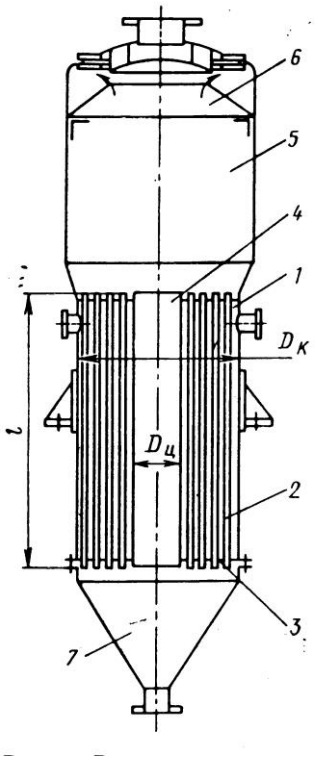


Рисунок 1.3 - Випарний апарат з внутрішньою циркуляційною трубою: 1– гріюча камера; 2– нагріваьні трубки; 3– трубні решітки; 4– циркуляційна труба; 5– сепаратор; 6–краплевідокремлювач; 7– днище

У ряді галузей промисловості для випарювання електролітичних щелоків, розчину сірчистого натрію, хлористого кальцію застосовують випарні апарати з підвісною гріючою камерою.

Випарний апарат, представлений на рисунку 1.4, складається з корпусу 1, гріючої камери 2, каплевідокремлювача 3. Гріючу пару подають в камеру по трубі 4, а конденсат відводиться з нижньої частини камери через штуцер 5. Розчин в апараті циркулює по контуру: трубки гріючої камери - кільцевий канал між стінками апарату і камерою. Наявність на трубі введення пари лінзових компенсаторів і відсутність жорсткого кріплення у верхній частині камери

дозволяють компенсувати різницю подовжень корпусу і камери і усунути порушення щільності в з'єднаннях труб з трубними решітками.

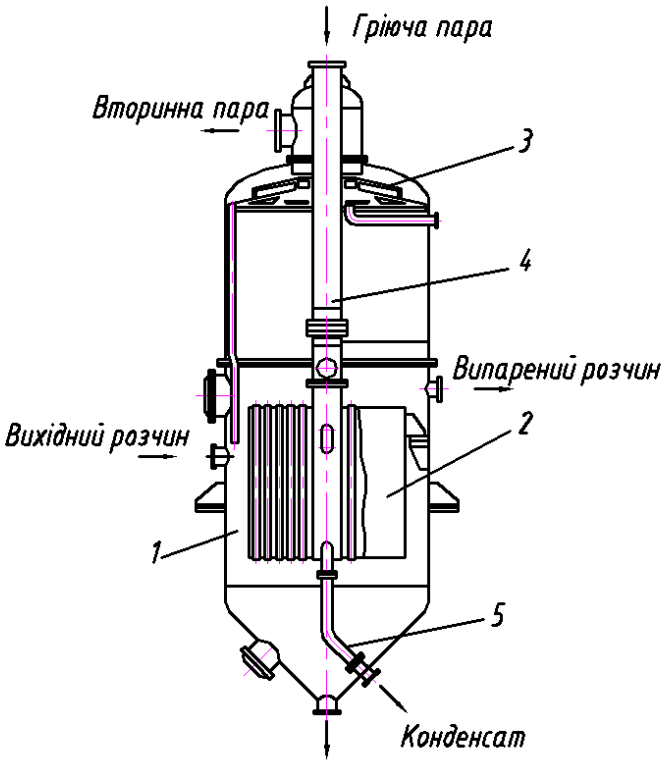


Рисунок 1.4 - Випарний апарат з підвісною гріючою камерою

Недолік цих апаратів - нерівномірність розподілу розчину по трубах при поверхнях більше 200м^2, що призводить до зниження ефективності випарювання.

Враховуючи специфічні особливості випарювання розчинів, що кристалізуються, інститутом УКРНДІХІММАШ розроблені спеціальні конструкції випарних апаратів з винесеною зоною кипіння. У апаратах такого виконання кипіння відбувається не в гріючих трубках, а у встановленій над ними трубі скипання. Випарні апарати з винесеною зоною кипіння мають високий коефіцієнт теплопередачі (до 2000 Вт/(м^2·К)) і тривалий час роботи між промиваннями (до 100 год.).

У промисловості застосовують випарні апарати із співісною і винесеною гріючими камерами. Випарні апарати із співісною гріючою камерою мають менший гідравлічний опір і, отже, їх питома продуктивність вища, ніж апаратів з винесеною гріючою камерою. Проте при співісному розташуванні гріючої камери ускладнюється доступ до гріючих трубок, їх чищення і ремонт. Якщо на

поверхні теплообміну в процесі експлуатації утворюється важкорозчинний накип, який видаляють механічним, гідромеханічним або гідравлічним способом, то необхідно застосовувати апарати з винесеною гріючою камерою. Такі апарати доцільно застосовувати також і в тих випадках, коли виникає необхідність в їх частих зупинках на ремонт.

Випарний апарат з винесеною гріючою камерою без часткового освітлення циркулюючої суспензії, представлений на рисунку 1.5. Він складається з гріючої камери 1, сепаратора 2, каплевідокремлювача 3, труби скипання 4, циркуляційної труби 5.

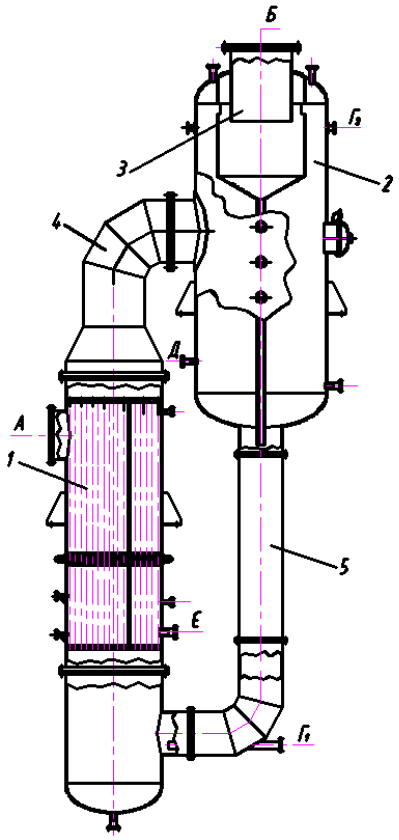


Рисунок 1.5 - Випарний апарат з винесеною гріючою камерою: 1 - гріюча камера; 2 - сепаратор; 3 - каплевідокремлювач; 4 - труба скипання; 5 - циркуляційна труба

Циркуляція розчину в апараті здійснюється по контуру: сепаратор-циркуляційна труба-гріюча камера-сепаратор.

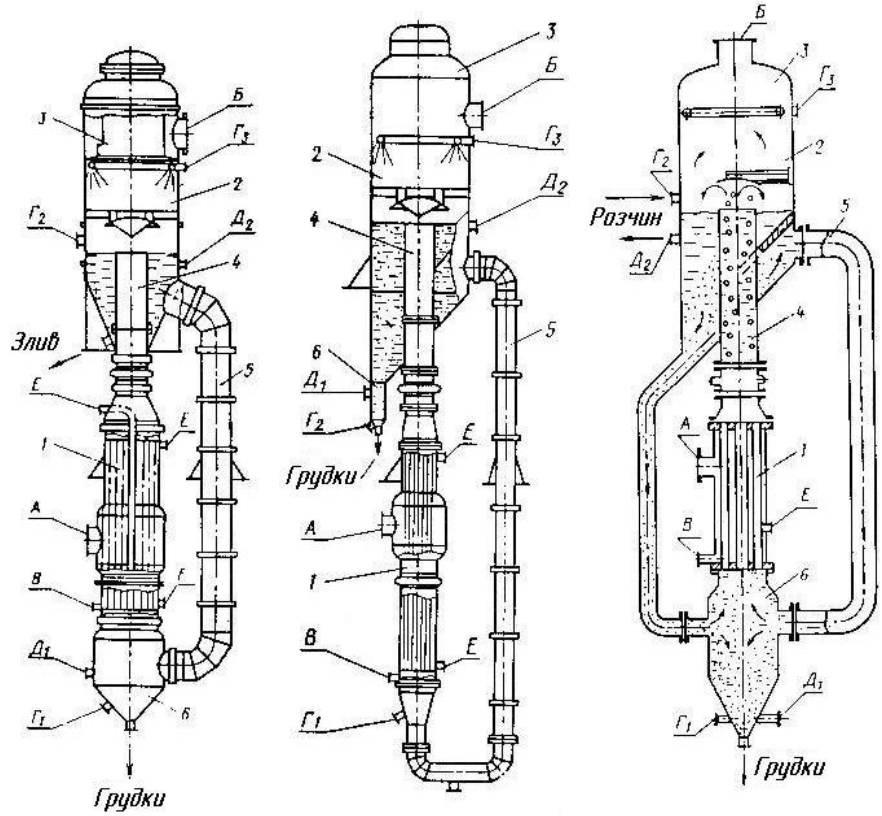
Розчин, що рухається по гріючих трубках, перегрівається в них відносно температури його кипіння в сепараторі і, потрапляючи в трубу скипання, закипає.

Кипіння розчину в трубі скипання відбувається в зоні, де тиск досягає величини, відповідній температурі насичення. Пароросчинна суміш, що утворюється в трубі скипання разом з кристалами солі поступає в сепаратор, де розділяється на парову, рідку і тверду фазу. Вторинна пара проходить через каплевідокремлювач, звільняється від крапель розчину і виходить з апарату через штуцер Б. Кристали солі разом з розчином циркулюють по контуру апарату і виводяться через штуцер Д. Обігрів апарату здійснюють гріючою парою, що подається в міжтрубний простір гріючої камери через штуцер А. Конденсат, що утворився, видаляється через штуцер В, а сдувка повітря з гріючої камери відбувається через штуцер Є.

Особливо слід розглянути спосіб введення початкового розчину в апарат. Початковий розчин у випарний апарат може подаватися через штуцери $Г_1$ або $Г_2$ залежно від режиму роботи апарату і температури розчину. Якщо температура початкового розчину нижче за температуру його кипіння в апараті, то розчин подають в штуцер $Г_1$ або $Г_2$ (залежно від умов монтажу). Якщо вище - він поступає через штуцер $Г_1$. Якщо в процесі випарювання з розчину виділяються і відкладаються на стінках сепаратора солі, то частину розчину (до 10%) подають через штуцер $Г_2$. При цьому необхідно пам'ятати, що температура розчину, що поступає через штуцер $Г_2$, має бути нижче за температуру кипіння розчину в сепараторі.

Випарні апарати без часткового освітлення суспензії мають наступні основні недоліки: зменшення швидкості циркуляції внаслідок збільшення в'язкості і щільності за наявності великої кількості твердої фази в контурі (30 - 40%); закупорювання трубок гріючої камери грудками солі. Ці явища призводять до зниження міжпромивального пробігу і ускладнення промивання із-за необхідності промивати кожну трубку окремо. З цих причин застосовувати випарні апарати без часткового освітлення циркулюючої суспензії для випарювання солевмісних розчинів на стадії виділення твердої фази недоцільно.

Вказаного недоліку позбавлені випарні апарати з частковим освітленням циркулюючої суспензії, показані на рисунку 1.6 (позиції і призначення штуцерів ті ж, що на рисунку 1.5).



а б в

Рисунок 1.6 - Випарні апарати з частковим освітленням циркулюючої суспензії: позиції 1-5 ті ж що і на рисунку 1.5, 6 - солевідокремлювач. Призначення штуцерів апаратів - див. текст до рисунку 1.5

На відміну від апарату, представленого на рисунку 1.5, ці апарати мають у своєму контурі зону відстою у вигляді солевідокремлювача 6. Його наявність забезпечує часткове відділення твердої фази від розчину, що дозволяє оберегти гріючі трубки від попадання грудок солі і утворення наростів, що сприяє їх закупорюванню. Час роботи апаратів з частковим освітленням між промиваннями значно перевищує час роботи апаратів без освітлення розчину. Випарний апарат з солевідокремлювачем (рисунок 1.6 а), найдоцільніше застосовувати для розчинів солей аморфної або дрібнокристалічної структури (наприклад, $MnSO_4$), що вимагають тривалого часу для зняття пересичення (до 25 сек.). Для випарювання

солей великокристалічної структури (NaCl., $NaCO_3$), пересичення яких можна зняти за декілька секунд, доцільно застосовувати апарати, представлені на рисунках 1.6 б, і 1.6 в.

Якщо з розчину при випарюванні виділяється незначна кількість твердої фази, то виведення її з апаратів з солевідокремлювачем необхідно здійснювати як через штуцер $Д_1$ (суспензія, що згущує), так і через штуцер $Д_2$ (освітлений розчин). Співвідношення твердої і рідкої фаз (Т: Ж) в суспензії, що виводиться з апарату, складає для апаратів без часткового освітлення твердої фази 1:3, для апаратів з частковим освітленням твердої фази - від 1:1 до 1:1,5. Для забезпечення нормальної роботи випарних апаратів рівень розчину в них необхідно підтримувати (наприклад, в апараті з виносною камерою - по нижній кромці штуцера введення в сепаратор пароріднинної суміші). Як пониження, так і перевищення оптимального рівня розчину в апараті призводить до зменшення його продуктивності і порушень в роботі (зменшення швидкості циркуляції, вібрації апарату).

Ефективність роботи випарних апаратів з природною циркуляцією залежить від корисної різниці температур, конструктивного оформлення контура циркуляції, фізико-хімічних властивостей розчину, умов проведення процесу випарювання і його стабільності. Мінімальне значення корисної різниці температур, що забезпечує стійку циркуляцію по контуру апарату, залежно від приведених вище чинників, коливається в межах (12÷20)°С, при цьому швидкість руху розчину по трубках гріючої камери 1-1,8 м/с, коефіцієнт тепловіддачі 1400-2200 Вт/м^2. [22]

Випарні апарати з примусовою циркуляцією

Випарні апарати з примусовою циркуляцією широко застосовують в різних галузях промисловості для випарювання солевмісних розчинів з виділенням твердої фази.

Відмінною рисою випарних апаратів з примусовою циркуляцією є те, що розчин транспортується по контуру циркуляції насосом. Наявність насоса

дозволяє збільшити швидкість руху розчину по контуру випарного апарату і, як наслідок, підвищити коефіцієнт теплопередачі [до 3000 Вт/(м^2·К)], зменшити швидкість інкрустації поверхні випарного апарату, збільшити час роботи між промиваннями до 30 діб. Оптимальна швидкість руху розчину по трубах гріючої камери складає 2,0 - 2,5 м/с. Подальше збільшення швидкості циркуляції недоцільне, оскільки це призводить до збільшення витрати електроенергії і механічного руйнування кристалів при практично незмінних коефіцієнтах теплопередачі і швидкості кристалізації.

Випарні апарати з примусовою циркуляцією можна експлуатувати при корисній різниці температур 5-8°С, що дозволяє збільшити кратність використання гріючої пари за рахунок збільшення числа корпусів випарної установки, а також збільшити середній розмір кристалів, що виділяються.

Найбільш поширені конструкції випарних апаратів з примусовою циркуляцією представлені на рисунках 1.7, 1.8.

У випарних апаратах без часткового освітлення циркулюючої суспензії (рисунок 1.7) по контуру апарату циркулює велика кількість кристалів і грудок солі (до 40 % по масі). Це призводить до частого повного закупорювання сольовими грудками окремих гріючих трубок і до інтенсивного ерозійного зносу деталей випарного апарату.

Останнім часом для запобігання закупорюванню гріючих трубок перед гріючою камерою встановлюють решітки. Проте, як показує практика, за наявності решіток збільшується опір контура циркуляції, ускладнюється обслуговування і не забезпечується повне запобігання закупорюванню гріючих трубок. Великий вміст твердої фази в циркулюючій суспензії призводить до зниження коефіцієнтів теплопередачі, збільшення витрати електроенергії на циркуляцію, подрібненню кристалів солі.

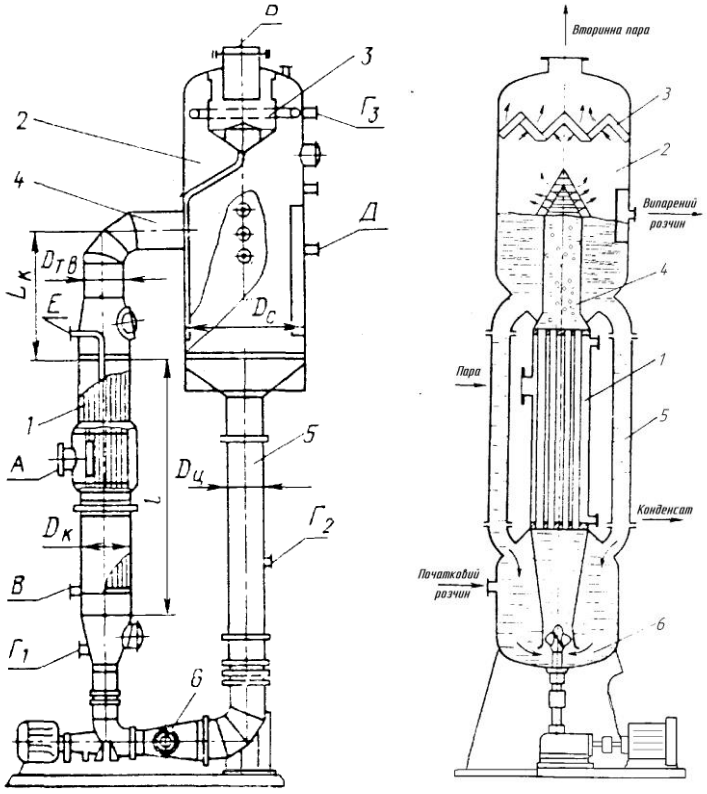


Рисунок 1.7 - Випарні апарати з примусовою циркуляцією без часткового освітлення циркулюючої суспензії: 1-гріюча камера; 2-сепаратор; 3-каплевідокремлювач; 4-труба скипання; 5-циркуляційна труба; 6- циркуляційний насос. Призначення штуцерів апаратів - див. текст до рисунку 1.5

У випарних апаратах з частковим освітленням розчину (рисунок 1.8) закупорювання гріючих труб практично не відбувається, оскільки найбільш великі кристали (розміром більше 160 мм) і грудки солі виводяться з контура циркуляції по вертикальному стояку через перфоровану трубу або решітки.

Перевагою випарних апаратів з вертикальним стояком-класифікатором є те, що в них кристали солей, що розміром менше виводяться висхідним потоком рідини, відносяться в конічне днище сепаратора. У зоні конічного днища поступово зменшується швидкість висхідного потоку, і кристали розміром близько 160 мкм знаходяться в зваженому стані. При цьому вони постійно контактують з пересиченим розчином і кристаллами, що виділилися в зоні труби скипання і в сепараторі. Внаслідок цього в зоні зваженого шару інтенсивно знімається пересичення розчину, кристали збільшуються в розмірі до 160 мкм і

більше, поступають в солевідокремлювач і виводяться з апарату. Дрібні кристали (менше 160 мкм) розчином, що подається через штуцер $Г_2$, відносяться в циркуляційний контур випарного апарату. Дрібні кристали мають велику питому поверхню, внаслідок чого вони інтенсивно знімають пересичення в циркулюючому розчині, зменшуючи при цьому інкрустацію поверхонь випарного апарату. Крім того, наявність дрібних кристалів в циркулюючій суміші сприяє інтенсифікації процесу тепловіддачі.

