

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра «Хімічної інженерії»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

\_\_\_\_\_   
підпис, дата

**Кваліфікаційна робота магістра**  
зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»  
освітня програма «Обладнання хімічних виробництв  
і підприємств будівельних матеріалів»

Тема роботи: Виробництво сульфату амонію. Розробити та модернізувати сушарку киплячого шару

Виконав:  
студент групи ХМм-91  
Кобзар Я.С.  
П.І.П/б студента

\_\_\_\_\_   
підпис

**Залікова книжка**

№ \_\_\_\_\_

**Кваліфікаційна робота магістра**

захищена на засіданні ЕК

з оцінкою \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ р.

**Керівник:**

ДОЦ.К.Т.Н.

науковий ступінь, вчене звання

\_\_\_\_\_   
прізвище, ім'я, по батькові

Юхименко М.П.

\_\_\_\_\_   
підпис, дата

**Підпис голови**

(заступника голови) комісії

СУМИ – 2020

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 64 с., 8 рис., 1 додаток, 4 табл., 40 літературних джерел.

Графічні матеріали: технологічна схема установки, схема автоматизації складальний кресленик апарату – усього 5 аркуша формату А1.

Тема проекту: «Виробництво сульфату амонію. Розробити та модернізувати сушарку киплячого шару».

У роботі наведено літературний аналіз процесу сушки, теоретичні основи і особливості процесу сушіння сульфату амонія, виконано розрахунки матеріального і теплового балансів процесу, наведені схеми апаратів сушіння, визначені його основні геометричні розміри. Наведено технологічну схему виробництва, будову та принцип роботи апарата. Виконані технологічні, конструктивні розрахунки та матеріальні розрахунки процесу сушіння сульфату амонія, які підтверджують працездатність та надійність роботи апарата.

Ключові слова: ВИРОБНИЦТВО, СУШАРКА, КИПЛЯЧИЙ ШАР, СУЛЬФАТ АМОНІЯ, ТОПОЧНІ ГАЗИ.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	5
1.1. Основні характеристики процесу абсорбції.....	5
1.2. Технічна характеристика сировини і вимоги до якості одержуваних продуктів.....	11
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	17
2.1 Опис технологічної схеми виробництва.....	17
2.2 Теоретичні основи процесу.....	18
2.3 Опис конструкції проектного апарата.....	20
2.4 Технологічні розрахунки та визначення конструктивних розмірів апарата..	22
2.5 Гідравлічні розрахунки.....	28
2.6 Вибір допоміжного обладнання	
3 РОЗРАХУНОК НА МІЦНІСТЬ АПАРАТУ.....	33
3.1 Розрахунок товщини стінки і кришки .....	35
3.2 Розрахунок і вибір опори.....	37
4 БУДІВЕЛЬНО-МОНТАЖНА ЧАСТИНА	
4.1 Монтаж проектного апарату.....	44
4.2 Ремонт апарату.....	46
5 АВТОМАТИКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ	
5.1 Аналіз стану автоматизації .....	48
5.2 Вибір і обґрунтування параметрів контролю і регулювання.....	49
6. Охорона праці.....	50
6.1 Аналіз потенційних небезпек і шкідливостей .....	50
6.2 Розрахунок заземлення.....	53
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	60
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	61
Додаток А. СПЕЦИФІКАЦІЇ ДО КРЕСЛЕНЬ	

## Вступ

Ринок добрив в Україні динамічний, нові технології досить оперативно приймаються аграріями, нові форми добрив відносно швидко входять в звичайну практику. При цьому дуже часто нове виявляється добре забутим старим: і рідкі добрива, і інгібітори нітрифікації, і капсульованих добрива вже були в нашому радянському минулому. Вони довели свою прогресивність за межами України і «повернулися» сюди вже у вигляді сучасних технологій. Чи слід вважати повернення на ринок України суперфосфатів прогресом?

Виробництво тяжіє до ринку споживання. Це відбувається тому, що загальна вага (а відповідно, і транспортні витрати) джерел сировини, використовуваного для його виробництва, менше, ніж вага виробленого кінцевого продукту. Тому економічно обгрунтовано розташування виробничих потужностей простого суперфосфату поблизу від ринку збуту.