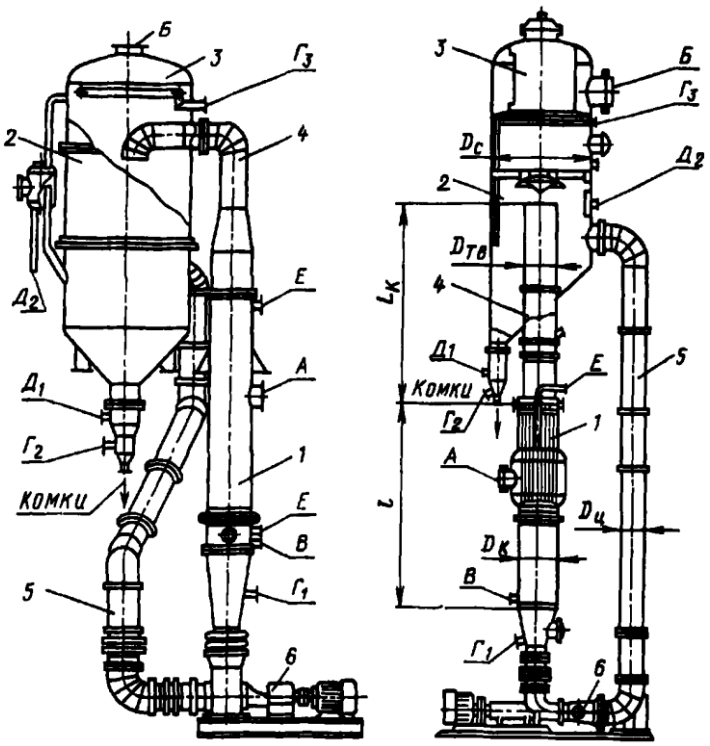


Рисунок 1.8 - Випарні апарати з примусовою циркуляцією і з частковим освітленням циркулюючої суспензії. Позначення ті ж, що на рисунку 1.7. Призначення штуцерів апаратів - див. текст до рисунку 1.5

Недоліком конструкцій, представлених на рисунку 1.8, є розташування рівня розчину в сепараторі нижче за рівень введення в нього суміші, що призводить до додаткової витрати електроенергії на забезпечення циркуляції суміші.

У випарних апаратах з примусовою циркуляцією як циркуляційні застосовують осьові одноступінчаті насоси з консольним розташуванням робочого колеса.

Плівкові випарні апарати

Плівкові випарні апарати відрізняються від апаратів з циркуляцією розчину тим, що випарювання в них відбувається при одноразовому проходженні розчину по трубках гріючої камери у вигляді тонкої плівки на внутрішній поверхні трубок. У центральній частині трубок гріючої камери з великою швидкістю рухається вторинна пара. Така організація руху потоків призводить до різкого збільшення коефіцієнтів теплопередачі від стінки до розчину, що випарюється, і зниження температурних втрат.

Нині в промисловості застосовують плівкові апарати з плівкою рідини, що піднімається і опускається, пристрій яких представлений на рисунку 1.9.

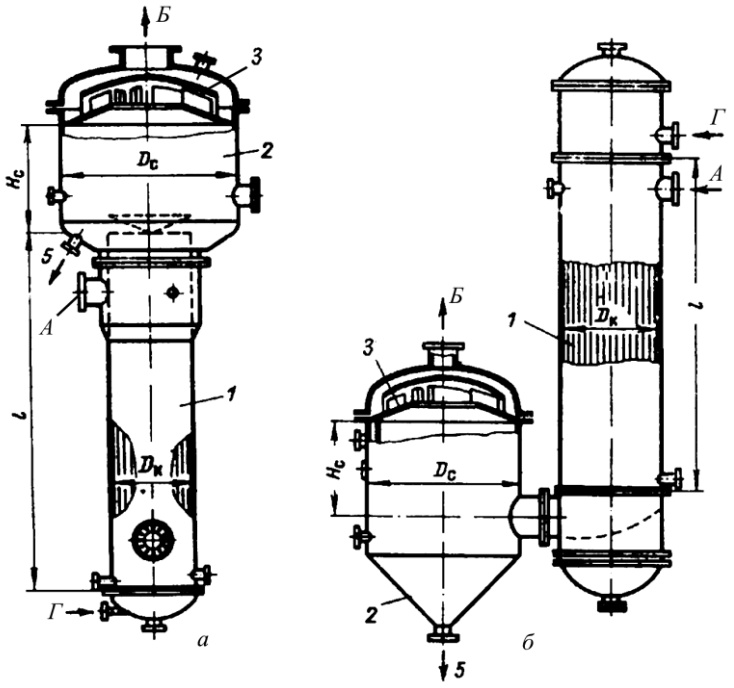


Рисунок 1.9 – Плівкові випарні апарати: 1 - гріюча камера; 2 - сепаратор; 3 - каплевідокремлювач. Призначення штуцерів див. текст до рисунку 1.5

Випарний апарат з плівкою (рисунок 1.9 а, б), що піднімається, складається з гріючої камери 1, сепаратора 2, каплевідокремлювача 3. Довжина гріючої камери більша, ніж у апаратів інших типів, і складає 7 ÷ 9 м.

Розчин на випарювання в апараті з плівкою, що піднімається, поступає в гріючу камеру знизу через штуцер. На рівні близько 20 % від загальної висоти труб настає інтенсивне кипіння розчину. Пара, що утворилася, за рахунок тертя

захоплює за собою розчин, який у вигляді плівки рухається вгору. Вторинна пара і випарований розчин видаляються з апарату через відповідні штуцери.

Досвід експлуатації цих апаратів свідчить про те, що в них не забезпечується умова прямоточності руху. Розчин рухається вгору по трубках нерівномірно, не усі частки розчину проходять шлях по трубці до верхнього її кінця. Багато хто з них, пройшовши частину шляху, обривається вниз, захоплюючи частинки, що рухаються їм назустріч. Таким чином, в даному випадку однопрохідного режиму руху розчину немає. До того ж в реальних умовах не витримується рівень розчину в трубках, і швидкість введення початкового розчину в трубний пучок, як правило, нижче за оптимальну. Усе це призводить до того, що апарати з плівкою, що піднімається, працюють, як апарати з природною циркуляцією, але з погіршеним циркуляційним контуром. Сфера застосування цих апаратів - випарювання малов'язких розчинів без твердої фази, у тому числі схильних до піноутворення і термічно нестійких.

При випарюванні в'язких розчинів доцільніше використовувати випарні апарати з плівкою (рисунок 1.9 б), що падає, в яких початковий розчин подається згори через штуцер і стікає вниз у вигляді плівки під дією сили тяжіння. Вторинна пара поступає в сепаратор, розташований нижче гріючої камери, Умови плівкоутворення в таких апаратах кращі, проте значні труднощі викликає розподіл початкового розчину по трубках гріючої камери (особливо при поверхні апаратів більше 100 м^2).

В цілому, внаслідок серйозних недоліків, плівкові апарати витісняються вертикальними апаратами з циркуляцією розчину по контуру. [26]

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Опис технологічної схеми

Луги нітрату натрію зі сховища подаються в розчинник хлористого калію поз. 1, у якому підігріваються парою, що подається в змійовик розчинника. При досягненні температури 80-95°С у розчинник завантажується хлористий калій.

Під час завантаження проводиться перемішування розчину мішалкою від електроприводу, температура розчину підтримується в межах 80-95 °С.

Кількість хлористого калію, що завантажується в розчинник поз. 1 визначається розрахунковим шляхом по щільності та об'єму лугів нітрату натрію в розчиннику поз. 1 і заданого еквімолекулярного співвідношення.

Приготовлений розчин з розчинника насосом через фільтр-прес поз. 2 перекачується в буферний бак поз. 3.

З буферного бака свіжого розчину поз. 3 фільтрований розчин KCl + $NaNO_3$ періодично перекачується в випарний апарат поз. 4.

Промивна вода після попередньої операції промивання шламу хлористого натрію у фільтрі поз. 20, подається в випарний апарат поз. 4. Рівень у збірнику промивної води поз. 27 після кожної операції залишається незмінним.

Необхідний для оптимального процесу конверсії надлишок $NaNO_3$ стосовно KCl створюється дозуванням первинного маткового розчину зі збірника первинного маткового розчину поз. 12. Об'єм первинного маткового розчину, що подається в випарний апарат (як правило два рази за операцію) не менш 4м^3.

Промивна вода і первинний матковий розчин подаються в випарний апарат періодично. Утворення нітрату калію відбувається по реакції:

$$NaNO_3 + KCl = KNO_3 + NACl$$

Розпарювання розчину проводиться зредуцированою парою від тиску 1,0-1,7 МПа до тиску 0,5 МПа. Подача пари в камеру, що гріє, випарного апарата поз. 4 регулюється дистанційно. Освітлений матковий розчин з відстійної зони

випарного апарата подають у трубки випарної камери, що гріє, 5, де нагрівають паром до 130-150^{0}С.

По закінченні процесу конверсії температура розчину повинна бути 125-135^{o}С, щільність розчину 1680-1750 г/дм^3.

Пара, що утворюється в процесі конверсії, надходять у сепаратор поз.7 і конденсатор поз.8 для відділення крапель реакційного розчину.

Упарений і проконвертований розчин з випарного апарата поз. 4 самопливом подається в збірник поз. 9, звідки подається на центрифугу поз. 10, з якої фільтрат (реакторний розчин) надходить у збірник реакторного розчину поз. 11, а шлам хлористого натрію відмивається від іонів калію паровим конденсатом до вмісту KNO_3 не більше 1-2%.

Промивна вода, що утворилася при промиванні шламу хлористого натрію від іонів калію, направляється в збірник промивних вод поз. 12, з якого в міру необхідності відцентровим насосом перекачується в випарний апарат поз. 4.

Шлам після відмивання паровим конденсатом, просушується парою, розчиняється конденсатом або оборотною водою і видається в розчинник хлористого натрію.

Реакторний розчин зі збірника реакторного розчину поз. 11 насосом подається в кристалізатор 1 ступеня поз. 13.

У зв'язку з тим, що реакторний розчин містить значну кількість хлористого натрію, у кристалізатор 1 ступеня поз. 13 подається вторинний матковий розчин, що насичений калієвою селітрою і тому в процесі відмивання не впливає на вихід готового продукту, але різко знижує процентний вміст хлористого натрію в первинному розчині.

Вторинний матковий розчин подається у кристалізатор поз. 13 відцентровим насосом зі збірника вторинного маткового розчину поз. 27.

Реакторний розчин і вторинний матковий розчин з температурою не менш 60^{0}С надходять у кристалізатор поз. 13.

За рахунок кипіння у вакуумі не менш 90 кПа, розчин охолоджується з утворенням суспензії калієвої селітри. Температура суспензії на виході із кристалізатора поз. 13 повинна бути не вище 60^0С.

Суспензія калієвої селітри із кристалізатора поз. 13 надходить у зрівняльний бачок поз. 14 і подається у відстойник поз. 16.

У відстойнику поз. 16 за рахунок відцентрової сили відбувається розподіл суспензії на матковий розчин, що йде в збірник поз. 12 і загущену суспензію, що надходить у розчинник первинного кристалу поз. 18 у якому відстоюється.

Під час відстоювання відбувається відділення кристалів від первинного маткового розчину.

Кристали збираються над сіткою, а матковий розчин, пройшовши крізь сплетіння сітки, надходить у нижню частину розпарника, з якого відкачується в збірник первинного маткового розчину поз. 12.

Промиті кристали калієвої селітри розпарюються шляхом подачі пари в барботер розчинника. Розпарені кристали з розчинника через фільтр-прес поз. 20 подають у кристалізатор II ступеня поз. 22.

Розчин, що надійшов у кристалізатор I ступеня поз. 13, охолоджується за рахунок кипіння у вакуумі не менш 90 кПа з утворенням суспензії.

Освітлений розчин з відстійних зон кристалізатора через переливні посудини поз. 21 надходить у розчинник поз. 24, де розчиняються дрібні кристали калієвої селітри і далі подається в згущувач поз. 25. У згущувачі поз. 25 відбувається розподіл суспензії на матковий розчин, що йде в збірник поз. 27 і загущену суспензію, що надходить у розподільну коробку центрифуги поз. 26.

Рідка фаза - матковий розчин із центрифуги самопливом надходить у збірник поз. 27 і подається в кристалізатор 1 ступеня поз. 13.

Кристали із центрифуги надходять у сушарку з киплячим шаром поз. 28, далі у бункер готового продукту і далі на пакування. [5]

2.2 Матеріальний баланс

Вихідні дані:

Продуктивність установки 25000 т/рік

Фонду робочого часу 8000год/рік

Склад калієвої селітри марки Б, % мас.:

KNO_3 - 99,9%;

H_2O – 0,08%;

NaCl – 0,02%.

Калій хлористий по ГОСТ 4568-95:

KCl -96,1%;

NaCl – 2,85%;

H_2O – 1,05%.

Щелока нітрату натрію:

$C_{NaNO_3} = 340$ г/дм^3;

$C_{NaNO_2} = 0{,}2$ г/дм^3;

$C_{Na_2CO_3} = 0{,}35$ г/дм^3.

Тривалість однієї операції випарювання (включаючи час завантаження і вивантаження) – 1год. 15 хв. (по досвіду експлуатації виробництва, що діє). [5]

Початкова температура розчину - 80^{o}C.

Температура упареного розчину - 130 ^{o}C.

Щільність упареного розчину -1715 г/дм^3.

Ступінь перетворення KCl – 95,94%.

Надлишок $NaNO_3$ – 1,13%.

Гріюча пара – 0,5 МПа.

Добова продуктивність установки

$$m_{\text{ê.ñåë.,äîá}} = \frac{\text{Ï}}{\tau} \cdot 24 \qquad (2.1)$$

$$m_{\text{ê.ñåë.,äîá}} = \frac{25000}{8000} \cdot 24 = 75 \text{ т/добу}$$

За одну операцію повинно вироблятися

$$m_{\text{ê.äîá.}} = \frac{m_{\text{ê.ñåë.,äîá}}}{24 \cdot 60} \cdot (1 \cdot 60 + 15) = \frac{75000}{24 \cdot 60} \cdot 75 = 3906 \text{ кг}$$

У готовому продукті міститься

$$m_{KNO_3} = \omega_{KNO_3} \cdot m_{\text{ê.ñåë.}} = \frac{99,9}{100} \cdot 3906 = 3891,9 \text{ кг}$$

$$m_{H_2O} = \frac{0,08}{100} \cdot 3906 = 3,1 \text{ кг}$$

$$m_{NaCl} = \frac{0,02}{100} \cdot 3906 = 0,8 \text{ кг}$$

Теоретична витрата хлориду калію по рівнянню реакції конверсії [7]

$$\underset{85}{NaNO_3} + \underset{74,5}{KCl} \rightarrow \underset{101}{KNO_3} + \underset{58,5}{NaCl}$$

$$m_{\text{KCl òåîð}} = \frac{74,5 \cdot 3891,9}{101} = 2870,8 \text{ кг}$$

З урахуванням ступеня перетворення

$$m_{KCl} = \frac{m_{\text{KCl òåîð}}}{\tilde{o}} = \frac{2870,8}{0,9594} = 2992,2 \text{ кг}$$

У хлористому калії за ГОСТ 4568-95 також міститься

$$m_{NaCl} = \frac{m_{KCl}}{\omega_{KCl}} \cdot \omega_{NaCl} = \frac{2992,2}{96,1} \cdot 2,85 = 88,7 \text{ кг}$$

$$m_{H_2O} = \frac{2992,2}{96,1} \cdot 1,05 = 32,7 \text{ кг}$$

У побічних продуктах виробництва міститься

$$m_{\text{KCl îñá}.} = 2992,2 - 2870,8 = 121,4 \text{ кг}$$

Стехіометрична кількість натрієвої селітри складає

$$m_{\text{NaNO}_3\text{òåîð.}} = \frac{m_{KCl}}{74,5} \cdot 85 = \frac{2992,2}{74,5} \cdot 85 = 3413,9 \text{ кг}$$

З урахуванням надлишку

$$m_{NaNO_3} = (1 + \alpha_{èçá.}) \cdot m_{NaNO_3 òâîð.} = (1 + 0{,}0113) \cdot 3413{,}9 = 3452{,}5 \text{ кг}$$

У побічних продуктах міститься:

$$m_{NaNO_3 ïîá.} = 3452{,}5 - \frac{2870{,}8}{74{,}5} \cdot 85 = 177{,}1 \text{ кг}$$

Об'ємна витрата щелоків нітрату натрію

$$V_{ù.íèòð.í.} = \frac{m_{NaNO_3}}{C_{NaNO_3}} = \frac{3452{,}5}{340} = 10{,}15 \text{ м}^3$$

Окрім $NaNO_3$ в щелоках міститься

$$m_{Na_2CO_3} = C_{Na_2CO_3} \cdot V_{ù.íèòð.í.} = 0{,}35 \cdot 10{,}15 = 3{,}6 \text{ кг}$$

$$m_{NaNO_2} = C_{NaNO_2} \cdot V_{ù.íèòð.í.} = 0{,}2 \cdot 10{,}15 = 2{,}0 \text{ кг}$$

$$m_{ù.íèòð.í.} = \rho \cdot V = 1220 \cdot 10{,}15 = 12388{,}4 \text{ кг}$$

$$m_{H_2O} = 12388{,}4 - (3452{,}5 + 3{,}6 + 2{,}0) = 8930{,}3 \text{ кг}$$

Окрім щелоків нітрату натрію і хлористого калію, у випарний апарат подають промивальні і маткові розчини з розрахунку 650 кг/т калієвої селітри.

Для спрощення розрахунку приймаємо склад додаткових розчинів – 100% H_2O. [4]

Тоді у випарний апарат додатково подається

$$m_{H_2O} = \frac{650}{1000} \cdot 3906 = 2532{,}3 \text{ кг}$$

В ході реакції конверсії утворюється NaCl

$$m_{NaCl} = \frac{2870{,}8}{74{,}5} \cdot 58{,}5 = 2254{,}3 \text{ кг}$$

По досвіду виробництва, що діє, на 1т калієвої селітри побічно утворюється 2400кг конденсату, тобто в процесі випарювання випаровується води

$$m_{H_2O èñï.} = \frac{2400}{1000} \cdot 3906 = 9349{,}9 \text{ кг}$$

В упареному розчині міститься води

$$m_{H_2O êîí.} = 8930{,}3 + 32{,}7 + 2532{,}3 - 9349{,}9 = 2145{,}4 \text{ кг}$$

Зведемо отримані дані в таблицю 2.1 матеріального балансу

Таблиця 2.1 - Матеріальний баланс

Прихід	кг	Витрата	кг
Щелока	12388,4	Упарений розчин	8684,4
в т.ч. $NaNO_3$	3452,5	в т.ч. KNO_3	3891,9
Na_2CO_3	3,6	NaCl	2343,0
$NaNO_2$	2,0	KCl	121,4
H_2O	8930,3	$NaNO_3$	177,1
Хлористий калій	3113,6	Na_2CO_3	3,6
в т.ч. KCl	2992,2	$NaNO_2$	2,0
NaCl	88,7	H_2O	2145,4
H_2O	32,7	Вторинна пара	9349,9
H_2O	2532,3	в т.ч. H_2O	9349,9
Разом	18034,3	Разом	18034,3

2.3 Тепловий баланс

Рівняння теплового балансу випарного апарату

$$Q + m_{íà÷.} \cdot C_{íà÷.} \cdot t_{íà÷.} = m_{êîí.} \cdot C_{êîí.} \cdot t_{êîí.} + WI_{âò.} + Q_{íåò.} \qquad (2.2)$$

де Q – теплота конденсації гріючої пари;

W – кількість випареної води;

$I_{вт.}$ – ентальпія вторинної пари;

$Q_{пот.}$ – тепловтрати, приймаємо 3%.