Одним з основних процесів є сушка добрив. Видалення вологи з твердих і пастоподібних матеріалів дозволяє здешевити їх транспортування, надати км необхідні властивості (наприклад, зменшити злежуваність добрив або поліпшити розчинність барвників). а також зменшити корозію апаратури а трубопроводів при зберіганні або подальшій обробці цих матеріалів.

Вологу можна видаляти з матеріалів механічними способами (віджиманням, відстоюванням, фільтруванням, центрифугуванням). Однак більш повне зневоднення досягається шляхом випаровування вологи і стовбура утворюються пари, т. Е. З допомогою теплового сушіння. Цей процес широко використовується в хімічній технології. Він часто є останньою операцією на виробництві, що передуює випуску готового продукту. При цьому попереднє видалення вологи зазвичай здійснюється більш дешевими механічними способами (наприклад, фільтруванням), а остаточне - сушінням. Такий комбінований спосіб Вилучення волога дозволяє підвищити економічність процесу. У хімічних виробництвах, як правило застосовується штучна сушка матеріалів спеціальних сушильних установках, так як природна сушка на відкритому повітрі процес занадто тривалий.

# 1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

## 1.1 Основні характеристики процесу сушки

По своїй фізичній суті сушка є складним дифузійним процесом, швидкість якого визначається швидкістю дифузії вологи з глибини вишивати матеріалу в навколишнє середовище. Як буде показано нижче, видалення вологи при сушінні зводиться до переміщення тепла і речовини волога вітру матеріалу і їх перенесення з поверхні матеріалу в навколишнє середовище. Таким чином, процес сушіння є поєднанням пов'язаних один з одним процесів тепло - і масообміну (влагообмена). За способом підведення тепла до висушують матеріалу розрізняють наступні види сушіння:

1) конвективна сушка - шляхом безпосереднього зіткнення висушуваного матеріалу з сушильним агентом, в якості якого зазвичай використовують нагріте повітря або топкові гази (як правило, в суміші з повітрям);

2) контактна сушка - шляхом передачі тепла від теплоносія до матеріалу через розділяє їх стінку:

3) радіаційна сушка - шляхом передачі тепла інфрачервоними променями;

4) діелектрична сушка- шляхом нагрівання в полі струмів високої частоти,

5) сушка сублімації - сушка в замороженому стані при глибокому вакуумі. За способом передачі тепла цей вид сушки аналогічний контактної, але своєрідність процесу змушує сублімаційну сушку виділяти в особливу групу.

Для організації процесу сушіння таких продуктів застосовують спеціальні сушильні апарати: вакуум-гребкові, барабанні, вальцеленточние сушарки, сушарки з фонтануючим і псевдозрідженим шаром [1,2, 3].

Слід зазначити, що застосування різних інтенсифікаторів процесу: мішалок, вібрації та інших нерідко веде до комкуванню, що неприпустимо. Обсяг пастоподібних і грудкують матеріалів, що йдуть на сушку, становить до 20% від усього переліку речовин медичної індустрії. Як правило, продукти, що йдуть на сушку в пасти, після неї мають вигляд дрібнодисперсних порошоків.

Суспензії і розчини. Суспензії і розчини медичних препаратів (Вміст вологи 80-97% (мас.)), Згідно з літературними даними [3], являють собою рідину з різною

в'язкістю, з різною корозійної активністю і різної температурної стійкістю розчиненого продукту.

При виборі способу сушіння керуються корозійними властивостями і вимогою до розчину по кінцевій концентрації.

Стратегія вибору оптимального апаратурно-технологічного оформлення процесу сушіння конкретного матеріалу повинна включати шість основних етапів: 1) комплексний аналіз матеріалу як об'єкта сушіння; 2) визначення типу сушарки на основі комплексного аналізу та наявних класифікацій сушильних апаратів; 3) визначення оптимального режиму сушки з урахуванням технологічних вимог до якості висушеного продукту; 4) розрахунок апарату з урахуванням необхідної продуктивності; 5) забезпечення екологічної та виробничої безпеки технологічного процесу; 6) економічний розрахунок [4,5].