Крім того, повинна враховуватися теплота хімічної реакції

$$NaNO_3 + KCl \rightarrow KNO_3 + NaCl$$

$$\Delta Í_{ðåàêö.} = \left(\Delta Í^{o}_{KNO_3} + \Delta Í^{o}_{NaCl}\right) - \left(\Delta Í^{o}_{KCl} + \Delta Í^{o}_{NaNO_3}\right) \qquad (2.3)$$

$$\Delta Í_{ðåàêö} = \left(-492{,}71 + \left(-410{,}9\right)\right) - \left(-435{,}89 + \left(-466{,}5\right)\right) = -1{,}22 \text{ кДж/моль}$$

$$Q_{ðåàêö.} = \Delta Í \cdot \nu \qquad (2.4)$$

$$Q_{\text{ðåàêö.}} = 1{,}22 \cdot \frac{3891{,}9}{101 \cdot 10^{-3}} = 47011$$

В таблиці 2.2 надані теплоємкості компонентів при середній температурі $t_{ср}$=100°С [17]

Таблиця 2.2 - Теплоємкості компонентів при середній температурі $t_{ср}$=100°С

Компонент	С, Дж/моль·К	С, кДж/кг·К
$NaNO_3$	93,05	1,09
$NaNO_2$	69	1,00
Na_2CO_3	110	1,04
NaCl	50,79	0,87
KCl	51,49	0,69
KNO_3	96,27	0,95
H_2O	-	4,19

Тепло вихідного розчину

$$Q_{\text{âèõ.}} = (2992{,}2 \cdot 0{,}69 + 88{,}7 \cdot 0{,}87 + 3452{,}5 \cdot 1{,}09 + 3{,}6 \cdot 1{,}04 + 2{,}0 \cdot 1{,}0 + \\ + (32{,}7 + 8930{,}3 + 2532{,}3) \cdot 4{,}19) \cdot 80 = 4326085\,\text{êÄæ}$$

Тепло упареного розчину

$$Q_{\text{êîí.}} = (3891{,}9 \cdot 0{,}95 + 2343 \cdot 0{,}87 + 121{,}4 \cdot 0{,}69 + 177{,}1 \cdot 1{,}09 + 3{,}6 \cdot 1{,}04 + \\ + 2{,}0 \cdot 1{,}0 + 2145{,}4 \cdot 4{,}19) \cdot 130 = 1950974\,\text{êÄæ}$$

Ентальпія насиченої пари при t=130°С:

$$I_{\text{вт.}} = 2726 \text{ кДж/кг}$$

Тепло випарювання рідини

$$Q_{\text{âèï.}} = W \cdot I_{\text{âò.}} \qquad (2.5)$$

$$Q_{\text{âèï.}} = 9349{,}9 \cdot 2726 = 25487827 \text{ кДж}$$

Тепловтрати

$$Q_{\text{ïîò.}} = 0{,}03 \cdot (Q_{\text{êîí .}} + Q_{\text{âèï .}} - Q_{\text{âèõ.}} - Q_{\text{ðåàêö.}}) \qquad (2.6)$$

$$Q_{\text{ïîò.}} = 0{,}03 \cdot (1950974 + 25487827 - 4326085 - 47011) = 691971 \text{ кДж}$$

Тепло конденсації гріючої пари

$$Q = Q_{\text{êîí}.} + Q_{\text{âèï}.} + Q_{\text{ïîò}.} - Q_{\text{âèõ}.} - Q_{\text{ðåàêö.}} \quad (2.7)$$

$$Q = 1950974 + 25487827 + 691971 - 4326085 + 47011 = 23757676 \text{ кДж}$$

Оскільки операція випарювання триває 1годину і 15 хвилин, приймаємо витрату гріючої пари однаковим за весь час операції.

Теплове навантаження складе

$$Q_{\text{ãð.}} = \frac{Q}{\tau} \quad (2.8)$$

$$Q_{\text{ãð.}} = \frac{Q}{\tau} = \frac{23757676}{1{,}5 \cdot 3600} = 4399{,}6 \text{ кВт}$$

Теплота конденсації пари 0,5 МПа (5ата) складає 2117 кДж/кг.

Витрата гріючої пари

$$G_{\text{ïàð}} = \frac{Q_{\text{ãð.}}}{r} \quad (2.9)$$

$$G_{\text{ïàð}} = \frac{4399{,}6}{2117} = 2{,}078 \text{ кг/с} = 7481{,}6 \text{ кг/ч}$$

або 7481,6·1,5 = 11222,3 кг за операцію

Зведемо отримані дані в таблицю 2.4 теплового балансу

Таблиця 2.3 - Тепловий баланс

Прихід	кДж	Разом	кДж
Тепло вихідного розчину, $Q_{вих}$		Тепло упареного розчину, $Q_{кон}$	
Тепло реакції, $Q_{реакц}$	4326085	Тепло вторинної пари, $Q_{вип}$	1950974
Тепло конденсації пари, Q	47011	Тепловтрати, $Q_{пот}$	
			25487827
	23757676		691971
Разом	28130772	Разом	28130772

2.4 Технологічний розрахунок

Об'ємна витрата вторинної пари в перетині апарату складає [16]

$$V_{âò.} = \frac{m}{\rho \cdot \tau} \quad (2.10)$$

Щільність пари при t=130°С ρ=1,494 кг/м^3 [17]

$$V_{âò.} = \frac{9349,9}{1,494 \cdot 1,5 \cdot 3600} = 1,159 \text{ м}^3/\text{с}$$

Для забезпечення сепарації розчину від вторинної пари, швидкість пари не повинна перевищувати 0,256 м/с (по досвіду виробництва, що діє).

Тоді перетин апарату складе

$$S = \frac{V_{âò.}}{\omega} \quad (2.11)$$

$$S = \frac{V_{âò.}}{\omega} = \frac{1,159}{0,256} = 4,527 \text{ м}^2$$

Діаметр апарата

$$D = \sqrt{\frac{S}{0,785}} \quad (5.12)$$

$$D = \sqrt{\frac{4,527}{0,785}} = 2,4 \text{ м}$$

Реакційний об'єм апарату (з урахуванням подвійного запасу)

$$V_ð = 2 \cdot V_{çàãð} \quad (2.13)$$

$$V_{çàãð} = V_{åêâèìë} + V_{H_2O} \quad (2.14)$$

Об'єм еквімолярного розчину розрахуємо з умови вмісту в нім нітрату натрію 330 г/дм^3

$$V_{ýêâèìë} = \frac{m_{NaNO_3}}{300} = \frac{3452,5}{300} = 11,51 \text{ м}^3$$

$$V_ð = 2 \cdot (11,51 + 2,53) = 28,1 \text{ м}^3$$

Висота сепараційної частини випарного апарату

$$Í_{\text{ñåï.}} = \frac{V_{ð}}{0{,}785 \cdot D^2} \tag{2.15}$$

$$Í_{\text{ñåï.}} = \frac{28{,}1}{0{,}785 \cdot 2{,}4^2} = 6{,}21 \text{ м}$$

Розрахуємо необхідну поверхню теплопередачі

$$F = \frac{Q_{ãð}}{K \cdot \Delta t_{ïîë}} \tag{2.16}$$

Средня рушійна сила теплопередачі (корисна різниця температур)

$$\Delta t_{ïîë} = t_{ãð.ï.} - t_{êèï} \tag{2.17}$$

$$t_{ãð.ï.} = 151{,}1\,^oC$$

$$\Delta t_{ïîë} = 151{,}1 - 130 = 21{,}1\,^oC$$

Коэффициент теплопередачи [16]

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{ïàðà}} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{ðàñòâ}}} \tag{2.18}$$

Коэффициент теплоотдачи греющего пара

$$\alpha_{ïàðà} = 2{,}04 \cdot \sqrt[4]{\frac{r \cdot \rho_{æ}^2 \cdot \lambda_{æ}^3}{\mu_{æ} \cdot H \cdot \Delta t_1}} \tag{2.19}$$

Довжину гріючих труб приймаємо по аналогу 1,29 м

Властивості пари 5 ата:

$\rho_ж = 917{,}3$ кг/м^3;

$\lambda_ж = 0{,}684$ Вт/м·К;

$\mu_ж = 0{,}184 \cdot 10^{-3}$ Па·с.

$$\alpha_{ïàðà} = 2{,}04 \cdot \sqrt[4]{\frac{2117 \cdot 10^3 \cdot 917{,}3^2 \cdot 0{,}684^3}{0{,}184 \cdot 10^{-3} \cdot 1{,}29 \cdot 21{,}1}} = 6663 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$$

Для сталі марки 12Х18Н10Т коефіцієнт теплопровідності $\lambda_{ст}$=25,1Вт/м·К. Термічний опір з боку пари не враховуємо. Тоді сумарний термічний опір

$$\Sigma\frac{\delta}{\lambda}=\frac{\delta_{\text{ñò}}}{\lambda_{\text{ñò}}}+\frac{\delta_{\text{íàê}}}{\lambda_{\text{íàê}}} \qquad (2.20)$$

$$\Sigma\frac{\delta}{\lambda}=\frac{2\cdot10^{-3}}{25{,}1}+\frac{0{,}5\cdot10^{-3}}{2{,}5}=2{,}797\cdot10^{-4}\ \frac{\text{ì}^{\,2}\cdot\hat{\text{E}}}{\hat{\text{A}}\text{ò}}$$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки до киплячого розчину

$$\alpha_{\text{ðàñòâ}}=780\cdot q^{0{,}6}\frac{\lambda^{1{,}3}\cdot\rho^{0{,}5}\cdot\rho_{\text{ï}}^{0{,}06}}{\sigma^{0{,}5}\cdot r_{\text{âò}}^{0{,}6}\cdot\rho_{\text{î}}^{0{,}66}\cdot\tilde{\text{N}}^{0{,}3}\cdot\mu^{0{,}3}} \qquad (2.21)$$

Унаслідок складності обчислення физико-хімічних властивостей багатокомпонентного розчину, приймаємо коефіцієнт тепловіддачі $\alpha_{\text{ðàñòâ}}$ по аналогу на діючому виробництві

$$\alpha_{\text{ðàñòâ}}=2329\ \text{Вт/м}^2\cdot\text{К}$$

$$\text{K}=\frac{1}{\frac{1}{6663}+2{,}797\cdot10^{-4}+\frac{1}{2329}}=1163{,}9\ \text{Вт/м}^2\cdot\text{К}$$

Необхідна поверхня теплопередачі

$$F_{\text{ðàñ÷}}=\frac{4399{,}6\cdot10^{3}}{1163{,}9\cdot21{,}1}=179{,}1\ \text{м}^2$$

З урахуванням запасу

$$F = 1{,}1\cdot F_{\text{расч}} = 197\ \text{м}^2.$$

3 КОНСТРУКЦІЯ ТА ПРИНЦИП ДІЇ ВИПАРНОГО АПАРАТА

Випарний аппарат, зображений на рисунку 3.1, призначений для конверсії розчину KCl.

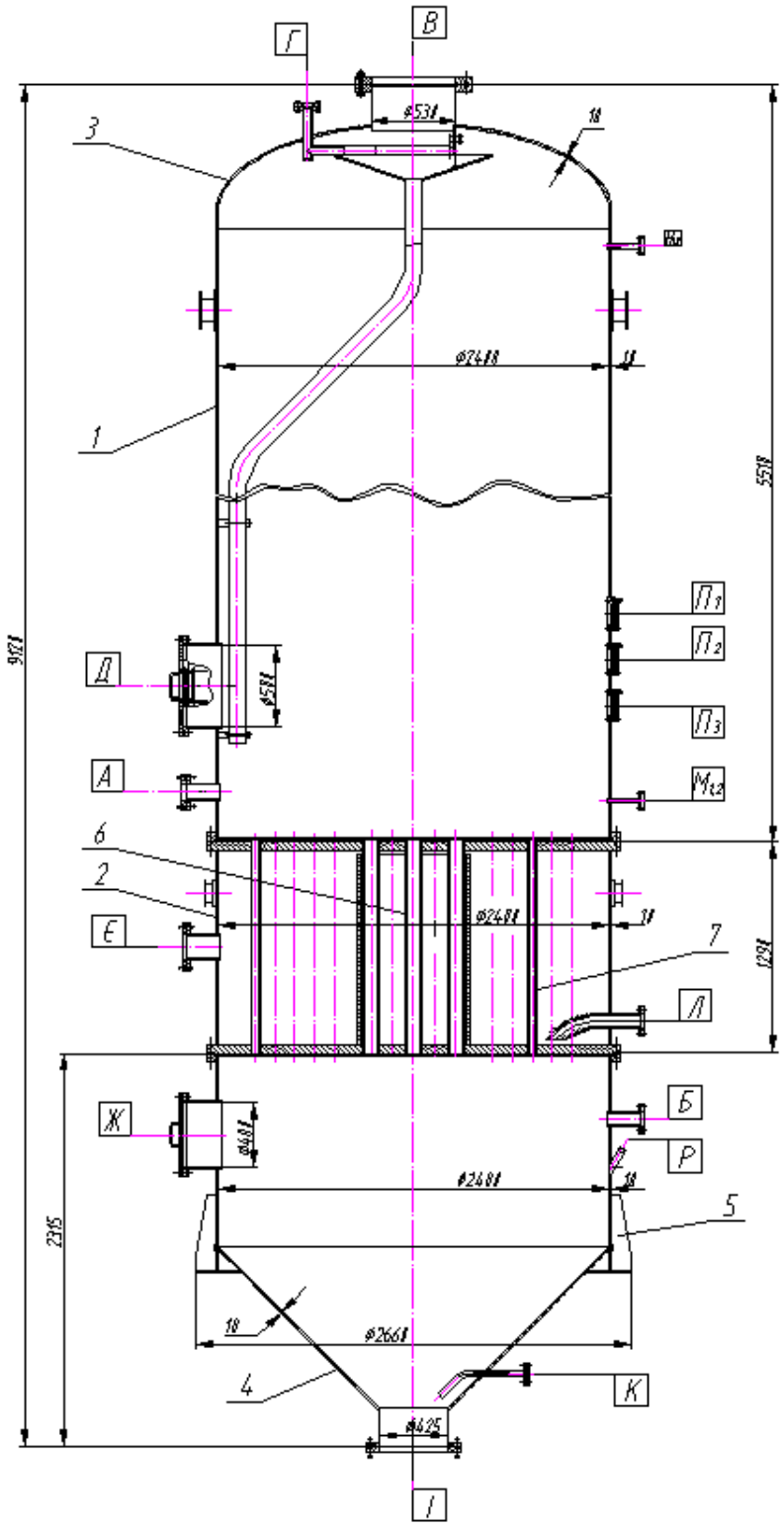


Рисунок 3.1 – Випарний апарат

Випарний апарат відноситься до випарних апаратів з природною циркуляцією і паровим трубчастим обігрівом. Діаметр апарату 2400 мм, висота 9120 мм.

Він складається з наступних основних елементів:

- гріючої камери (трубчатки) поз. 2, в якій відбувається нагрівання і випарювання розчину;

- сепаратора парового простору поз 1, в якому відбувається відділення вторинної пари від розчину. Паровий простір визначає чистоту і сухість вторинної пари. Унесена разом з парою рідина, яка містить концентрований продукт, забруднює вторинну пару, зменшується вихід готового продукту.

Випарний апарат є вертикальним циліндричним апаратом з верхнім еліптичним поз. 3 і нижнім конічним днищем поз. 4, встановленим на циліндричній опорі поз. 5.

Апарат має гріючу камеру у вигляді кожухотрубчастого теплообмінника, який складається з 878 труб Ø57х3 поз. 7 і 19 центральних циркуляційних труб Ø108х4 поз. 6.. На верхній частині апарата розташовані три оглядові вікна $П_{1-3}$, поз. 9 для візуального спостереження за рівнем розчину в апараті.

У верхній частині сепаратора змонтований відбійник для відділення бризок розчину від вторинної пари.

На корпусі випарного апарату розміщені люки Dy 500 Д і Dy 400 Ж.

Підведення розчину здійснюється через два штуцери Б Dy 80 і А Dy 100 безпосередньо над і під гріючою камерою.

Подача пари в апарат відбувається через штуцер К Dy 32 на нижньому конічному днищі поз. 4.

На еліптичній кришці сепаратора поз. 3 над відбійником бризок розташований штуцер Г Dy 50 для подачі води і штуцер В Dy 500 для виходу пари.

Подача теплоносія відбувається через штуцер Є Dy 150 на корпусі гріючої камери, вихід теплоносія з гріючої камери здійснюється через штуцер Л Dy 80.

4 ВИБІР ОСНОВНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Матеріали для апарата підбираються з урахуванням властивостей робочого середовища в апараті, тиску і температури. [18]

У дипломному проекті передбачено використання для різних частин апарата наступні матеріали:

-верхня та нижня камера зі сталі 12Х18Н10Т ГОСТ 5632-72

- трубні решітки і теплообмінні труби зі сталі 12Х18Н10Т ГОСТ 5632-72

-обичайка та патрубки граючої камери зі сталі Ст3сп5 ГОСТ 2651-94 (ГОСТ 380-94)

-опора зі сталі Ст3сп5 по ГОСТ 2651-94 (ГОСТ 380-94)

Матеріал кріпильних виробів для фланцевих з'єднань корпусу:

-болтів - сталь 25Х2М1Ф ГОСТ 4543-71

-гайок - сталь 35 ГОСТ 1050-88

Стропові пристрої (монтажні штуцери) апарата виготовлені зі Ст3сп5 по ГОСТ 2651-94.

Матеріал неметалевих прокладок – пароніт ПОН-А 2 ГОСТ 481-80.

5 РОЗРАХУНКИ НА МІЦНІСТЬ, ЖОРСТКІСТЬ І СТІЙКІСТЬ

Вихідні дані:

Внутрішній діаметр випарного апарата, мм	2400
Матеріал обичайки випарного апарата	12Х18Н10Т

Матеріал днища випарного апарата	12Х18Н10Т
Матеріал фланців випарного апарата	12Х18Н10Т
Розрахункова температура у сепараторі	150°С
Розрахункова температура у випарнику	165°С
Робочий тиск в сепараторі, МПа	0,1
Робочий тиск у гріючій камері, МПа	
трубний простір	0,1
міжтрубний простір	0,5
Модуль подовжньої пружності для сталі 12Х18Н10Т при розрахунковій температурі, МПа	$Å = 1{,}99 \cdot 10^5$
Модуль подовжньої пружності для сталі 12Х18Н10Т при температурі $t = 20\ ^0C$, МПа	$Å^{20} = 2{,}0 \cdot 10^5$
Допустима напружина для сталі 12Х18Н10Т при розрахунковій температурі 150˚С, МПа	168
Допустима напружина для сталі 12Х18Н10Т при температурі $t = 20\ ^0Ñ$, МПа	184
Допустима напружина для сталі 12Х18Н10Т при розрахунковій температурі 165˚С, МПа	169
Група апарата за СОУ МПП 71.120-217:2009	4

5.1 Розрахунок сепаратора

5.1.1 Визначення товщини стінки обичайки сепаратора

Тиск в сепараторі під час дії запобіжного клапана

$$Ð_ê = Ð_{ðàá} + 0{,}05 \qquad (5.1)$$

$$Ð_ê = 0{,}1 + 0{,}05 = 0{,}15\ ÌÏà$$

Розрахунковий тиск без урахування гідростатичного тиску

$$P_р = 0{,}9 P_к \qquad (5.2)$$

$$Ð_ð = 0{,}9 \cdot 0{,}15 = 0{,}14\ ÌÏà$$

Гідростатичний тиск середовища визначаємо за формулою

$$P_г = \rho_c \cdot g \cdot H_c \cdot 10^{-6} \quad (5.3)$$

$$Р_г = 1100 \cdot 9{,}81 \cdot 9{,}12 \cdot 10^{-6} = 0{,}1 \text{ МПа}$$

Так як гідростатичний тиск середовища складає більше 5 % робочого тиску $Р_г = 0{,}1 \text{ МПа} > 0{,}05 \cdot 0{,}1 = 0{,}005 \text{ МПа}$, то розрахунковий тиск дорівнює

$$Р = Р_р + Р_г \quad (5.4)$$

$$Р = 0{,}1 + 0{,}1 = 0{,}2 \text{ МПа}$$

Допустима напружина при розрахунковій температурі

$$[\sigma]_{150} = 168 \text{ МПа}$$

Пробний тиск визначаємо за формулою

$$P_{пр} = 1{,}25 \cdot P \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} \quad (5.5)$$

$$Р_{пр} = 1{,}25 \cdot 0{,}2 \cdot \frac{184}{168} = 0{,}27 \text{ МПа}$$

Гідростатичний тиск води в умовах випробувань визначаємо, враховуючи, що густина води дорівнює $\rho_в = 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$

$$Р_{г\ вип} = \rho_в \cdot g \cdot Н_в \cdot 10^{-6} \quad (5.6)$$

$$Р_{г\ вип} = 1000 \cdot 9{,}81 \cdot 9{,}12 \cdot 10^{-6} = 0{,}09 \text{ МПа}$$

Так як гідростатичний тиск води

$$Р_{г\ вип} = 0{,}09 \text{ МПа} > 0{,}05 \cdot 0{,}27 = 0{,}0135 \text{ МПа}$$

складає більше 5 % від пробного тиску, розрахунковий тиск в умовах випробувань $P_в$ приймаємо рівним:

$$Р_р = Р_{пр} + Р_{г\ вип} \quad (5.7)$$

$$Р_р = 0{,}27 + 0{,}0135 = 0{,}28 \text{ МПа}$$

Перевіряємо необхідність розрахунку на міцність в умовах випробувань:

$$Р_В \le 1{,}35 \cdot Р \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} \quad (5.8)$$

$$Р_В = 0{,}28 \text{МПа} \le 1{,}35 \cdot 0{,}2 \cdot \frac{184}{168} = 0{,}3 \text{МПа}$$

Так як розрахунковий тиск в умовах випробувань меньше розрахункового тиску в робочих умовах, помноженого на $1{,}35[\sigma]_{20}/[\sigma]$, то розрахунок на міцність для умов випробування не проводимо.

Розрахункову товщину стінки корпусу апарату визначаємо за формулою

$$S_p = \frac{P \cdot D}{2[\sigma] \cdot \varphi_p - P} \tag{5.9}$$

Коефіцієнт міцності подовжніх зварних швів корпуса φ_p приймаємо відповідно групі апарату. Для 4 групи апарата $\varphi_p = 0{,}9$.

Розрахункова товщина стінки корпусу сепаратора [8]

$$S_p = \frac{0{,}2 \cdot 2400}{2 \cdot 168 \cdot 0{,}9 - 0{,}2} = 1{,}6 \text{ ìì}$$

Виконавчу товщину стінки сепаратора визначаємо за формулою

$$S \geq S_p + C, \tag{5.10}$$

Сума добавок до розрахункової товщини стінки корпусу апарата складає

$$C = C_1 + C_2, \tag{5.11}$$

$$\tilde{N} = 2 + 0{,}8 = 2{,}8 \text{ìì}$$

Виконавчу товщину стінки сепаратора визначаємо по розрахунковій товщині для робочих умов, враховуючи що вона є найбільшою

$$S \geq 1{,}6 + 2{,}8 = 4{,}4 \text{ ìì}$$

Приймаємо:

$$S = 8 \text{ ìì}$$

Для прийнятого значення товщини стінки S розраховуємо допустимий внутрішній надлишковий тиск в робочих умовах за формулою:

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (S - C)}{D + (S - C)} \ . \tag{5.12}$$

$$[P] = \frac{2 \cdot 168 \cdot 0{,}9 \cdot (8 - 2{,}8)}{2400 + (8 - 2{,}8)} = 0{,}65 \text{ÌÏà}$$

Умова міцності:

$$P \leq [P] \tag{5.13}$$

$$Ð = 0{,}2 \text{ ÌÏà} \quad < [P] = 0{,}65 \text{ ÌÏà} \qquad \text{- виконується}$$

Перевірка умов застосування розрахункових формул

$$\frac{S_1 - C}{D} < 0{,}1 \qquad (5.14)$$

$$\frac{8 - 2{,}8}{2400} = 0{,}002 < 0{,}1$$ - умова виконується

5.1.2 Розрахунок еліптичного днища сепаратора [8]

Розрахункова товщина стінки еліптичного днища

$$S_p = \frac{P \cdot R}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - 0{,}5 \cdot P}, \qquad (5.15)$$

$$S_p = \frac{0{,}2 \cdot 2400}{2 \cdot 168 \cdot 0{,}9 - 0{,}5 \cdot 0{,}2} = 1{,}6 \text{ ìì}$$

Виконавча товщина стінки днища визначається за формулою (5.11)

$$S = 1{,}6 + 2{,}8 = 4{,}4 \text{ ìì}$$

Приймаємо виконавчу товщину стінки еліптичного днища

$$S = 8 \text{ ìì}$$

Визначення допустимого внутрішнього надлишкового тиску

Допустимий внутрішній надлишковий тиск

$$[P] = \frac{2 \cdot (S - C) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{R + 0{,}5(S_1 - C)} \qquad (5.16)$$

$$[Ð] = \frac{2 \cdot (8 - 2{,}8) \cdot 0{,}9 \cdot 168}{2400 + 0{,}5 \cdot (8 - 2{,}8)} = 0{,}65 \text{ ÌÏà}$$

Умова міцності

$$P \le [P]$$

$$Ð = 0{,}2 \text{ ÌÏà} \quad < [P] = 0{,}65 \text{ ÌÏà}$$ - умова виконується

Перевірка умови застосування розрахункових формул

$$0{,}002 \le \frac{S - C}{D} \le 0{,}1 \qquad (5.17)$$

$$0{,}002 \le \frac{8 - 2{,}8}{2400} = 0{,}0022 \le 0{,}1$$ - умова виконується

5.1.3 Розрахунок конічного днища корпусу [8]

5.1.3.1 Розрахунок товщини стінки конічного днища від внутрішнього тиску

Розрахункову довжину перехідної частини з'єднання з тороїдальним переходом визначаємо за формулою, приймаючи для попереднього розрахунку значення, рівне товщині стінки циліндричної обичайки

$$a_1 = 0{,}7 \cdot \sqrt{\frac{D}{\cos\alpha} \cdot (S_ò - C)} \qquad (5.18)$$

$$a_1 = 0{,}7\sqrt{\frac{2400}{\cos 30^\circ}(8 - 2{,}8)} = 84 \text{ ìì}$$

Розрахунковий діаметр гладкої конічної обичайки визначаємо за формулою

$$D_ê = D - 1{,}4 \cdot a_1 \cdot \sin\alpha \qquad (5.19)$$

$$D_ê = 2400 - 1{,}4 \cdot 84 \cdot \sin 30 = 2341 \text{ìì}$$

Для з'єднання з тороїдальним переходом розрахунковий коефіцієнт міцності зварних з'єднань при дії внутрішнього тиску визначаємо за формулою, приймаючи коефіцієнт міцності кільця зварного шва

$$\varphi_p = \sqrt{\varphi_ò} \qquad (5.20)$$

$$\varphi_ð = \sqrt{0{,}9} = 0{,}95$$

Розрахункову товщину стінки визначаємо за формулою

$$S_{êð} = \frac{P \cdot D_ê}{2 \cdot \varphi_p \cdot [\sigma] - P} \cdot \frac{1}{\cos\alpha} \qquad (5.21)$$

$$S_{êð} = \frac{0{,}2 \cdot 2341}{2 \cdot 0{,}95 \cdot 168 - 0{,}2} \cdot \frac{1}{\cos 30^\circ} = 1{,}7 \text{ ìì}$$

Виконавчу товщину конічного днища визначаємо за формулою

$$S_ê \geq S_{êð} + Ñ \qquad (5.22)$$

$$S_ê \geq 1{,}7 + 2{,}8 = 4{,}5 \text{ ìì}$$

Виконавчу товщину конічного днища приймаємо

$$S_ê = 8 \text{ ìì}$$

Отримана в результаті розрахунку товщина конічного днища і заздалегідь прийнята для визначення a_1 і D_K товщина переходу збігаються.

5.1.3.2 Визначення тиску, що допускається

Внутрішній надлишковий тиск, що допускається, визначаємо за формулою

$$[P]=\frac{2\cdot[\sigma]\cdot\varphi_p\cdot(S_{\hat{e}}-\tilde{N})}{\frac{D_{\hat{e}}}{\cos\alpha}+(S_{\hat{e}}-\tilde{N})} \qquad (5.23)$$

$$[P]=\frac{2\cdot 168\cdot 0{,}95\cdot(8-2{,}8)}{\frac{2341}{\cos 30^{\circ}}+(8-2{,}8)}=0{,}61\ \text{ÌÏà}$$

Умова міцності

$$P\le[P]$$

$$Ð=0{,}2\ \text{ÌÏà}\quad<[P]=0{,}61\ \text{ÌÏà}\quad \text{- умова виконується}$$

5.1.3.3 Розрахунок товщини стінки перехідних частин конічної S_1 і циліндричної обичайки S_2

Приймаємо для попереднього розрахунку значення, рівне товщині стінки конічної обичайки $S_1=S_{\hat{e}}=8\text{ìì}$ і циліндричної обичайки $S_2=S=8\text{ìì}$

Для визначення розрахункової товщини стінки перехідної частини циліндричної обичайки необхідно обчислити значення коефіцієнтів β і β_1

$$\beta=0{,}4\cdot\sqrt{\frac{D}{S_2-C}}\cdot\frac{\operatorname{tg}\alpha}{1+\sqrt{\frac{1+\chi\cdot\left(\frac{S_1-C}{S_2-C}\right)^2}{2\cdot\cos\alpha}}\cdot\chi\cdot\left(\frac{S_1-C}{S_2-C}\right)}-0{,}25; \qquad (5.24)$$

$$\beta=0{,}4\cdot\sqrt{\frac{2400}{8-2{,}8}}\cdot\frac{\operatorname{tg}30}{1+\sqrt{\frac{1+1\cdot\left(\frac{8-2{,}8}{8-2{,}8}\right)^2}{2\cdot\cos 30}}\cdot 1\cdot\left(\frac{8-2{,}8}{8-2{,}8}\right)}-0{,}25=2{,}14$$

$$\beta_1=\max\{0{,}5;\beta\} \qquad (5.25)$$

$$\beta_1=\max\{0{,}5;2{,}14\}=2{,}14$$

Коефіцієнт χ визначаємо заформулою

$$\chi=\frac{[\sigma]}{[\sigma]_2} \qquad (5.26)$$

Коефіцієнт $\chi = 1$, оскільки циліндрична обичайка і конічний перехід виконані з одного матеріалу.

Розрахункова товщина стінки перехідної частини циліндричної обичайки

$$S_{2p} = \frac{P \cdot D \cdot \beta_1}{2 \cdot [\sigma]_2 \cdot \varphi_p - P}, \qquad (5.27)$$

$$S_{2p} = \frac{0{,}2 \cdot 2400 \cdot 2{,}14}{2 \cdot 168 \cdot 0{,}95 - 0{,}2} = 3{,}2 \text{ìì}$$

Виконавча товщина стінки перехідної частини циліндричної обичайки

$$S_2 \geq S_{2p} + C \qquad (5.28)$$

$$8 \text{ìì} \quad \geq 3{,}2 + 2{,}8 = 6 \text{ìì}$$

Приймаємо товщину стінки перехідної частини циліндричної обичайки $S_2 = 8 \text{ìì}$, рівну товщині стінки циліндричної обичайки.

Товщина стінки конічного елементу переходу

$$S_1 \geq \left(\frac{S_1 - C}{S_2 - C} \right) \cdot S_{2p} + C \qquad (5.29)$$

$$8 \geq \left(\frac{8 - 2{,}8}{8 - 2{,}8} \right) \cdot 3{,}2 + 2{,}8 = 6 \text{ìì}$$

Приймаємо товщину стінки перехідної частини конічного елементу переходу $S_1 = 8 \text{ìì}$, рівну товщині стінки циліндричної обичайки.

Оскільки виконавча товщина стінок перехідних частин S_1 і S_2 збіглися із попередньо призначеними значеннями при визначенні коефіцієнтів форми β и β_1, то перерахунку значень цих коефіцієнтів не вимагається.

Внутрішній надлишковий тиск, що допускається, з умови міцності перехідної частини визначають за формулою

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma]_2 \cdot \varphi_p \cdot (S_2 - C)}{D \cdot \beta_1 + (S_2 - C)} \qquad (5.30)$$

$$[P] = \frac{2 \cdot 168 \cdot 0{,}95 \cdot (8 - 2{,}8)}{2400 \cdot 2{,}14 + (8 - 2{,}8)} = 0{,}32 \text{ÌÏà}$$

Перевірка умови міцності за формулою

$$P \leq [P]$$

$Ð = 0{,}2$ ÌÏà $< [P] = 0{,}32$ÌÏà - умова міцності виконується

5.1.4 Розрахунок зміцнення отворів [10]

5.1.4.1 Розрахунковий діаметру одиночного отвору, що не вимагає зміцнення - для обичайки

$$d_0 = 2 \cdot \left(\frac{S - C}{S_p} - 0{,}8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (S - C)}, \qquad (5.31)$$

$$D_p = D = 2400 \text{ ìì}$$

$$d_0 = 2 \cdot \left(\frac{8 - 2{,}8}{1{,}6} - 0{,}8 \right) \cdot \sqrt{2400 \cdot (8 - 2{,}8)} = 547{,}3 \text{ ìì}$$

5.1.4.2 Люк Д (Ø 500х8 матеріал сталь 12Х18Н10Т ГОСТ 5632-72)

Розрахунковий діаметр штуцера:

$$d_p = d + 2 \cdot C_S, \qquad (5.32)$$

Суму надбавки до розрахункової товщини стінки штуцера визначаємо за формулою (5.11)

$$Ñ_S = 2 + 0{,}8 = 2{,}8 \text{ ìì}$$

$$d_p = 500 + 2 \cdot 2{,}8 = 505{,}6 \text{ ìì}$$

Умова $d_p = 505{,}6$ìì $< d_0 = 547{,}3$ìì - виконується, отже отвір не вимагає зміцнення

5.1.4.3 Розрахунковий діаметру одиночного отвору, що не вимагає зміцнення - для еліптичного днища

$$D_p = 2 \cdot D = 4800 \text{ ìì} \qquad (5.33)$$

$$d_0 = 2 \cdot \left(\frac{8 - 2{,}8}{1{,}6} - 0{,}8 \right) \cdot \sqrt{4800 \cdot (8 - 2{,}8)} = 774 \text{ ìì}$$

5.1.4.4 Штуцер В $Ø_{нар}$ 530х8мм, сталь 12Х18Н10Т ГОСТ 5632-72)

Розрахунковий діаметру одиночного отвору, що не вимагає зміцнення, визначаємо за формулою (5.31):

Розрахунковий діаметр штуцера визначаємо за формулою (5.32)

$$d_p = 514 + 2 \cdot 2{,}8 = 519{,}6 \text{ ìì}$$

Суму надбавки до розрахункової товщини стінки штуцера формула (5.11)

$$Ñ_S = 2 + 0{,}8 = 2{,}8 \text{ ìì}$$

Умова $d_p = 519{,}6 \text{ìì} \quad < d_0 = 774 \text{ìì}$ - виконується, отвір не вимагає зміцнення

5.2 Розрахунок гріючої камери

5.2.1 Визначення товщини стінки обичайки

Тиск у гріючій камері під час дії запобіжного клапана визначаємо за формулою (5.1):

$$Ð_ê = 1{,}15 \cdot 0{,}5 = 0{,}575 \text{ ÌÏà}$$

Розрахунковий тиск без урахування гідростатичного тиску визначаємо за формулою (5.2)

$$Ð_ô = 0{,}9 \cdot 0{,}575 = 0{,}52 \text{ ÌÏà}$$

Гідростатичний тиск середовища визначаємо за формулою (5.3)

$$Ð_ã = 800 \cdot 9{,}81 \cdot 1{,}54 \cdot 10^{-6} = 0{,}012 \text{ ÌÏà}$$

Так як гідростатичний тиск середовища складає меньше 5 % робочого тиску $Ð_ã = 0{,}012 \text{ ÌÏà} \quad \le 0{,}05 \cdot 0{,}5 = 0{,}025 \text{ ÌÏà}$, то розрахунковий тиск приймаємо

$$Ð = 0{,}52 \text{ ÌÏà}$$

Допустима напружина при розрахунковій температурі

$$[\sigma]_{165} = 165{,}6 \text{ ÌÏà}$$

Пробний тиск визначаємо за формулою (5.5)

$$Ð_{ïð} = 1{,}25 \cdot 0{,}52 \cdot \frac{184}{165{,}6} = 0{,}72 \text{ ÌÏà}$$

Гідростатичний тиск води в умовах випробувань визначаємо за формулою (5.6), враховуючи, що густина води дорівнює $\rho_в = 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$

$$Ð_ã = 1000 \cdot 9{,}81 \cdot 1{,}54 \cdot 10^{-6} = 0{,}015 \text{ ÌÏà}$$

Так як гідростатичний тиск води

$$Ð_{ã âîäè} = 0{,}015 \text{ ÌÏà} \quad \le 0{,}05 \cdot 0{,}5 = 0{,}025 \text{ ÌÏà}$$

складає меньше 5 % від пробного тиску, розрахунковий тиск в умовах випробувань $P_в$ дорівнює

$$Р_а = 0{,}72 \text{ ÌÏà}$$

Перевіряємо необхідність розрахунку на міцність в умовах випробувань визначаємо за формулою (5.8)

$$Р_А = 0{,}72 \text{ÌÏà} \quad \le 1{,}35 \cdot 0{,}52 \cdot \frac{184}{165{,}6} = 0{,}78 \text{ÌÏà}$$

Так як розрахунковий тиск в умовах випробувань меньше розрахункового тиску в робочих умовах, помноженого на $1{,}35[\sigma]_{20}/[\sigma]$, то розрахунок на міцність для умов випробування не проводимо.

Коефіцієнт міцності подовжніх зварних швів корпуса $\varphi_р$ приймаємо відповідно групі апарату. Для 4 групи апарата $\varphi_р = 0{,}9$

Розрахункову товщину стінки корпусу гріючої камери визначаємо за формулою (5.9) [8]

$$S_р = \frac{0{,}52 \cdot 2400}{2 \cdot 165{,}6 \cdot 0{,}9 - 0{,}52} = 4{,}2 \text{ ìì}$$

Сума добавок до розрахункової товщини стінки (5.11)

$$Ñ = 2 + 0{,}8 = 2{,}8 \text{ìì}$$

Виконавчу товщину стінки визначаємо за формулою (5.10)

$$S \ge 4{,}2 + 2{,}8 = 7 \text{ ìì}$$

Приймаємо

$$S = 8 \text{ ìì}$$

Для прийнятого значення товщини стінки S розраховуємо допустимий внутрішній надлишковий тиск в робочих умовах за формулою (5.12):

$$[Р] = \frac{2 \cdot 165{,}6 \cdot 0{,}9 \cdot (8 - 2{,}8)}{2400 + (8 - 2{,}8)} = 0{,}64 \text{ÌÏà}$$

Умова міцності визначається за формулою (5.13):

$$Ð = 0{,}52 \text{ ÌÏà} \quad < [Р] = 0{,}64 \text{ ÌÏà} \quad \text{- виконується}$$

Перевірку умов застосування розрахункових формул проводимо за формулою (5.14)

$$\frac{8 - 2{,}8}{2400} = 0{,}002 < 0{,}1 \quad \text{- умова виконується}$$

5.2.2 Розрахунок зміцнення отворів [11]

5.2.2.1 Розрахунковий діаметру одиночного отвору, що не вимагає зміцнення - для обичайки визначаємо за формулою (5.31):

$$d_0 = 2 \cdot \left(\frac{8 - 2{,}8}{4{,}2} - 0{,}8 \right) \cdot \sqrt{2400 \cdot (8 - 2{,}8)} = 97{,}9 \text{ ìì}$$

$$D_p = D = 2400 \text{ ìì}$$

5.2.2.2 Штуцер Б (штуцер Ø89х4,5 матеріал сталь12Х18Н10Т ГОСТ 5632-72)

Розрахунковий діаметр штуцера

$$d_p = d + 2 \cdot C_S \qquad (5.34)$$

$$d_p = 80 + 2 \cdot 2{,}7 = 85{,}4 \text{ ìì}$$

Для сталевих безшовних труб надбавку для компенсації мінусового допуску приймаємо рівною 15% від товщини стінки труби.