Попередній вибір сушильних апаратів для сушіння оксациллина натрієвої солі здійснювався за допомогою розробленої НІХІМАШем методики, що дозволяє скоротити обсяг науково-дослідних і проектних робіт по апаратурному оформлення процесу сушіння. Таблиця показників початкового вибору сушильних апаратів на основі зазначеної методики представлена в роботі [6]. Проаналізувавши дані показники, перевага була віддана сушильному обладнанню, що працює в режимі зваженого шару, до якого відносяться пневматичні труби-сушарки, сушильні апарати з закрученим потоком, аерофонтанні сушарки, сушарки з киплячим і віброкиплячого шаром матеріалу. Всі ці види сушарок призначені для малотоннажного і середнетоннажного виробництва дисперсних матеріалів, придатні для висушування від органічних розчинників, але з обов'язковою умовою - в струмі інертного теплоносія:  $N_2$ ,  $CO_2$ , або з вибором такого витрати повітря, щоб максимальна об'ємна концентрація парів розчинника в відходить з сушильної камери повітрі не перевищувала 25% нижньої концентраційної межі займання суміші парів даного розчинника з повітрям [7]. Не виключена можливість конструктивної модернізації сушильних апаратів для проведення процесу сушіння від розчинників.

Далі розглядалися сушильні пристрої з виваженим слоєм матеріала, виявлялися їх переваги та недоліки.

Сушарки, які працюють за принципом зваженого шару матеріалу, є найбільш прогресивними серед установок для сушіння не тільки дрібно-, грубодисперсних сипучих матеріалів, а й грудкують, пастоподібних речовин, а також для зневоднення розчинів і суспензій [8,9].

У процесі сушіння у завислому шарі значно збільшується площа контакту між сушильним агентом і частинками речовини, що, в свою чергу, інтенсифікує швидкість випаровування вологи з матеріалу і скорочує до декількох хвилин тривалість сушіння. Висока інтенсивність тепломасообмінних процесів забезпечує компактність установки і скорочення виробничих площ, а можливість повної автоматизації дозволяє спростити експлуатацію установок. Вважається, що найбільш перспективний безперервний метод сушіння [10,11], так як він здатний створювати умови для інтенсивної, тонкого регулювання і тісного узгодження процесів подрібнення, змішування, грануляції, сушки і автоматизації технологічного процесу в цілому. Однак, в разі малотоннажного виробництва, доцільно застосування сушильних пристроїв періодичної дії.

Для сушіння дрібнодисперсних матеріалів у завислому стані потрібні сушарки найбільш прості за конструкцією. У найпростішому випадку сушарка є вертикальну трубу довжиною до 20 м, по якій матеріал і газ рухається прямою трубою. При цьому частинки інтенсивно омиваються потоком нагрітого газу і висушуються.

Використання труб-сушарок знижує можливість регулювання швидкості теплоносія, щоб уникнути порушення транспортування матеріалу і, як наслідок, зниження коефіцієнта продуктивності агрегату і виробничої ефективності.

Найбільш простий і радикальний спосіб дозволяє збільшити відносну швидкість руху частинок в газовому потоці, є використання відцентрової сили, яка виникає при русі пилегаз суспензії по криволінійній траєкторії.

Пневмосушарки дозволяють вдало поєднати процеси фільтрації, сушки і транспорту продукту до місця розвантаження.

Сушильні апарати з закрученим потоком.

Циклонні і вихрові сушарки відносять до апаратів з закрученим потоком газосуспензії. Їх використання виявилось найбільш доцільним в вітамінній промисловості при виробництві деяких продуктів і напівпродуктів [12,13].

Їх відмінність від спіральних в тому, що матеріальний потік здійснює рух не по каналу, а всередині порожнього циліндричного або Циліндроконічне корпусу, при цьому, за рахунок тангенціального входу, відбувається обертання або рух по спіралі. Нерідко це досягається за допомогою газорозподільного пристрою, що забезпечує

інтенсивність закручування потоку. Основними достоїнствами даних сушарок є як простота конструкції, так і досить тривалий період проходження речовиною зони сушки, яке на порядок триваліше, ніж рух по спіралі в пневматичних сушарках. Дана перевага дозволяє проводити сушку речовин, у яких зв'язана волога, до її мінімально залишкового вмісту.

До недоліків відносяться як зменшення рушійної сили процесу сушіння внаслідок активного перемішування, так і велике гідравлічний опір [14,15].