Суму надбавки до розрахункової товщини стінки штуцера визначаємо за формулою:

$$C_S = C_1^{'} + 0{,}15 \cdot S_1 \qquad (5.35)$$

$$\tilde{N}_S = 2 + 0{,}15 \cdot 4{,}5 = 2{,}7 \text{ ìì}$$

Внутрішній діаметр штуцера

$$d = d_H - 2 \cdot S_1 \qquad (5.36)$$

$$d = 89 - 2 \cdot 4{,}5 = 80 \text{ ìì} \quad ,$$

Умова $d_p = 85{,}4$ìì $< d_0 = 97{,}9$ìì - виконується, отже отвір не потребує зміцнення

5.2.2.3 Штуцер Ж (штуцер Ø426х8 матеріал сталь12Х18Н10Т ГОСТ 5632-72)

Розрахунковий діаметр штуцера визначаємо за формулою (5.34):

$$d_p = 410 + 2 \cdot 2{,}8 = 415{,}6 \text{ ìì}$$

Суму надбавки до розрахункової товщини стінки штуцера визначаємо за формулою (5.11):

$$\tilde{N}_S = 2 + 0{,}8 = 2{,}8 \text{ ìì}$$

Умова $d_p = 415,6$ìì $< d_0 = 97,9$ìì - не виконується, отже отвір потребує

Зміцнення штуцера Ж

Умова зміцнення поодинокого отвору має вигляд:

$$À_1 + À_2 + À_3 + À_4 \geq À, \qquad (5.37)$$

Розрахункову товщину стінки штуцера, навантаженого внутрішнім надлишковим тиском визначається за формулою

$$S_{1p} = \frac{P_1 \cdot (d + 2 \cdot C_S)}{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 - P_1} \qquad (5.38)$$

$$S_{1p} = \frac{0,52 \cdot (410 + 2 \cdot 2,8)}{2 \cdot 165,6 \cdot 0,9 - 0,52} = 0,73 \text{ ìì}$$

Розрахункова довжина зовнішньої частини штуцера

$$l_{1p} = \min\left\{l_1; 1,25 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot C_S) \cdot (S_1 - C_S)}\right\} \qquad (5.39)$$

$$l_{1p} = \min\left\{200; 1,25 \cdot \sqrt{(410 + 2 \cdot 2,8) \cdot (8 - 2,8)}\right\} = \min\{200; \quad 58,1\} = 58,1 \text{ ìì}$$

"Надлишковий" метал зовнішньої частини штуцера

$$A_1 = l_{1p} \cdot (S_1 - S_{1p} - C_S) \cdot \chi_1 \qquad (5.40)$$

$$À_1 = 58,1 \cdot (8 - 0,73 - 2,8) \cdot 1,0 = 259,7 \text{ìì}^2$$

Довжина внутрішньої частини штуцера

$$l_3 = 0 \text{ìì}$$

Розрахункову ширину зони зміцнення визначаємо за формулами

$$l_p = L_0 \qquad (5.41)$$

$$L_0 = \sqrt{D_P \cdot (S - C)} \qquad (5.42)$$

$$L_0 = \sqrt{2400 \cdot (8 - 2,8)} = 111,7 \text{ìì}$$

Розрахунковий діаметр визначаємо за формулою

$$d_{0p} = 0,4 \cdot \sqrt{D_P \cdot (S - C)} \qquad (5.43)$$

$$d_{0p} = 0,4 \cdot \sqrt{2400 \cdot (8 - 2,8)} = 44,7 \text{ìì}$$

"Надлишковий" метал укріплюваного елементу (обичайки), що бере участь в зміцненні, визначаємо за формулою

$$À_4 = l_p \cdot (S - S_p - C) \qquad (5.44)$$

$$À_4 = 111{,}7 \cdot (8 - 4{,}2 - 2{,}8) = 111{,}7 ìì^2$$

Площа отвору, що компенсується, визначаємо за формулою

$$À = 0{,}5 \cdot (d_p - d_{0p}) \cdot S_p \qquad (5.45)$$

$$À = 0{,}5 \cdot (415{,}6 - 44{,}7) \cdot 4{,}2 = 778{,}9 ìì$$

Умова зміцнення штуцера без використання зміцнюючого кільця

$$À_1 + À_3 + À_4 \geq À \qquad (5.46)$$

$259{,}7 + 111{,}7 = 371{,}4 ìì^2 > A = 778{,}9 ìì^2$ - умова не виконується

При використанні зміцнюючого кільця площа його перерізу приблизно визначається як різниця між площею, що компенсується, і сумою "надлишкового" металу зовнішньої частини штуцера і зміцнюваного елементу

$$À_2 \approx À - (À_1 + À_4)$$

$$À_2 \approx 778{,}9 - (259{,}7 + 111{,}7) = 407{,}5 ìì^2$$

При товщині зміцнюючого кільця $S_2 = 8 ìì$ мінімальне значення ширини зміцнюючого кільця складе

$$l_2 = \frac{A_2}{S_2}$$

$$l_2 = \frac{407{,}5}{8} \approx 51 ìì$$

Приймаємо

$$l_2 = 60 ìì$$

Розрахункова ширина зміцнюючого кільця

$$l_{2p} = \min\left\{l_2; \sqrt{D_p \cdot (S_2 + S - C)}\right\}$$

$$l_{2p} = \min\left\{60; \sqrt{2400 \cdot (8 + 8 - 2{,}8)}\right\} = \min\{60; 178\} = 60 ìì$$

Оскільки зміцнююче кільце виконане з того ж матеріалу, що і обичайка

$$\chi_2 = 1$$

Площу поперечного перерізу зміцнюючого кільця, що бере участь в зміцненні отвору, визначаємо за формулою

$$À_2 = l_{2p} \cdot S_2 \cdot \chi_2$$

$$À_2 = 60 \cdot 8 \cdot 1 = 480 ìì^2$$

Умова зміцнення з урахуванням зміцнюючого кільця:

$$À_1 + À_2 + À_4 = 259{,}7 + 111{,}7 + 480 = 851{,}4 \text{ ìì}^2 > A = 778{,}9 \text{ìì}^2$$ - умова виконується.

Коефіцієнт пониження міцності визначається за формулою

$$V = \min\left\{1;\ \frac{1 + \dfrac{l_{1p}\cdot(S_1 - C)\cdot\chi_1 + l_{2p}\cdot S_2\cdot\chi_2 + l_{3p}\cdot(S_1 - C - C_{S1})\cdot\chi_1}{l_p\cdot(S - C)}}{1 + 0{,}5\cdot\dfrac{d_p - d_{0p}}{l_p} + K_1\cdot\dfrac{d + 2\cdot C_S}{D_p}\cdot\dfrac{\varphi}{\varphi_1}\cdot\dfrac{l_{1p}}{l_p}}\right\}, \qquad (5.47)$$

$$V = \min\left\{1{,}0;\ \frac{1 + \dfrac{58{,}1\cdot(8 - 2{,}8)\cdot 1 + 480 + 0}{111{,}7\cdot(8 - 2{,}8)}}{1 + 0{,}5\cdot\dfrac{415{,}6 - 44{,}7}{111{,}7} + 1\cdot\dfrac{410 + 2\cdot 2{,}8}{2400}\cdot\dfrac{0{,}9}{0{,}9}\cdot\dfrac{58{,}1}{75{,}6}}\right\} = \min\{1{,}0;\ 0{,}84\} = 0{,}54$$

Внутрішній надлишковий тиск, що допускається, в зоні штуцера

$$[P] = \frac{2\cdot K_1\cdot(S - C)\cdot\varphi\cdot[\sigma]}{D_p + (S - C)\cdot V}\cdot V \qquad (5.48)$$

$$[P] = \frac{2\cdot 1\cdot(8 - 2{,}8)\cdot 0{,}9\cdot 165{,}6}{2400 + (8 - 2{,}8)\cdot 0{,}84}\cdot 0{,}84 = 0{,}54 \text{ ÌÏà}$$

Умова міцності $Ð \le [Ð]$

$Ð = 0{,}52$ ÌÏà $< [Ð] = 0{,}54$ ÌÏà - умова виконується.

5.3 Розрахунок трубної решітки гріючої камери [11]

Вихідні дані

Внутрішній діаметр кожуха D мм	2400
Длина теплообмінних труб l, мм	1540
Наружний діаметр теплообмінной труби $d_ò$, мм	57
Товщина стінки труби $S_ò$, мм	3,5
Число ходів по трубах	1
Розрахунковий тиск в трубному просторі, МПа	0,28
Розрахунковий тиск в міжтрубному просторі, МПа	0,52
Розрахункова температура труб, °С	150
Розрахункова температура кожуха, °С	165

Матеріал кожуха	Сталь 12Х18Н10Т
Матеріал кришки	Сталь 12Х18Н10Т
Матеріал теплообмінних труб	Сталь 12Х18Н10Т
Матеріал трубної решітки	Сталь 12Х18Н10Т
Матеріал перегородок	Ст3сп
Матеріал прокладок розподільної камери	пароніт
Група теплообмінника по трубному простору	4
Група теплообмінника по міжтрубному простору	4

5.3.1 Визначення товщини трубної решітки

Прийнята товщина трубної решітки

$$S_p = 60 мм$$

Розрахунковий тиск визначаємо за формулою:

$$P = \max\left\{|P_т|;\quad |P_ч|;\quad |P_т - P_ч|\right\}, \tag{5.49}$$

$$Р= \max\left\{0,2;\ 0,52;\ |0,2-0,52|\right\} = 0,52 МПа$$

Розрахункову товщину трубної решітки за умови міцності максимальної безтрубної зони визначаємо за формулою

$$S_{рб} = 0,5\, D_а \sqrt{Р/[\sigma]_б} \tag{5.50}$$

$$S_{рб} = 0,5 \cdot 180 \sqrt{0,52/165,6} = 5 мм$$

Виконавчу товщину трубної решітки за умови міцності максимальної безтрубної зони визначаємо за формулою

$$S_б \geq S_{рр} + C_р \tag{5.51}$$

$$S_б \geq 5 + 2 = 7 мм$$

Коефіцієнт ослаблення трубної решітки визначаємо за формулою

$$\varphi_р = 1 - \frac{d_0}{t_р} \tag{5.52}$$

Розміри $t_р$, $t_п$ и $d_о$ приймаються залежно від зовнішнього діаметру труби і класу точності з'єднання труба – трубна решітка.

Клас точності з'єднання труба - трубна решітка приймаємо 4.

$$\varphi_p = 1 - \frac{57,8}{70} = 0,17$$

5.3.2 Визначення допоміжних величин

Відстань від осі кожуха до осі найбільш віддаленої труби

$$a_1 = 0,5 \cdot (D_0 - d_т) \quad (5.53)$$

$$a_1 = 0,5 \cdot (2310 - 57) = 1126,5 мм$$

Відносну характеристику краю трубної решітки визначаємо за формулою

$$m_n = \frac{0,5 \cdot D}{a_1} \quad (5.54)$$

$$m_n = \frac{0,5 \cdot 2400}{1126,5} = 1,065$$

Коефіцієнти впливу тиску на трубну решітку визначаємо за формулами

$$\eta_к = 1 - \frac{i \cdot d_т^2}{4\, a_1^2}; \quad (5.55)$$

$$\eta_т = 1 - \frac{i \cdot (d_т - 2\, S_т)^2}{4\, a_1^2},$$

$$\eta_к = 1 - \frac{987 \cdot 57^2}{4 \cdot 1126,5^2} = 0,37; \quad (5.56)$$

$$\eta_т = 1 - \frac{987 \cdot (57 - 2 \cdot 3,5)^2}{4 \cdot 1126,5^2} = 0,51$$

Коефіцієнт жорсткості трубної решітки визначаємо за формулою

$$\psi_o = \eta_т^{2,33} \quad (5.57)$$

$$\psi_0 = 0,51^{2,33} = 0,21$$

Модуль пружності основи (системи труб) визначаємо за формулою

$$K_y = \frac{2\, E_т \cdot (\eta_т - \eta_к)}{l}, \quad (5.58)$$

$$E_т = 200 \cdot 10^3 МПа$$

$$Ê_ó = \frac{2 \cdot 200 \cdot 10^3 \cdot (0,51 - 0,37)}{1540} = 36,4$$

Приведене відношення жорсткості труб до жорсткості кожуха

$$\rho = \frac{K_y \cdot a_1 \cdot l}{2 \cdot E_K \cdot S_K}, \tag{5.59}$$

де $E_{ê}$ – модуль поздовжньої пружності матеріалу кожуха при розрахунковій температурі, МПа;

$S_{ê}$ – виконавча товщина стінки кожуха, мм.

$$E_{ê} = 200 \cdot 10^3 \text{ÌÏà}$$

$$\rho = \frac{36{,}4 \cdot 1126{,}5 \cdot 1540}{2 \cdot 200 \cdot 10^3 \cdot 8} = 19{,}7$$

Коефіцієнти змінення жорсткості системи труби-кожух

$$K_q = 1 + K_q^*; \tag{5.60}$$

$$K_p = 1 + K_p^* \tag{5.61}$$

Для апаратів з нерухомими трубними решітками

$$K_q^* = K_p^* = 0$$

$$K_q = K_p = 1$$

Приведений тиск $Ð_0$ визначається за формулою

$$\begin{aligned} P_0 = {} & 0{,}5\left[\alpha_{ê} \cdot \left(t_{ê} - t_o\right) - \alpha_{ò} \cdot \left(t_{ò} - t_o\right)\right] \cdot K_{ó} \cdot l + \\ & + \left[\eta_{ò} - 1 + m_{cp} + m_n \cdot \left(m_n + 0{,}5\,\rho \cdot K_q\right)\right] \cdot P_{ò} - \\ & - \left[\eta_{ê} - 1 + m_{cp} + m_n \cdot \left(m_n + 0{,}3\,\rho \cdot K_p\right)\right] \cdot P_{ê}, \end{aligned} \tag{5.62}$$

де $m_{ñð}$ – безрозмірний коефіцієнт

$$m_{ñð} = 0{,}15\,\frac{i \cdot \left(d_{ò} - S_{ò}\right)^2}{a_1^2} \tag{5.63}$$

$$m_{ñð} = 0{,}15 \cdot \frac{987 \cdot \left(57 - 3{,}5\right)^2}{1126{,}5^2} = 0{,}33$$

$$\begin{aligned} P_0 = {} & 0{,}5 \cdot \left[17 \cdot 10^{-6} \cdot \left(165 - 20\right) - 17 \cdot 10^{-6} \cdot \left(150 - 20\right)\right] \cdot 36{,}4 \cdot 1540 + \\ & + \left[0{,}51 - 1 + 0{,}33 + 1{,}065 \cdot \left(1{,}065 + 0{,}5 \cdot 19{,}7 \cdot 1\right)\right] \cdot 0{,}2 - \\ & - \left[0{,}37 - 1 + 0{,}33 + 1{,}065 \cdot \left(1{,}065 + 0{,}3 \cdot 19{,}7 \cdot 1\right)\right] \cdot 0{,}52 = 5{,}8 \text{ ÌÏà} \end{aligned}$$

$$\alpha_{ê} = 17 \cdot 10^{-6} 1/^0 \text{Ñ}$$

$$\alpha_{ò} = 17 \cdot 10^{-6} 1/^0 \text{C}$$

Коефіцієнт системи решітка-труби визначається за формулою

$$\beta = \frac{1{,}82}{S_p} \cdot \sqrt[4]{\frac{K_{ó} \cdot S_p}{\psi_o \cdot E_p}},$$

(5.64)

$$E_{ð} = 200 \cdot 10^3 \text{ÌÏà}$$

$$\beta = \frac{1{,}82}{60} \cdot \sqrt[4]{\frac{36{,}4 \cdot 60}{0{,}21 \cdot 200 \cdot 10^3}} = 0{,}014$$

Коефіцієнти системи кожух-решітка і обичайка-фланець камери відповідно β_1, і β_2 визначаються за формулами

$$\beta_1 = \frac{1{,}84}{\sqrt{D \cdot S_1}}; \quad (5.65)$$

$$\beta_2 = \frac{1{,}84}{\sqrt{D \cdot S_2}}, \quad (5.66)$$

$$S_1 = S_2 = 8\text{ìì}$$

$$\beta_1 = \frac{1{,}84}{\sqrt{2400 \cdot 8}} = 0{,}013$$

$$\beta_2 = \frac{1{,}84}{\sqrt{2400 \cdot 8}} = 0{,}013$$

Жорсткість фланцевого з’єднання при згину розраховується за формулою

$$K_{ô} = K_{ô1} + K_{ô2}, \quad (5.67)$$

$$K_{ô1} = \frac{E_1 \cdot h_1^3 \cdot b_1}{12\, R_1^2} + K_1 \cdot \left(1 + \frac{\beta_1 \cdot h_1}{2}\right); \quad (5.68)$$

$$K_{ô2} = \frac{E_2 \cdot h_2^3 \cdot b_2}{12\, R_2^2} + K_2 \cdot \left(1 + \frac{\beta_2 \cdot h_2}{2}\right); \quad (5.69)$$

$$K_1 = \frac{\beta_1 \cdot D \cdot E_{ê} \cdot S_1^3}{11\, R_1}; \quad (5.70)$$

$$K_2 = \frac{\beta_2 \cdot D \cdot E_{ä} \cdot S_2^3}{11\, R_2} \quad (5.71)$$

Радіуси центрів ваги тарілок фланців кожуха та розподільної камери

$$R_1 = R_2 = 0{,}25\,(D_{í} + D), \quad (5.72)$$

а ширини фланців – за формулою

$$b_1 = b_2 = 0{,}5\,(D_{í} - D), \quad (5.73)$$

$$R_1 = R_2 = 0{,}25 \cdot (2530 + 2400) = 1232{,}5 \text{ ìì}$$

$$b_1 = b_2 = 0{,}5 \cdot (2530 - 2400) = 65 \text{ ìì}$$

$$K_1 = \frac{0{,}013 \cdot 2400 \cdot 200 \cdot 10^3 \cdot 8^3}{11 \cdot 1232{,}5} = 236 \cdot 10^3$$

$$K_2 = \frac{0{,}013 \cdot 2400 \cdot 200 \cdot 10^3 \cdot 8^3}{11 \cdot 1232{,}5} = 236 \cdot 10^3$$

$$K_{\hat{O}1} = \frac{200 \cdot 10^3 \cdot 60^3 \cdot 65}{12 \cdot 1232{,}5^2} + 236 \cdot 10^3 \cdot \left(1 + \frac{0{,}013 \cdot 60}{2}\right) = 0{,}48 \cdot 10^6 \text{ Í}$$

$$K_{\hat{O}2} = \frac{200 \cdot 10^3 \cdot 60^3 \cdot 65}{12 \cdot 1232{,}5^2} + 236 \cdot 10^3 \cdot \left(1 + \frac{0{,}013 \cdot 55}{2}\right) = 0{,}47 \cdot 10^6 \text{ Í}$$

$$K_{\hat{O}} = 0{,}48 \cdot 10^6 + 0{,}47 \cdot 10^6 = 0{,}95 \cdot 10^6 \text{ Í}$$

Коефіцієнти впливу тиску на згин фланців m_1 і m_2 визначають за формулами

$$m_1 = \frac{1 + \beta_1 \cdot h_1}{2\,\beta_1^2} \ ; \tag{5.74}$$

$$m_2 = \frac{1 + \beta_2 \cdot h_2}{2\,\beta_2^2} \tag{5.75}$$

$$m_1 = \frac{1 + 0{,}013 \cdot 60}{2 \cdot 0{,}013^2} = 5266 \text{ ìì}^{\ 2}$$

$$m_2 = \frac{1 + 0{,}013 \cdot 55}{2 \cdot 0{,}013^2} = 5074 \text{ ìì}^{\ 2}$$

Приведене відношення жорсткості труб до жорсткості фланцевого з’єднання

$$\rho_1 = \frac{K_{\delta} \cdot D \cdot a_1}{2\,\beta^2 \cdot K_{\hat{o}} \cdot R_1}. \tag{5.76}$$

$$\rho_1 = \frac{36{,}4 \cdot 2400 \cdot 1126{,}5}{2 \cdot 0{,}014^2 \cdot 0{,}95 \cdot 10^6 \cdot 1232{,}5} = 214$$

Значення коефіцієнтів $\hat{O}_1$, $\hat{O}_2$, $\hat{O}_3$ визначають за таблицею 2 залежно від величини ω.

Величину ω визначають за формулою

$$\omega = \beta \cdot a_1 \tag{5.77}$$

$$\omega = 0{,}014 \cdot 1126{,}5 = 15{,}8$$

$$\hat{O}_1 = 22{,}3$$

$$Ô_2 = 15,8$$

$$Ô_3 = 22,3$$

Значення коефіцієнтів T_1, T_2, T_3 визначають за таблицею 3 залежно від коефіцієнта ω і відносної характеристики безтрубного краю трубної решітки m_n

$$T_1 = 40,5$$

$$T_2 = 19,6$$

$$T_3 = 15,4$$

5.3.3 Визначення зусиль в елементах апаратів

Згинальний момент, розподілений по периметру трубної решітки:

$$M = \frac{a_1}{\beta} \cdot \frac{P_1 \cdot (T_1 + \rho \cdot K_q) - P_o \cdot T_2}{(T_1 + \rho \cdot K_q) \cdot (T_3 + \rho_1) - T_2^2}, \qquad (5.78)$$

де P_1 – тиск, МПа

$$P_1 = \frac{K_{ó}}{\beta \cdot K_{ô}} \cdot (m_1 \cdot P_{ê} - m_2 \cdot P_{ò}) \qquad (5.79)$$

$$P_1 = \frac{36,4}{0,014 \cdot 0,95 \cdot 10^6} \cdot (5266 \cdot 0,52 - 5074 \cdot 0,2) = 4,7 \text{ ÌÏà}$$

$$Ì = \frac{1126,5}{0,014} \cdot \frac{4,7 \cdot (40,5 + 19,7 \cdot 1) - 5,8 \cdot 19,6}{(40,5 + 19,7 \cdot 1) \cdot (15,4 + 214) - 19,6^2} = 1015 \text{ Í} \cdot ìì \,/\, ìì$$

Перерізувальна сила, що розподілена по периметру трубної решітки

$$Q = \frac{a_1 \cdot [P_o \cdot (T_3 + \rho_1) - P_1 \cdot T_2]}{(T_1 + \rho \cdot K_q) \cdot (T_3 + \rho_1) - T_2^2} \qquad (5.80)$$

$$Q = \frac{1126,5 \cdot [5,8 \cdot (15,4 + 214) - 4,7 \cdot 19,6]}{(40,5 + 19,7 \cdot 1) \cdot (15,4 + 214) - 19,6^2} = 103,9 \text{ Í} \,/\, ìì$$

Згинальний момент, розподілений по периметру перфорованої зони трубної решітки визначається за формулою

$$M_a = M + (0,5\,D - a_1) \cdot Q \qquad (5.81)$$

$$Ì_{à} = 1015 + (0,5 \cdot 2400 - 1126,5) \cdot 103,9 = 8652 \text{ Í} \cdot ìì \,/\, ìì$$

Перерізувальна сила, розподілена по периметру перфорованої зони трубної решітки

$$Q_a = m_n \cdot Q \qquad (5.82)$$

$$Q_{à} = 1{,}065 \cdot 103{,}9 = 110{,}7 \ \text{Í}/\text{ìì}$$

Осьова сила, яка діє на трубу визначається за формулою

$$N_{ò} = \frac{\pi \cdot a_1}{i} \cdot \left[\left(\eta_{ê} \cdot P_{ê} - \eta_{ò} \cdot Ð_{ò} \right) \cdot a_1 + Ô_1 \cdot Q_a + Ô_2 \cdot \beta \cdot M_{à} \right] \qquad (5.83)$$

$$N_{ò} = \frac{3{,}14 \cdot 1126{,}5}{987} \cdot \left[\left(0{,}37 \cdot 0{,}52 - 0{,}51 \cdot 0{,}2 \right) \cdot 1126{,}5 + 22{,}3 \cdot 110{,}7 + 15{,}8 \cdot 0{,}014 \cdot 8652 \right] = 16070 \ \text{Í}$$

Згинальний момент, що діє на трубу

$$M_{ò} = \frac{E_{ò} \cdot I_{ò} \cdot \beta}{K_{ó} \cdot a_1 \cdot l_{ïð}} \cdot \left(Ô_2 \cdot Q_a + Ô_3 \cdot \beta \cdot M_a \right), \qquad (5.84)$$

де $I_{ò}$ – момент інерції поперечного перерізу труби, мм^4;

$l_{ïð}$ – приведена розрахункова довжина труби, мм.

Момент інерції поперечного перерізу труби визначають за формулою

$$I_{ò} = \frac{\pi}{64} \cdot \left[\left(d_{ò} - 2\,C_4 \right)^4 - \left(d_{ò} - 2\,S_{ò} + 2\,C_5 + 2\,C_6 \right)^4 \right], \qquad (5.85)$$

$$I_{ò} = \frac{3{,}14}{64} \cdot \left[\left(57 - 2 \cdot 0 \right)^4 - \left(57 - 2 \cdot 3{,}5 + 2 \cdot 0 + 2 \cdot 0 \right)^4 \right] = 211263 \ \text{ìì}^{\ 4}$$

Приведена розрахункова довжина труби визначається за формулою

$$l_{np} = \begin{cases} 0{,}5\,l - \text{äëÿ àïàðàò³â áåç ïåðåãîðîäîê ê â êîæóõ³} \\ 0{,}33\,l_{1ð} - \text{äëÿ àïàðàò³â ç ïåðåãîðîäêè àìè} \end{cases}, \qquad (5.86)$$

де $l_{1ð}$ – максимальний проліт труби між решіткою та перегородкою (у вирізі вікна в перегородці), мм.

$$l_{ïð} = 0{,}5 \cdot 1540 = 770 \ \text{ìì}$$

$$M_{ò} = \frac{200 \cdot 10^3 \cdot 211263 \cdot 0{,}014}{36{,}4 \cdot 1126{,}5 \cdot 770} \cdot \left[15{,}8 \cdot 110{,}7 + 22{,}3 \cdot 0{,}014 \cdot 8652 \right] = 83373 \ \text{Í} \cdot \text{ìì}$$

Осьове зусилля, розподілене по периметру кожуха

$$Q_{ê} = 0{,}25\,D \cdot P_{ò} - Q \qquad (5.87)$$

$$Q_k = 0{,}25 \cdot 2400 \cdot 0{,}2 - 103{,}9 = 16{,}2 \ \text{Í}/\text{ìì}$$

Згинальний момент, розподілений по периметру кожуха

$$M_{ê} = \frac{K_1}{\rho_1 \cdot K_{ô} \cdot \beta} \cdot \left(T_2 \cdot Q + T_3 \cdot \beta \cdot M\right) - \frac{P_{ê}}{2\,\beta_1^2}. \qquad (5.88)$$

$$M_{ê} = \frac{236 \cdot 10^3}{214 \cdot 0{,}95 \cdot 10^6 \cdot 0{,}014} \cdot \left[19{,}6 \cdot 103{,}9 + 15{,}4 \cdot 0{,}014 \cdot 1015\right] - \frac{0{,}52}{2 \cdot 0{,}013^2} = -1352 \ \text{Í} \cdot \text{ìì} \,/\, \text{ìì}$$

Осьове зусилля в кожусі

$$F = \pi \cdot D \cdot Q_{ê} \qquad (5.89)$$

$$F = 3{,}14 \cdot 2400 \cdot 16{,}1 = 7552 \ \text{Í}$$

5.3.4 Визначення напружин в елементах апаратів

Напружини в трубній решітці в місці з'єднання з кожухом

– згинальні

$$\sigma_{ð1} = \frac{6\,|M|}{\left(S_{1p} - C_1 - C_2 - C_3\right)^2}; \qquad (5.90)$$

– дотичні

$$\tau_{ð1} = \frac{|Q|}{S_{1p} - C_1 - C_2 - C_3}, \qquad (5.91)$$

де S_{1p} – толщина трубной решетки в месте приварки к кожуху, мм

$$\sigma_{p1} = \frac{6 \cdot |1015|}{(60 - 0 - 0 - 0)^2} = 1{,}7 \ \text{ÌÏà}$$

$$\tau_{p1} = \frac{|103{,}9\ |}{60 - 0 - 0 - 0} = 1{,}7 \ \text{ÌÏà}$$

Напружини в перфорованій частині трубної решітки

– згинальні

$$\sigma_{p2} = \frac{6\,M_{max}}{\varphi_p \cdot \left(S_p - C_1 - C_2 - C_3\right)^2}; \qquad (5.92)$$

– дотичні

$$\tau_{p2} = \frac{|Q_a|}{\varphi_p \cdot \left(S_{ð} - C_1 - C_2 - C_3\right)}, \qquad (5.93)$$

де M_{max} – максимальний розрахунковий згинальний момент у перфорованій частині трубної решітки, розподілений по її периметру

$$\sigma_{p2} = \frac{6 \cdot 9370}{0{,}17 \cdot (60 - 0 - 0 - 0)^2} = 91{,}8 \text{ ÌÏà}$$

$$\tau_{p2} = \frac{\left| 110{,}7 \right|}{0{,}17 \cdot (60 - 0 - 0 - 0)} = 19{,}05 \text{ ÌÏà}$$

При $$\frac{\beta \cdot M_a}{Q_a} = 1{,}094 \geq 1 \qquad (5.94)$$

згинальний момент M_{max} визначається за формулою

$$M_{max} = \hat{A} \cdot \left| \hat{I}_{\ a} \right|, \qquad (5.95)$$

де B – коефіцієнт, який визначається за таблицею 5 в залежності від n

$$n = \frac{Q_a}{\beta \cdot M_a}$$

$$n = \frac{110{,}7}{0{,}014 \cdot 8652} = 0{,}91$$

B=1,083

$$M_{max} = 1{,}083 \cdot \left| 8652 \right| = 9370 \acute{I} \cdot \grave{i}\grave{i} \quad / \grave{i}\grave{i}$$

Розрахункові напружини в трубах

– в осьовому напряму

$$\sigma_{1\grave{o}} = \frac{\left| N_{\grave{o}} \right|}{\pi \cdot (d_{\grave{o}} - S_{\grave{o}}) \cdot S_{\grave{o}}}; \qquad (5.96)$$

$$\sigma_1 = \sigma_{1\grave{o}} + \frac{0{,}5\, d_{\grave{o}} \cdot \left| M_{\grave{o}} \right|}{I_{\grave{o}}}; \qquad (5.97)$$

$$\sigma_{1\grave{o}} = \frac{\left| 16070 \right|}{3{,}14 \cdot (57 - 3{,}5) \cdot 3{,}5} = 27{,}3 \text{ ÌÏà}$$

$$\sigma_1 = 27{,}3 + \frac{0{,}5 \cdot 57 \cdot \left| 83373 \right|}{211263} = 11{,}2 \text{ ÌÏà}$$

– в окружному напряму

$$\sigma_{2\grave{o}} = 0{,}5 \cdot (d_{\grave{o}} + S_{\grave{o}}) \cdot P / S_{\grave{o}} \qquad (5.98)$$

$$\sigma_{2\grave{o}} = \frac{0{,}5 \cdot (57 + 3{,}5) \cdot 0{,}52}{3{,}5} = 4{,}5 \text{ ÌÏà}$$

5.3.5 Розрахунок трубних решіток на міцність та жорсткість

Умова статичної міцності трубної решітки

$$\max\left\{\tau_{ð1};\ \tau_{ð2}\right\} \le 0{,}5\left[\sigma\right]_p \qquad (5.99)$$

$$\max\left\{1{,}7;\ 10{,}8\right\} \le 0{,}5 \cdot 165{,}6$$

10,8МПа < 82,8МПа - виконується

Перевірка на міцність трубної решітки при малоциклових навантаженнях

$$\sigma_a = 0{,}5\,K_\sigma \cdot \max\left\{\left|\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_2\right|;\ \left|\Delta\sigma_2 - \Delta\sigma_3\right|;\ \left|\Delta\sigma_3 - \Delta\sigma_1\right|\right\} \le \left[\sigma_a\right], \qquad (5.100)$$

де K_σ – ефективний коефіцієнт концентрації напружин, що визначається за черт. 9 [12];

σ_a – амплітуда напружин в трубній решітці при розрахунковій температурі, МПа;

$[\sigma_à]$ – допустима амплітуда напружин для матеріалу трубної решітки при розрахунковій температурі, МПа;

$\Delta\sigma_1, \Delta\sigma_2, \Delta\sigma_3$ – розмах головних напружин, МПа

При перевірці трубної решітки на малоциклову міцніть слід приймати

– в місці з'єднання з кожухом

$$\Delta\sigma_1 = \sigma_{p1};\quad \Delta\sigma_2 = \Delta\sigma_3 = 0\,;\quad K_\sigma = 1{,}2$$

$$\sigma_a = 0{,}5 \cdot 1{,}2 \cdot \max\left\{\left|1{,}7 - 0\right|;\left|.0 - 0\right|;\left|0 - 1{,}7\right|\right\} = 0{,}5 \cdot 1{,}2 \cdot \max\left\{1{,}7;\ 1{,}7\right\} = 1{,}0\ ÌÏà$$

Умова:

$$\sigma_a = 1{,}0\ ÌÏà \quad < [\sigma_a] = 692\ ÌÏà \quad \text{– виконується}$$

– в перфорованій частині:

$$\Delta\sigma_1 = \sigma_{ð2};\quad \Delta\sigma_2 = \Delta\sigma_3 = 0;\quad K_\sigma = 1$$

$$\sigma_a = 0{,}5 \cdot 1 \cdot \max\left\{\left|91{,}8 - 0\right|;\left|0 - 0\right|;\left|0 - 91{,}8\right|\right\} = 0{,}5 \cdot 1 \cdot \max\left\{91{,}8;\ 91{,}8\right\} = 45{,}9\ ÌÏà$$

Умова:

$$\sigma_a = 45{,}9\ ÌÏà \quad < [\sigma_a] = 692\ ÌÏà \quad \text{– виконується}$$

Допустиму амплітуду напружин розраховуємо за формулою [12]

$$[\sigma_a] = \frac{2300 - t}{2300} \cdot \frac{A}{\sqrt{n_N \cdot N}} + \frac{\hat{A}}{n_\sigma}, \qquad (5.101)$$

де A_1, B_1 – характеристики матеріалів, які визначаються за таблицею 6, МПа.

n_N –коефіцієнт запасу міцності по числу циклів навантаження, $ï_N = 10$;

n_σ –коефіцієнт запасу міцності по напружинам, n_σ = 2;

N –число циклів навантаження;

t –розрахункова температура елемента, що розглядається, °С

$$A = 0{,}6 \cdot 10^5 \text{ ÌÏà}$$

$$Â = 270 \text{ÌÏà}$$

де R_m^{20}– мінімальне значення тимчасового опору (границі міцності) матеріалу елемента, що розраховується, при температурі 20 °С, МПа;

R_e^{20}– мінімальне значення границі текучості матеріалу елемента, що розраховується, при температуре 20 °С, МПа.

$$[\sigma_a] = \frac{2300 - 165}{2300} \cdot \frac{0{,}6 \cdot 10^5}{\sqrt{10 \cdot 1000}} + \frac{270}{2} = 692 \text{ ÌÏà}$$

5.3.6 Розрахунок труб на міцність та стійкість

Умова статичної міцності труб має вигляд

$$\max\{\sigma_{1ò}; \sigma_{2ò}\} \le [\sigma_ò], \qquad (5.102)$$

де $[\sigma_ò]$– допустима напружина для матеріалу труб при розахунковій температурі, МПа.

$$\max\{27{,}3;\ 4{,}5\} \le 165{,}6 \text{ÌÏà}$$

27,3МПа < 165,6МПа - виконується

Перевірка труб на малоциклову міцність проводиться за формулою (5.100)

При цьому:

$$\Delta\sigma_1 = \sigma_1; \quad \Delta\sigma_2 = \Delta\sigma_3 = 0; \quad K_\sigma = 1.$$

$$\sigma_a = 0{,}5 \cdot 1 \cdot \max\{|11{,}2 - 0|; |0 - 0|; |0 - 11{,}2|\} = 0{,}5 \cdot 1 \cdot \max\{11{,}2; 11{,}2\} = 5{,}6 \text{ ÌÏà}$$

Перевірка труб на стійкість проводится , якщо $N_ò < 0$

$$N_ò = 16070 \text{ ÌÏà} \quad > 0$$

5.3.7 Розрахунок кріплення труб в трубній решітці

У випадку кріплення труб в решітці за допомогою розвальцювання повинна виконуватися умова

$$|N_{ò}| \le [N]_{òp}, \qquad (5.103)$$

де $[N]_{òp}$ – допустиме навантаження для з'єднання труби з решіткою

Допустима навантажина для з'єднання труби з решіткою

$$[N]_{òp} = d_{ò} \cdot l_{â} \cdot [q], \qquad (5.104)$$

де $l_{â}$ – довжина розвальцювання труби;

$[q]$ – допустиме навантаження на одиницю умовної поверхні з'єднання труб с решіткою;

Для труб, завальцьованих у пази

$$[q] = 29{,}4 \text{ МПа}$$

$$[N]_{òð} = 57 \cdot 55 \cdot 29{,}4 = 92169 \text{ Í}$$

Умова:

$$N_{ò} = 16070 \text{ Í} < [N]_{òð} = 92169 \text{Í} \text{ – виконується.}$$

У випадку кріплення труб в решітці приваркою з наступною підвальцьовкою повинна виконуватися умова

$$\tau = \frac{|N_{ò}| \cdot d_{ò} + 4 \cdot |M_{ò}|}{\pi \cdot d_{ò}^2 \cdot \delta} \le \varphi_c \cdot \min\{[\sigma]_{ò};\ [\sigma]_p\}, \qquad (5.105)$$

де δ – висота (катет) зварного шва в місці приварки труби до решітки (приймається рівною товщині стінки труби);

φ_c – безрозмірний коеффіцієнт

$$\varphi_{ñ} = \min\{0{,}5;\ (0{,}95 - 0{,}2 \lg N)\}, \qquad (5.106)$$

де N – число циклів навантаження

$$\tau = \frac{|16070| \cdot 57 + 4 \cdot |83373|}{3{,}14 \cdot 57^2 \cdot 3{,}5} = 35 \text{ ÌÏà}$$

$$\varphi_c = \min\{0{,}5;\ (0{,}95 - 0{,}2 \cdot \lg 1000)\} = \min\{0{,}5; 0{,}35\} = 0{,}35$$

Умова:

$$\tau = 35 \text{ ÌÏà} \le 0{,}35 \cdot \min\{165{,}6;\ 165{,}6\} = 58 \text{ ÌÏà} \text{ – виконується}$$

6 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИПАРНОГО АПАРАТА

6.1 Вимоги до виготовлення

До виготовлення випарного апарата пред'являють високі вимоги. Технологічні процеси, методи випробувань і неруйнуючого контролю повинні забезпечувати високу якість виготовлення і безпечну експлуатацію апарата з корозійним середовищем.

Апарати слід виготовляти на підприємствах, оздоблених засобами, які забезпечують якість виготовлення в повній відповідності з вимогами СОУ МПП 71.120-217:2009, креслень і технічних умов, затверджених в установленому порядку.

Підприємство повинно мати дозвіл Держгірпромнагляду України на виготовлення апаратів і їх елементів. Дозвіл видається управліннями Держгірпромнагляду округів.

Дозвіл на виготовлення оформлюють відповідно до "Інструкції за наглядом за виготовленням об'єктів котлонагляду", затвердженої Держгірпромнаглядом.

Для отримання дозволу на виготовлення підприємство-виробник повинне підготувати відповідно до інструкції повний комплект документів, що відображають підготовленість інженерно-технічних працівників, працівників відділу технічного контролю, зварювальників, дефектоскопістів, технічну забезпеченість технологічним устаткуванням, оснащенням, інструментом, засобами контролю технологічного процесу, інструкціями, технічними умовами.

Держгірпромнагляд контролює дотримання Правил при виготовленні і експлуатації посудин і апаратів.

Приймання устаткування на заводах-виробниках здійснюють у відповідності з СОУ МПП 71.120-217.2009, а також вимогами нормативно-технічної документації, злагодженої або затвердженої в установленому порядку. Органи технагляду при необхідності можуть привертати представника регіонального відділу Держгірпромнагляду.

Представники технагляду повинні записувати в паспорт посудини результати зовнішніх, внутрішніх оглядів і гідравлічних випробувань посудини, що поставляється замовником в повністю зібраному вигляді. При виконанні вказаних умов, за відсутності зовнішніх пошкоджень в процесі транспортування і місцеположення, а також дотриманні термінів і умов консервації посудини пускають в роботу без пред'явлення інспектором Держгірпромнагляду для внутрішнього огляду.

Апарат і його елементи слід виготовляти за технологією, розробленою заводом-виробником. Технологічні процеси розробляють на всі види робіт з включенням операцій технічного контролю на всіх етапах виготовлення деталей і елементів посудини.

Відділ технічного контролю заводу-виробника повинен забезпечити поетапний контроль якості виготовлення заготівок і деталей, збирання, зварювання, термообробки, випробувань і здійснювати приймання з складанням документації відповідно до Правил Держгірпромнагляду.

Листові матеріали, прокат, поковки, призначені для виготовлення деталей посудин, що розраховуються на міцність, перед пуском у виробництво піддають вхідному контролю. По сертифікатах завода-постачальника матеріала перевіряють відповідність його якості і характеристик вимогам стандартів і технічних умов по ГОСТ 7566—81. За відсутності в сертифікатах необхідних характеристик матеріалу їх визначає завод-виробник посудин. Незалежно від наявності сертифікату, листові сталі та поковки піддають випробуванням для визначення хімічного складу, механічних і корозійних властивостей з урахуванням умов застосування матеріалу.

Процес зварювання і якість виконання зварювальних робіт багато в чому визначають надійність роботи апарата. У зв'язку з цим до зварювання і наплавлення апарата і його елементів допускаються тільки атестовані зварювальники, що пройшли навчання і випробування відповідно до "Правил атестації зварювальників", затверджених Держгірпромнаглядом. [19]

6.2 Різання металу і обробка кромок

Допускається різання листів, труб на механічних ножицях. Електродугове й газове різання застосовується при заготовці днищ.

Повздовжне й поперечне різання листового матеріалу виконують на гильотинних ножицях, прес-ножицях або дискових ножицях.