Сушильні апарати з киплячим шаром матеріалу.

Сушильні апарати киплячого шару по режиму роботи діляться на періодичної і безперервної дії.

Сушильні апарати періодичної дії найчастіше застосовуються в малотоннажному виробництві для придбання продуктом однорідної вологості. Позитивними рисами таких агрегатів є конструктивна простота і можливість регулювання режимів подачі теплоносія з різноманітними параметрами на різних стадіях сушки[16,17].

Основною перевагою сушарок СП є їх висока продуктивність за рахунок інтенсифікації процесу, що дозволяє для висушування одного і того ж кількості продукту витратити в багато разів менше часу (до 1 год. замість 1 сут.), ніж в сушарках з стаціонарно розміщених продуктом. Вони відрізняються невеликими енерговитратами, займають невелику виробничу площу, полегшують операції завантаження і вивантаження.

Останнім часом для заміни поличних сушарок встановлюють періодичні сушарки з киплячим шаром.

До цих сушарок відносяться і апарати з режимом імпульсного (Пульсуючого) киплячого шару [18]. Розрізняють два методи сушіння в режимах імпульсного киплячого шару:



режим - імпульсний киплячий шар;

режим - імпульсний киплячий шар з поддувкой газу.

Сушку в імпульсному киплячому шарі застосовують для сушіння органічних дрібнозернистих матеріалів, які отримують після центрифугування (з вмістом рідкої фази до 25%). Періодично під шар вологого матеріалу вводиться нагрітий теплоносії, він на короткий час призводить речовина в стан інтенсивного псевдооживлення, яке з часом згасає. Далі слід повторення циклу. Весь процес сушіння складається з ряду таких циклів[19].

Також широке застосування знайшли односекційні сушильні апарати з розширюється догори перетином сушильної камери, зокрема, конічні.

Швидкість газу внизу такої камери повинна бути вище швидкості осадження найбільших часток, а вгорі швидкість повинна бути нижче швидкості осадження найменших. Саме така форма камери дозволяє досягти більш організованою циркуляції твердих частинок, які прагнуть вгору в центрі і опускаються вниз у периферії апарату. Завдяки тому, що швидкість газового потоку знижується по висоті, поліпшується розподіл часток в її обсязі по крупності, так само знижується і величина виносу. Це призводить до підвищення рівномірності прогріву частинок і дозволяє знизити висоту камери [20].

У багатосекційних сушильних апаратах може бути як часткова подача свіжого теплоносія в кожен секцію і послідовний рух матеріалу, так і східчато-протитечійне рух, де рух матеріалу і газу здійснюється в противотоке один до одного. Таким чином, в кожній секції можуть створюватися різні гідродинамічні і температурні режими.

Перевага багатосекційних сушарок - забезпечення більш рівномірного висушування матеріалу [21]. До недоліків можна віднести таку обставину: при сушінні тонкодисперсних матеріалів необхідно створювати перепад тиску між секціями, які розташовані одна над іншою. Тому такі апарати слід рекомендувати для крупнозернистих матеріалів з хорошими сипучими властивостями [22].

Сушарки псевдооживненого шару мають безліч модифікацій, які пов'язані головним чином із застосуванням різних механічних побудників, що дозволяють істотно розширити область результативного використання киплячого шару [23].

Сушарки з віброкиплячим шаром вібраційним впливом на об'єкт сушіння вирішують завдання підвищення інтенсивності тепло- і масообміну між частинками і теплоносієм, що в результаті турбулізує прикордонний шар і забезпечує стійкий гідродинамічний режим.

З урахуванням великої різноманітності вібросушілок, раціонально розподілити їх на основі конструктивного ознаки: горизонтальні лоткові і вертикальні. За гідродинамічного умові апарати вібраційного сушіння можна розділити на 2 групи: з режимами віброаерокіплящего шару і віброкиплячого шару, тобто псевдозріджений шар може створюватися як в результаті продування через опорну решітку теплоносія, так і за рахунок механічних вібраційних коливань.

## 1.2 Технічна характеристика сировини і вимоги до якості одержуваних продуктів

У сучасному світі з більш чистим довкіллям, знесірчення десорбційних газів і менш кислотними дощами тепер означає, що особливо нейтральні та лужні ґрунту вимагають контрольованого додавання добрив, що містять сірку, таких як сульфат амонію.