Для різання труб застосовують труборізальні верстати з обертовою розрізальною трубою і нерухомим різальним інструментом, а також верстати з нерухомою розрізальною трубою і обертовою голівкою.

Для додання кромкам обрисів, заданих кресленнями, а також видалення шару металу, ушкодженого при різанні на ножицях, кромки обробляються на спеціальних кромкорізальних верстатах. Кромки згладжують вогневим різанням. Підготовлені під зварювання кромки контролюють на відповідність кута скосу й величини притуплення. Для контролю застосовують спеціальні шаблони.

6.3 Виготовлення корпусу апарата

Обичайки виготовляють зварними з напівфабрикатів. Вальцювання, штампування обичайок допускається робити тільки на відповідних машинах або пресах. Виготовлення обичайок ручним способом, а також місцеве нагрівання й виправлення молотком не допускається.

Для виготовлення обичайки спочатку виконується розмітка листових заготівель із метою вказівки границь обробки й раціонального розкрою листа для найбільш повного використання металу. Розмітка виконується на розмічальних столах або плитах. По маркуванню листа перевіряється відповідність марки металу, довжини, товщини й ширини листа вимогам креслення. Лист укладається на розмічальний стіл маркуванням нагору й на ньому розмічається базова ризику уздовж крайки з найменшої серповидністю. На листі розмічаються ризики під відрізку, ризики з непаралельністю не більше 1 мм під строжку й контрольні ризики. Різання листа здійснюють на гильйотинних ножицях. Після різання здійснюють обробку кромок на верстаті. Після цього лист подається до преса для підгибки кромок. Після підгинання кромок лист подається до листозгинальної машини із трьома валками розташованими симетрично. Зборку поздовжнього стику роблять гідравлічними струбцинами. Після приварки на ролікоопорах заводної й вихідної планок звареним трактором виконується зварювання внутрішнього шва на флюсовій подушці, а після зачищення кореня шва зварюється зовнішній поздовжній шов. Після зварювання зовнішнього шва на стенді шов зачищають, знімають посилення й видаляють вхідну й вихідну

планки. Далі обичайка подається до листозгинальної машини на виправлення, контролюються зварені шви ультразвуковою дефектоскопією. Отвору в обичайці під штуцера обробляють вирізкою газовим різаком з попередньою розміткою.

До обичайки верхньої камери приварюють еліптичне днище, до обичайки нижньої камери приварюють конічне днище.

Розміри й форма еліптичних днищ повинні відповідати ГОСТ 6533-78.

Виготовлення еліптичного днища виконують за технічними умовами на виготовлення і поставку днищ, які викладені в стандартах на днища. Днища можна виготовляти штампуванням на пресах, методом обкатування роликами, електрогідравлічним і електромагнітним штампуванням. Зварні шви розташовують по хорді на відстані від центра не більше 440 мм. Мінімальна відстань між меридіональними швами приймають не менш 100 мм. Днища зі штампованих елементів зварюють стиковими швами із двостороннім проваром.

Формовку днища методом штампування на пресах проводять у наступному порядку. Заготівля за допомогою транспортера подається в нагрівальну піч для рівномірного нагрівання до необхідної температури. Температурний інтервал штампування 850-950 ^{0}С. Нагріта заготівля спеціальними захватами витягається з печі й подається на транспортер, за допомогою якого транспортується до штампа, що перебуває під пресом. Штамп складається із циліндричного пуансона з еліпсоїдною торцевою поверхнею, що виконана за формою кулі. Під час штампування, пуансон, рухаючись униз тягне заготівлю через матрицю.

Потім заготівлю встановлюють на протяжне кільце й штампують, як правило, за одну операцію. Заготівля знімається при ході пуансона нагору. Завершальні операції передбачають розмітку днищ для підрізування торця й розмітку отворів, підрізування торця й обробку отворів, термообробку, очищення, контроль і таврування.

Після розмітки корпуса виробляється вирізка отворів для установки люків, штуцерів й інших елементів арматури апарата.

Отвори для установки штуцерів на обичайці й днищі розміщають на відстані від краю ближнього зварного шва до 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 діаметра отвору або 1,4 напівсуми діаметрів отворів, якщо діаметри їх різні.

На днищах відстань між кромками двох сусідніх отворів, обмірювана по хорді приймають не менш діаметра меншого отвору.

Не допускається розташовувати отвори на зварних швах. На поздовжніх швах обичайки допускається установка штуцера діаметром не більше 150 мм при відстані між центрами двох сусідніх штуцерів не менш суми діаметрів їхніх отворів на радіусі. У кільцевих швах обичайки установка штуцерів не обмежується.

На зварних швах днищ установка штуцерів може бути виконана тільки після 100 %-го контролю зварних швів просвічуванням або ультразвуковою дефектоскопією.

Заготівлі для фланців одержують вигином прокату. Технологічний процес виготовлення заготівель по цьому методу полягає в розрізі смуги або профілю на мірні заготівлі, згинанні в кільце й стиковому зварюванню. Далі заготівлі піддають механічній обробці, обробляють ущільнювальні поверхні й внутрішній діаметр фланця. Потім висвердлюються відтвори під болти. Фланці штуцерів штампують у відкритих штампах. За один хід преса прошивають отвор й обрізають заусенці на кривошипних пресах у комбінованих штампах. Отримані заготівлі також механічно обробляють.

Зварювання штуцерів із плоским фланцем проводиться в такий спосіб: штуцер укладається ущільнювальною поверхнею на складальну плиту, по внутрішньому діаметру встановлюються підкладки, по товщині рівні товщині підведення й торця патрубка до сполучної поверхні фланця. Патрубок торцем укладається у фланець на підкладку. Витримується перпендикулярність осі щодо ущільнювальної поверхні фланця.

Патрубок прихоплюється й потім приварюється до фланця.

В обичайці кромки під зварювання зачищаються абразивом або металевою щіткою завширшки 15-20 мм від кромки й торця. Обичайки встановлюють на складальний стенд, збираються й зварюються по кільцевих швах. Поздовжні шви в горизонтальних апаратах повинні розташовуватися поза межами нижньої частини корпуса. Потім виконується зварювання спочатку зовнішніх, а потім після зачищення - внутрішніх кільцевих швів. [22]

7 РЕМОНТ І МОНТАЖ

Під монтажем устаткування мається на увазі комплекс робіт, пов'язаних із приведенням його в робочий стан. Для цього устаткування повинне бути повністю зібрано, установлено в проектне положення й включено в технологічну схему агрегату або установки.

Монтаж випарного апарата повинен здійснюватися з дотриманням всіх правил безпеки, установлених для окремих видів робіт, загальних правил безпеки й пожежної безпеки, що діють на даному підприємстві, а також у відповідності в діючими будівельними нормами й правилами на підставі проекту провадження робіт.

До початку монтажних робіт повинні бути виконані наступні підготовчі роботи:

1. Затверджено і передані монтажній організації проектно-кошторисна документація і проект робіт;
2. Підготовлені склади і площадки для складання устаткування, трубопроводів, металоконструкцій;
3. Споруджено постійні й тимчасові під'їзні колії для подачі устаткування в монтажну зону й пересування кранів; підготовлені тимчасові інвентарні, санітарно-побутові й виробничі будівлі необхідні для виконання робіт;
4. Прокладено магістральні й розводящі мережі й установлені пристрої, що підключають, для подачі електроенергії, води, пари, стисненого повітря, горючих газів, інертних газів і т. і;
5. Змонтовано освітлення в зоні монтажу;
6. Доставлено устаткування, трубопроводи, металоконструкції й матеріали;
7. Виконано необхідні будівельні роботи, зроблені монтажні прорізи, посилені при необхідності будівельні конструкції.

До початку монтажних робіт повинне бути змонтоване підйомно-транспортне встаткування, виконані заходи щодо охорони праці, техніці безпеки, протипожежної безпеки. Повинна бути перевірена відповідність проекту розташування штуцерів устаткування, опорних конструкцій. Результати перевірки оформляються в актах. [20]

7.1 Вимоги до монтажу й експлуатації

До монтажу необхідно:

1) зробити розпакування апарата, перевірити комплектність поставки відповідно до відомості впакування;

2) очистити апарат, видалити консерваційне змащення.

1. Для поліпшення умов праці при роботі зі шкідливими компонентами рекомендується обв'язка апарата технологічними трубопроводами для роботи в замкнутій герметичній системі;
2. Пост (панель) керування рекомендується встановлювати поблизу апарата в зручному місці;
3. Щит електроапаратури необхідно встановити в пожежобезпечній зоні приміщення;
4. При навантаженні апарата на транспортні засоби й монтажі його стропування робити за пристрої відповідно до схеми стропування;
5. Підготувати фундамент для установки апарата;
6. Установити апарат на фундамент, вивірити його у вертикальне положення за допомогою пристроїв для вивіряння, після чого закріпити апарат;
7. Зробити заземлення апарата, щита електроапаратури відповідно до вимог ДСТУ 12.2.007.783 і “Правил пристрою електроустаткування”;
8. Після установки апарата зробити обв'язку корпуса з відповідним устаткуванням і трубопроводами;
9. Провести гідравлічне випробування апарата і трубопроводів (по необхідності);
10. При задовільних результатах гідровипробувань апарат теплоізолювати (при необхідності);
11. Робочий режим роботи випарного апарата забезпечують, спостерігаючи за показаннями термометрів та манометрів

При підготовці апарата до роботи провести зовнішній огляд апарата і апаратури керування. [21]

7.2 Підготовчі роботи перед проведенням ремонту

Підготовка устаткування до ремонту впливає на повноту усунення дефектів, а також на кількість ремонту. Крім того, правильна підготовка встаткування до ремонту досить важлива для забезпечення безпеки персоналу,

зайнятого на ремонтних роботах. Послідовність і зміст операцій по виводу працюючого встаткування в ремонт обмовляється в технологічних інструкціях.

Устаткування виводиться з роботи в плановому порядку обслуговуючим персоналом за вказівкою особи відповідального за його стан і безпечну експлуатацію. Потім його від'єднують від діючих трубопроводів і від іншого встаткування установкою заглушок. Заглушки встановлювані у фланцевих розніманнях, виготовляють відповідно до вимог норм із пофарбованими в червоні кольори хвостовиками, із вказівкою привласнених номерів, D_y та P_y

Установка заглушок записується у вахтовому журналі із вказівкою номера, місця й часу установки й прізвища виконавця. Так само реєструється й зняття заглушок.

Випарний апарат готують до ремонту в такий спосіб. Доводять тиск у апараті до атмосферного, з апарату видаляють робоче середовище, після чого його пропарюють водяною парою, що витісняє пару, що залишилися в апараті, і гази. Після пропарювання апарат промивають водою. У деяких випадках пропарювання й промивання чергують кілька разів.

Підготовленість устаткування підтверджується в наряді-допуску, що видається ремонтній бригаді.

Після закінчення провітрювання варто зробити аналіз повітря, узятого з різних по висоті апарата місць. До робіт усередині апарата дозволяється приступати тільки тоді, коли аналіз покаже, що концентрація шкідливих газів і пари не перевищує гранично припустимих санітарних норм.

7.3 Розбирання апарата, виявлення і усунення дефектів

Ремонт апаратів проводять за технологією, розробленою ремонтною організацією до початку виконання ремонтних робіт. Всі види ремонтів повинні виконуватися в строгій відповідності із графіком ППР, затвердженому головним інженером.

При проведенні ремонтних робіт в апарату необхідно керуватися «Інструкцією з організації безпечного проведення газонебезпечних робіт на підприємстві».

При ремонті внутрішні пристрої очищають від бруду й інших відкладень. Ремонт внутрішніх пристроїв пов'язаний з багаторазовим підйомом нових і спуском зношених деталей, такі операції бажано механізувати. До верхньої частини корпуса конвертора кріплять поворотний або нерухомий кран-укосину. Визначення зношування й відбраковування внутрішніх пристроїв виробляються відповідно до діючих норм і методикам. Зношені деталі, а іноді й цілі вузли заміняються новими.

Ремонтні роботи із застосуванням відкритого вогню повинні проводитись відповідно до «Типової інструкції з організації безпечного проведення вогневих робіт на вибухонебезпечних об'єктах». Вогневі роботи проводяться тільки при наявності дозволу на виробництво вогневих робіт.

Перевірку, регулювання і ремонт всіх контрольно-вимірювальних приладів й автоматичних пристосувань необхідно робити відповідно до «Правил організації й перевірки вимірювальних приладів і контролю за станом вимірювальної техніки з дотриманням стандартів і технічних умов», затвердженими комітетом стандартів, мір і вимірювальних приладів.

Не дозволяється знімати гайки зі шпильок або болтів доти, поки працюючий не переконається в тім, що апарат або ділянка трубопроводу не має тиску. Затягування гайок при ремонті повинна бути рівномірної щоб уникнути перенапруги в окремих болтах.

Перед зварюванням перевіряється якість підготовки і зборки елементів, що зварюють. Зсув кромок швів у стикових з'єднаннях не повинен перевищувати 10% більш тонкого листа, але не більше 3 мм. При зварюванні елементів різної товщини передбачається плавний перехід від одного елемента до іншого, при цьому кут скосу не повинен перевищувати 15°. Допускаються стикові шви без попереднього утонення стінки, якщо різниця між товщинами елементів, що

з'єднуються, не перевищує 30 % від товщини більше тонкого елемента, але не більше 5 мм.

При ремонті корпусів використають ручне електродугове зварювання, крім того може бути використане автоматичне й напівавтоматичне зварювання. Зварні шви, що виконуються при ремонті, повинні забезпечувати необхідну міцність і бути доступними для контролю. Їх розташовують поза опорою корпуса. Перетинання зварних швів, що проводяться ручним електродуговим зварюванням не допускається.

Ушкоджену обичайку заміняють цілою або полистно. При заміні цілої проміжної обичайки використовують вантажопідйомні механізми. Вони утримують верхню неушкоджену частину апарата. Цю частину відокремлюють від дефектної обичайки й опускають на землю. Ушкоджену обичайку за допомогою тих же механізмів також опускають на землю. Нову обичайку піднімають і стикують із нижньою частиною апарата. Потім піднімають верхню частину й після стикування з обичайкою й перевірки частин обоє стикових шва заварюються. При полистовій заміні використають листи, завальцьовані по радіусу, рівному радіусу корпуса.

Дефектні днища при неможливості їхнього ремонту на місці заміняють новими. [20]

7.4 Випробування апарата на міцність і герметичність

Установлений і вивірений апарат підлягає гідравлічному випробуванню на міцність і герметичність пробним тиском.

Гідравлічне випробування проводять на місці виготовлення або на місці монтажу. Гідравлічне випробування з метою перевірки на міцність і герметичність апарату проводиться пробним тиском, величину якого встановлюють залежно від розрахункового тиску і указують в паспорті або технологічній карті. Найбільш поширено гідравлічне випробування, яке полягає в наступному. В апарат нагнітають воду при відкритому на самій верхній точці

апарату штуцері. Поява води у штуцері свідчить про заповнення апарата. Заглушивши штуцер, поволі підвищують тиск в колоні, поки воно не досягне значення тиску опресовування. При такому тиску апарат витримують протягом 10 хвилин, після чого тиск поволі знижують до робочого і приступають до огляду корпусу, одночасно обстукуючи зварні шви молотком масою 0,5—1,5 кг. Температура води при випробуванні повинна бути не нижче плюс 5 та не вище плюс 40°С. Апарат визнається готовим до роботи, якщо в ньому не виявиться ознак розриву, течії і підпривання у зварних швах, видимих залишкових деформацій після випробування. [21]

8 ОХОРОНА ПРАЦІ

8.1 Небезпечні і шкідливі виробничі фактори на виробництві

На виробництві калієвої селітри застосовуються хімічно агресивні речовини (кислота азотна), небезпечні речовини (сода кальцинована, хлорид калію, нітрат калію, нітрат натрію), розчини, що кристалізуються, з високою температурою (реакторний розчин, распарений розчин), пара під тиском 0,5-1,7 МПа.

Пара і гарячі рідини - при зіткненні з неізольованими поверхнями гарячих трубопроводів, апаратами, що обігріваються, при розриві парових комунікацій можуть бути отримані термічні опіки.

Механізми - частини механізмів, що рухаються і обертаються (вали, муфти, зчеплення й т. д.), при відсутності огороджень і необережному обігу можуть викликати травми, переломи, вивихи, що супроводжуються кровотечами.

Шум - частина устаткування працює з рівнем шуму вище допустимої норми. Основними джерелами шуму в цеху є працюючий турбовентилятор ТГ-65-1,06 і насоси. Шкідлива дія шуму відбивається на органах слуху. Тривалий вплив шуму на слухові органи людини без їхнього захисту можуть призвести до професійної приглухуватості. Приглухуватість призводить до прогресуючого зниження слуху, аж до його повної втрати.

В результаті тривалої дії шуму порушується нормальна діяльність серцево-судинної і нервової системи, травних і кровотворних органів.

Електронебезпечність - виробничі приміщення відносяться до приміщень із підвищеною небезпекою у зв'язку з наявністю струмопровідних підлог, залізобетонних конструкцій, металоконструкцій. Електроустаткування працює під напругою 380V у вологих приміщеннях. Застосовуються різні величини напруг і сили струму. Сила струму 0,05А - небезпечна, а 0,1А - смертельна для людини.

На виробництві калієвої селітри можливе утворення пилу. Виробничий пил - це тонкодисперсні частки, які утворюються при різних виробничих процесах, наприклад при механічному подрібненні твердих тіл, обробці матеріалів, транспортуванні, перемішуванні, упаковці подрібнених матеріалів. Найбільшу небезпеку представляє пил с частками розміром до 5 мкм, частки цього розміру затримуються в легенях, проникаючи в альвеоли, і частково або повністю розчиняються в лімфі.

Частки більшого розміру затримуються у верхніх дихальних шляхах і виводяться на зовні при видиху або відкашлюванні. Неотруйний пил при значних

концентраціях також має шкідливу дію на організм людини. Він засмічує і подразнює слизову оболонку очей, шкіру, верхні дихальні шляхи і викликає різні легеневі захворювання.

Вібрація шкідливо впливає на центральну нервову систему, шлунково-кишковий тракт, органи рівноваги, викликає запаморочення, оніміння кінцівок, захворювання суглобів. Тривала дія вібрації викликає професійне захворювання - вібраційну хворобу, ефективне лікування якої можливе лише на ранніх стадіях, а за певних умов в організмі можуть настати необоротні процеси, що призводять до повної втрати працездатності. [23]

8.2 Заходи запобігання шкідливих і небезпечних виробничих факторів

Вентиляція виробничих приміщень

Для запобігання накопиченню в приміщеннях газів у вибухонебезпечних концентраціях або в концентраціях, що перевищують санітарні норми, в нормальних умовах експлуатації передбачена безперервно діюча примусова приточна і природна витяжна вентиляція.

У приміщеннях з виробництвами категорій А, Б, В всі металеві воздуховоди і устаткування приточних і витяжних вентиляційних систем повинні бути заземлені.

Вентиляційні камери, майданчики і інші місця і установки вентиляційного обладнання повинні бути забезпечені електричним освітленням. Майданчики для обслуговування вентиляційних систем, стаціонарні сходи і отвори в перекриттях повинні бути обмежені поручнями заввишки не менш 1 метра. Вентиляційні камери повинні бути обладнані засобами пожежогасіння.

Аварийна вентиляція

Крім приточних систем, що постійно діють, в машинному залі компресії передбачений пристрій аварійної вентиляції з видаленням повітря природним

чином — через шахти в крівлі будівлі, що забезпечує восьмикратний повітрообмін.

Заходи боротьби з пилом

На виробництві утворюється пил калієвої селітри при вивантаженні готового продукту з барабанної сушарки, упаковці продукції і в процесі відвантаження її споживачам.

Для боротьби з пилом на виробництві калієвої селітри використовують мокрі циклони і приточно-витяжну вентиляцію.

Для захисту органів дихання використовують протипилеві респіратори.

Заходи боротьби з шумом і вібраціями

Основні заходи щодо зниження шуму можуть бути класифіковані таким чином: технічні засоби боротьби із шумом, будівельно-акустичні заходи, застосування засобів індивідуального захисту, організаційні заходи.

Для захисту від шуму і вібрації застосовують технічні заходи, що дозволяють усунути або понизити шум і вібрацію в джерелі їхнього виникнення (заміною зворотно-поступального руху частин механізму обертальним, застосуванням клиноремінних передач, ретельним статичним і динамічним балансуванням і центруванням частин машин, що рухаються.

Як захід захисту застосовують звукопоглинання і звукоізоляцію. При падінні звукової хвилі на звуковбирну поверхню значна частина звукової енергії поглинається в порах матеріалу. Для звукоізоляції (звуковідбивання) слід застосовувати гладкі і непористі матеріали, що добре відбивають звукові коливання. Тому для зниження шуму обгороджують гучні механізми звукоізолюючими кожухами, екранами і перегородками із гладкого звуковідбивного матеріалу, облицьовують стелю і стіни приміщень звукопоглинальними матеріалами.

Основними засобами індивідуального захисту від шуму є заглушки (антифони), які уставляються в зовнішній слуховий прохід, і протишумні

навушники і шоломи, які закривають вушну раковину. Для захисту від вібрації передбачають віброізолююче взуття і рукавички.

Заходи електробезпеки

Для забезпечення електробезпеки застосовують окремо або в поєднанні наступні технічні засоби:захисне заземлення, занулення, захисне відхилення, вирівнювання потенціалів, мала напруга, ізоляція струмоведучих частин, електричний поділ мереж, огороджувальні пристрої, блокування, попереджувальна сигналізація, знаки безпеки, попереджувальні плакати, електрозахисні засоби.

Для усунення переходу напруги на корпус і на не струмоведучі частини електричного і технологічного обладнання за замкнення на них однієї з фаз застосовують захисне заземлення або занулення.

Пожежобезпека

При проведенні будь-яких технологічних процесів небезпека пожеж і вибухів залежить від фізико-хімічних властивостей і кількості оброблюваних речовин, від конструктивних особливостей і режиму (температури, тиску) роботи апаратів і устаткування, а також від наявності джерел запалювання й умов для швидкого поширення вогню.

Загальними заходами щодо забезпечення пожежної безпеки при проведенні технологічних процесів є:

- заміна небезпечних технологічних операцій менш небезпечними;

- ізольоване розташування небезпечних технологічних установок і устаткування (у будинках і на відкритому повітрі);

- зменшення кількості горючих і вибухонебезпечних речовин, що перебувають у виробничих приміщеннях;

- запобігання можливості утворення горючих сумішей в апаратах, газопроводах, вентиляційних системах і ін.;

- механізація, автоматизація й безперервність (потоковість) виробництва; герметизація устаткування, місць з'єднань комунікацій і апаратури й місць завантаження й вивантаження технологічних апаратів;

- строге дотримання стандартів і точне виконання встановленого технологічного режиму;

- продувка водяною парою або інертними газами технологічної апаратури й комунікацій перед зупинкою їх на ремонт або пуском в експлуатацію;

- запобігання можливості появи в небезпечних місцях джерел запалювання;

- запобігання поширення пожеж і вибухів.

Поширення вогню можна запобігти, застосовуючи наступні заходи:

- на рідинних трубопроводах, у яких можливо неповне перекриття перетину труби, а також періодична відсутність рідини в трубі, установлюють зворотні клапани, сітчасті фільтри і гідравлічні затвори;

- на газопроводах установлюють гідравлічні затвори, й розривні мембрани. Тиск води в таких затворах приймається на 1 кПа (100 мм вод. ст.) вище робочого тиску газу в системі;

- на горизонтальних і похилих транспортерах протипожежні перешкоди, що перетинають, отвори постачають автоматичними дверцятами або щитами з легкоплавкими замками. Крім такого захисту, у деяких випадках додатково влаштовують водяні завіси.

Для гасіння пожеж широке застосування знаходять такі речовини, як вода, її пара, а також інші рідини, гази і тверді порошки, що мають найбільш ефективну вогнегасячу дію.

При виникненні пожежі в діючому цеху обслуговуючий персонал зобов'язаний негайно вжити заходів до ліквідації пожежі. Одночасно слід викликати заводську пожежну бригаду.

Для гасіння пожежі у всіх відділеннях передбачене розведення протипожежного азоту та протипожежного водопроводу. Передбачається також

забезпечення всіх приміщень первинними засобами пожежогасіння (пінними і вуглекислотними вогнегасниками, ящиками з піском).

8.3 Загальні вимоги до ремонтних робіт

Проведення робіт на висоті

Роботи на висоті вище 1,3м повинні виконуватися із застосуванням приставних сходів, драбин, подмостей, лісів, що мають обгороджування або при обов'язковому застосуванні перевірених або випробуваних запобіжних поясів, якщо роботи проводяться з необгороджених поверхонь.

Роботи, які виконуються на висоті більш 5м від поверхні землі, перекриття або робочого настилу, безпосередньо з конструкції, устаткування, машин і механізмів при їх монтажі і ремонті мають проводитися із застосуванням запобіжного поясу (поясу верхолаза).

До роботи на висоті допускаються особи не молодше 18 років, що пройшли медичний огляд, ввідний і первинний інструктаж по техніці безпеки і перевірку знань інструкції згідно переліку обов'язкових інструкцій для даної професії.

Ліси, підмости, і інші пристосування для виконання будівельно – монтажних і ремонтних робіт на висоті мають бути інвентарними, виготовлятися по типових проектах і відповідати ГОСТ 12.2.003 – 74.

Навантаження на настили лісів, подмостей і вантажопідйомних майданчиків не повинні перевищувати встановлених проектом величин. Скупчення на настилах людей в одному місці не допускається.

При проведенні ремонтно – монтажних робіт робітник зобов'язаний бути одягнений в спецодяг, мати при собі сумку для інструментів і працювати з надітою на голову каскою.

При роботі на висоті більш 5м, працівник повинен користуватися ременем безпеки, а так само не допускається розміщення працівників на різних відмітках по одній вертикалі.

Основні правила при проведенні такелажних та стропувальних робіт

Слюсар повинний знати правила безпечного виконання такелажних і стропувальних, а також електроробіт. Транспортування і підйом вузлів здійснюється тільки справними вантажопідйомними механізмами. До ручного транспортування вантажів допускаються особи, що досягли 18-його віку і пройшли медогляд, Одна людина може піднімати вантаж не більш 50кг. Підйом більш важких вантажів одною людиною забороняється.

При роботі з вантажопідйомними пристроями забороняється знаходиться під піднятим вантажем, або шляхи його руху, відривати краном апарат від бетонної підливи, допускати розгойдування вантажу, залишати вантаж у підвішеному стані на тривалий час.

Проведення зварювальних і вогневих робіт

Вогневі роботи дозволяється проводити тільки після виконання всіх підготовчих робіт і заходів, передбачених нарядом-допуском.

Напередодні для проведення вогневих робіт в пожежну частину прямує письмове сповіщення з вказівкою найменування цеху, номери корпусу, місця і характеру вогневих робіт.

Перед початком і періодично в процесі проведення робіт необхідно проводити аналізи стану повітряного середовища на місці робіт.

В разі підвищення змісту горючих речовин в небезпечній зоні, усередині апарату або трубопроводу вогневі роботи негайно припиняються. Ці роботи можуть бути відновлені тільки після виявлення і усунення причини загазованості і відновлення нормальної повітряної середи.

Основні правила техніки безпеки при проведенні газозварювальних і електрозварювальних робіт:

- Для проведення газозварювальних робіт, електрозварювальних робіт і інших вогневих робіт повинен бути у кожному окремому випадку наряд-допуск, затверджений начальником цеху. Наряд-допуск повинен бути узгоджений з представником ВПЧ.

- Підключення апарату електрозварювання до мережі з боку високої напруги проводиться тільки черговим електромонтером.

- При електрозварювальних роботах зварювальнику і допоміжним робітникам необхідно захищати очі від дії променів електродуги за допомогою захисних окулярів. Місця проведення вогневих робіт повинні бути екрановані від іскр, що розлітаються, і засліплення людей, що працюють поряд.

- Корпус апарату електрозварювання має бути заземлений.

- Забороняється допускати до роботи на електрозварювальних і газозварювальних апаратах осіб, що не навчені , які не мають посвідчення на право роботи на цих апаратах.

- Не піддавати балони нагріву (від сонця або інших джерел), оскільки при нагріві підвищується тиск в балоні, що може привести до вибуху і нещасного випадку.

- При проведенні вогневих робіт необхідно строго дотримуватися правил протипожежної безпеки і на робочому місці мати засоби пожежегасіння. Після закінчення зварювальних робіт перевірити, чи немає де загоряння.

- До зварювальних робіт на апаратах, що працюють під тиском, допускаються зварювальники, що мають посвідчення на право зварки посудин, підконтрольних Держгірпромнагляду.

Всередині апарату електрозварник повинен працювати у відповідних засобах захисту: у діелектричних рукавичках, галошах, шланговому протигазі та захисному шоломі, а також підлокітниках та наколінниках. Зварювальні роботи виконувати стоячи на гумовому килимці. [24]

9 ПРОМИСЛОВА ЕКОЛОГІЯ

9.1 Характеристика відходів, що утворюються на базовому об’єкті

Підприємства хімічної промисловості характеризуються великою розмаїтістю виділюваних в атмосферу шкідливих речовин Труби й шахти

хімічних виробництв здебільшого, порівняно невеликої висоти. Викиди, в основному, здійснюються над покрівлею будинків. Тільки деякі труби мають висоту 25-40 м і рідко більше 50 м. Навіть такі токсичні речовини, як хлор викидаються в ряді випадків через аераційні ліхтарі, пил - через дефлектори, а абгази зі змістом токсичних речовин, як, наприклад, вінілхлорид через шахти над покрівлею на висоті 152±20 м.

Питаннями розвитку навколишнього середовища займається екологія – наука про взаємовідношення живих організмів і середовища їхнього перебування.

Екологія повинна служити науковою базою в будь-яких заходах щодо створення нових технологічних процесів і виробництв, по дослідженню й охороні природних ресурсів, по збереженню середовища в сприятливому для людини стані.

У сучасних умовах гостро встає завдання охорони природи від різних забруднень. Забруднюючі речовини, що потрапили в природне середовище, здатні переміщатися на значні відстані. Міграція забруднюючих речовин у ґрунті здійснюються процесами вимивання й масопереносу. Нагромадження промислових відходів, спричиняючи високий рівень забруднення біосфери, сприяє підвищенню захворюваності людей, тварин, прискоренню корозії машин і металів, загибелі унікальних природних комплексів.

Екологічні проблеми тісно переплітаються з питаннями економіки, утворення, тому вони є комплексними.

Основними забруднюючими речовинами, що скидаються в атмосферу на базовому і проектованому виробництві, є KCl, $NaNO_3$ і KNO_3.

Калію нітрат (калієва селітра) - безводна кристалічна сіль білого кольору (інколи з жовтувато-сіруватим відтінком). Токсичний. Калію нітрат є окислювачем, сприяючим самозагоранню горючих речовин. Калію нітрат викликає виявлення слизистої оболонки носа, при тривалому контакті - потовщення шкіри на долонях рук і підошвах ніг. Гранично-допустима концентрація - 5 мг/м^3.

Натрію нітрат (натрієва селітра) – токсичний, при попаданні в організм людини в крові може утворюватися метгемоглобін. Не горючий. Сухий нітрат натрію є окислювачем, сприяючим самозагоранню горючих матеріалів. Гранично-допустима концентрація – 5 мг/м^3.

Калію хлористий – на непошкоджену шкіру шкідливої дії не надає, тривале вдихання пилу викликає роздратування дихальних шляхів. Гранично-допустима концентрація – 10 мг/м^3. [25]

9.2 Вплив забруднень базового об'єкта на атмосферу, літосферу, гідросферу, рослинний і тваринний мир

Шкідливий вплив промислових викидів на здоров'я людини

Шкідливі впливи газоподібних і пилових промислових викидів на людину залежать як від кількості забруднюючих речовин, що надходять в організм, так і від їхньої концентрації. Вплив концентрації нетоксичних пилів є неявним, але надзвичайно небезпечно у випадку токсичного пилу й газів. Вплив атмосферних забруднень на здоров'я людини може варіювати від малого роздратування до місцевого або загального руйнування певних органів й, нарешті, повної інтоксикації організму.

Вплив на тваринний мир

Вплив забруднюючих речовин промислових викидів на тварин може бути як безпосереднім, так і непрямим. Звичайно безпосередній вплив шкідливих речовин з атмосфери, сприйманих організмом шляхом прямого контакту або при вдиханні, не призводить до серйозних ушкоджень, оскільки кількості поглинених забруднюючих речовин, незалежно від того, гази це або пилові частки, порівняно невелика. Набагато серйозніше вторинний, непрямий вплив, оскільки тварини при цьому одержують забруднюючі речовини з кормом.

Забруднення, що нагромадилися в рослинній їжі або при безпосередньому поглинанні з повітря, або потрапивши туди через кореневу систему, надходять у травний тракт тварин у значно більших кількостях, чим при прямому впливі.

Вплив промислових викидів на ґрунт і рослинний мир

Забруднюючі речовини негативно впливають на сільськогосподарські рослини: безпосередньо - за рахунок поглинання забруднень із повітря зеленою масою, а також побічно - шляхом інтоксикації ґрунту, звідки рослини через кореневу систему одержують шкідливі речовини. Хоча вплив може бути й гострим, найчастіше відбувається хронічне ушкодження внаслідок тривалої дії малих концентрацій забруднень.

Забруднюючі речовини негативно впливають на сільськогосподарські рослини: безпосередньо - за рахунок поглинання забруднень із повітря зеленою масою, а також побічно - шляхом інтоксикації ґрунту, звідки рослини через кореневу систему одержують шкідливі речовини. Хоча вплив може бути й гострим, найчастіше відбувається хронічне ушкодження внаслідок тривалої дії малих концентрацій забруднень.

9.3 Заходи, спрямовані на зниження кількості забруднюючих речовин на виробництві

З метою забезпечення безпечних умов роботи обслуговуючого персоналу варто безупинно контролювати герметичність устаткування і комунікацій, вміст шкідливих газів в атмосфері виробничих приміщень, а також стежити за правильною експлуатацією вентиляційних установок з відповідною кратністю обміну повітря. Аналіз газів у виробництві проводиться за допомогою автоматичних газоаналізаторів. Для зменшення часу перебування обслуговуючого персоналу біля апаратів і машин використають системи автоматичного або дистанційного керування. Технологічні процеси, пов'язані з виробництвом аміачних добрив, необхідно здійснювати тільки на устаткуванні,

оснащеному справно діючими запобіжними пристроями, контрольно-вимірювальними й регулюючими приладами, системами сигналізації й блокування.

Заходи щодо очищення стічних вод

Практично повне очищення стічних вод досягається тільки при їхній біологічній обробці. Цей метод застосовується для більшості видів промислових стічних вод, які містять хімічні домішки, що окислюються біохімічно.

Для очищення вод застосовують метод біологічного окислювання в аеротенках з активним мулом. Як правило, стічні води виробництва вінілацетату очищають спільно зі стічними водами інших виробництв і розбавляють умовно чистими або господарсько-побутовими водами.

Заходи, направлені на зниження кількості відходів

Тверді відходи з відділення розчинення хлористого калію після чищення розчинників хлористого калію накопичуються і 1-2 рази на рік вивозяться в накопичувач твердих відходів селище Фугарівка.

Розсипи соди кальцинованої, а також шматки злежалої соди подаються в розчинник, куди також подається паровий конденсат зі збірника-нейтралізатора. Відцентровим насосом здійснюється інтенсивне перемішування розчину в розчиннику, отриманий розчин соди використовується для виробництва лугів нітрату натрію.

Пил калієвої селітри після сушильного барабана відділяється в циклоні й витяжному вентиляторі подається в збірник вторинного маткового розчину, очищене повітря зі змістом KNO_3 не більше 5 мг/м^3 скидається в атмосферу.

ВИСНОВКИ

В даному дипломному проекті розглянута тема: «Випарний апарат у виробництві ацетилену потужністю 25 т/рік».

На основі аналітичного огляду вибрана конструкція випарного апарату розміри якого отримані з технологічного розрахунку.

Підібрані конструкційні матеріали згідно з умов роботи випарного апарату і характеристики робочого середовища.

Роботоспроможність випарного апарату підтверджена розрахунками на міцність, жорсткість та стійкість, які виконані згідно з діючою в хімічному машинобудуванні нормативно-технічною документацією.

Висвітлені питання технології виготовлення, монтажу і ремонт випарного апарату.

Розглянуті питання охорона праці при ремонті та промислової екології.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1 Технология калийных удобрений / Под ред. В. В. Печковского. Минск: Высшая школа.1978 - 299с.

2 Позин М.Е. Технология минеральных удобрений. Л.: Химия,1989. – 352 с.

3 Кошкарев О. Д., Соколов И. Д. Технология калийных удобрений. М.: Химия, 1978-386с.

4 Позин М. Е., Зинюк В. Ю. Физико-химические основы неорганической технологии. Л. Химия, 1985. с.383.

5 ПОСТОЯННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ №46 производства калиевой, натриевой селитры

6 Способ получения нитрата калия: пат. 2261227 Рос. Федерация / О.Б. Абрамов, Е.В. Афанасенко [и др.]. № 2004125682/15; заявл. 23.08.2004; опубл. 27.09.2005. Бюлл. № 27. – 6 с.

7 Павлов К. Ф., Романков П. Г. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – М.: Химия, 1987. –576 с.

8 ГОСТ 14249—89 (СТ СЭВ 3648-82). Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность.

9 ДНАОП 0.00-1.07-94 Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением. Харьков.: Форт. 2009.175с.

10 ГОСТ 24755-89 (СТ СЭВ 1639-88). Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность укрепления отверстий.

11 РД 26-14-88 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность єлементов теплообменніх аппаратов.

12 ГОСТ 25859-83. Сосуды и аппараты стальные. Нормы и методы расчета при малоцикловых нагрузках. М.: Изд-во стандартов, 1989. – 30 с.

13 Способ получения нитрата калия: пат. 2317255 Рос. Федерация / А. И. Суханов, С. Е. Макаров [и др.]. № 2006132939/15; заявл. 13.09.2006; опубл. 20.02.2008. Бюлл. № 5. – 4 с.

14 Prem P. Sharma, Swati Gahlot, Abhishek Rajput, Rajesh Patidar, and Vaibhav Kulshrestha . Efficient and Cost Effective Way for the Conversion of Potassium Nitrate from Potassium Chloride Using Electrodialysis. ACS Sustainable Chemistry & Engineering 2016**,** 4 (6), 3220-3227. DOI: 10.1021/acssuschemeng.6b00248.

15 Xiaozhao Han, Xun Yan, Xiaoyao Wang, Jin Ran, Cuiming Wu, Xu

Zhang. Preparation of chloride-free potash fertilizers by electrodialysis metathesis. Separation and Purification Technology 2018**,** *191,* 144-152. DOI: 10.1016/j.seppur.2017.09.022.

16 Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие по проектированию./Под редакцией доктора технических наук профессора Дытнерского Ю.И., - М.: Химия. 1983 г.

17 Краткий справочник физико-химических величин/Под ред. К. П. Мищенко и А. А. Равделя, - Л.: Химия, 1974.

18 Воробьева Г. Я. Коррозионная стойкость материалов в агрессивных средах химических производств. – М.: Химия, 1975. –816 с.

19 Ю. И. Берлинер Технология изготовления химического и нефтяного аппаратостроения. – М.: Машиностроение, 1976. –856 с.

20 Ермаков В. И., Шеин В. С. Ремонт и монтаж химического оборудования: Учебное пособие для вузов. – Л.: Химия, 1981. – 368 с.

21 Фарамазов С. А. Ремонт и монтаж оборудования химических и нефтеперерабатывающих заводов. 2-е изд., перераб. – М.: Химия, 1980. – 312 с.

22 Поникаров И. И., Перелыгин О. А., Доронин В. Н., Гайнуллин М. Г. Учебник для ВУЗов по специальности «Машины и аппараты химических производств и предприятий строительных материалов /. — М.: Машиностроение, 1989. — 368 с.

23 Соловьев Н. В., Стрельчук Н. В. Охрана труда в химической промышленности. – М.: Химия, 1969. –512 с.

24 Медведева В. С. Охрана труда и противопожарная защита в химической промышленности. – М.: Химия, 1989

25 Беспамятнов Г. П., Кротов Ю. А. «Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде. – Л.: Химия, 1985 – 528 с.

26 Перцев Л.П., Ковалев Е.М., Фокин В.С. Трубчатые выпарные аппараты для кристаллизующихся растворов. М.: Машиностроение, 1982. – 136 с.