Сульфат амонію насичує ґрунт азотом і сіркою. Завдяки своїм колоїдним компонентам, добриво зв'язується з глинистими частинками в ґрунті, забезпечуючи довгостроковий запас поживних речовин. Таким чином, сульфат амонію ідеально підходить для рослин з тривалим періодом зростання і в районах з високим рівнем опадів. Крім дії в якості пролонгованої поживної речовини, сірка також сприяє доставці мікроелементів, таких як марганець, залізо і бор, з ґрунту в рослини.

Розчини сульфату амонію є промисловим побічним продуктом, який може бути застосований для виробництва добрив. Крім сульфату, азот і сірка є ключовими компонентами цього добрива, яке представлено на ринку в основному в кристалічному вигляді.

Сульфат амонію  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  - амонійна сіль сірчаної кислоти, амоній сірчаноокислий.

Сульфат амонію містить 21% азоту і 24% сірки. Це хімічно нейтральна кристалічна сіль білого кольору, добре розчинна у воді.

Серед основних способів отримання сульфату амонію, які найбільш часто використовуються в хімічній промисловості, є наступні:

- процес нейтралізації сірчаної кислоти синтетичним аміаком;
- використання аміаку з газу коксових печей для його хімічної реакції з сірчаною кислотою;
- отримання в результаті обробки гіпсу розчинами карбонату амонію;
- отримання при переробці відходів, що залишаються після виробництва капролактаму (в результаті перегрупування Бекмана при виробництві капролактаму).

Разом з тим є й інші способи виробництва сульфату амонію, наприклад, отримання цієї речовини з димових газів електростанцій і сірчано-кислотних заводів. Для цього в гарячі гази вводять газоподібний аміак, який зв'язує наявні в газі оксиди сірки в різні солі амонію, в тому числі і в сульфат амонію.

Області застосування сульфату амонію..

Сульфат амонію - широко застосовується в сільському господарстві мінеральних добрив. Використовується під всі сільськогосподарських культур (від картоплі до цитрусових) на чорноземах і сероземах. Добриво має цінною якістю - низькою міграційною здатністю, так як катіон амонію активно поглинається ґрунтом і це оберігає його від вимивання. Тому сульфат амонію рекомендують вносити на легких ґрунтах, при зрошенні, тобто там, де є потенційна небезпека втрати азоту добрива за рахунок міграційних явищ. Амонійний азот сульфату амонію засвоюється рослинами. Сірка необхідна для харчування всіх культур, так як входить до складу деяких синтезованих рослинами незамінних амінокислот.

Сульфат амонію застосовують у виробництві віскозного волокна [25,26].

У біохімії переосадження сульфатом амонію є загальним методом очищення білків.

У харчовій промисловості зареєстрований в якості харчової добавки E517.

Використовується в технології хлорування води з аммонізацією, вводиться в оброблювану воду за кілька секунд до хлору, з хлором утворює хлораміни - пов'язуючи вільний хлор, завдяки чому значно скорочується утворення

хлорорганіки шкідливої для організму людини, скорочується витрата хлору, зменшується корозія труб водовід.

У засобах гасіння пожеж сульфат амонію застосовується в якості антипірену, в гірській промисловості - як гелеобразуючий компонент при профілактичній обробці виробленого простору, до складу вибухової речовини сульфат амонію вводить для зниження горючості і усунення небезпеки самовільного займання.

Також сульфат амонію застосовується для виробництва:

- гербіцидів;
- кормів для тварин;
- вичинки шкір;
- будівельної ізоляції.

Розвиток ринку сульфату амонію обумовлюється більшою мірою не попитом з боку споживаючих галузей і ринковими факторами, а наявністю даного виду продукції, пропозицією сульфату амонію на ринку. Тобто розвиток виробництва капролактама та коксохімічної продукції обумовлює і розвиток виробництва сульфату амонію. Недостатність попиту на внутрішньому ринку буде провокувати зростання експортних поставок сульфату амонію.

## 2. Проектно-конструкторська частина

### 2.1 Опис технологічної схеми установки

Принципова схема виробництва сульфат амонію на рис. 2.1 [27].

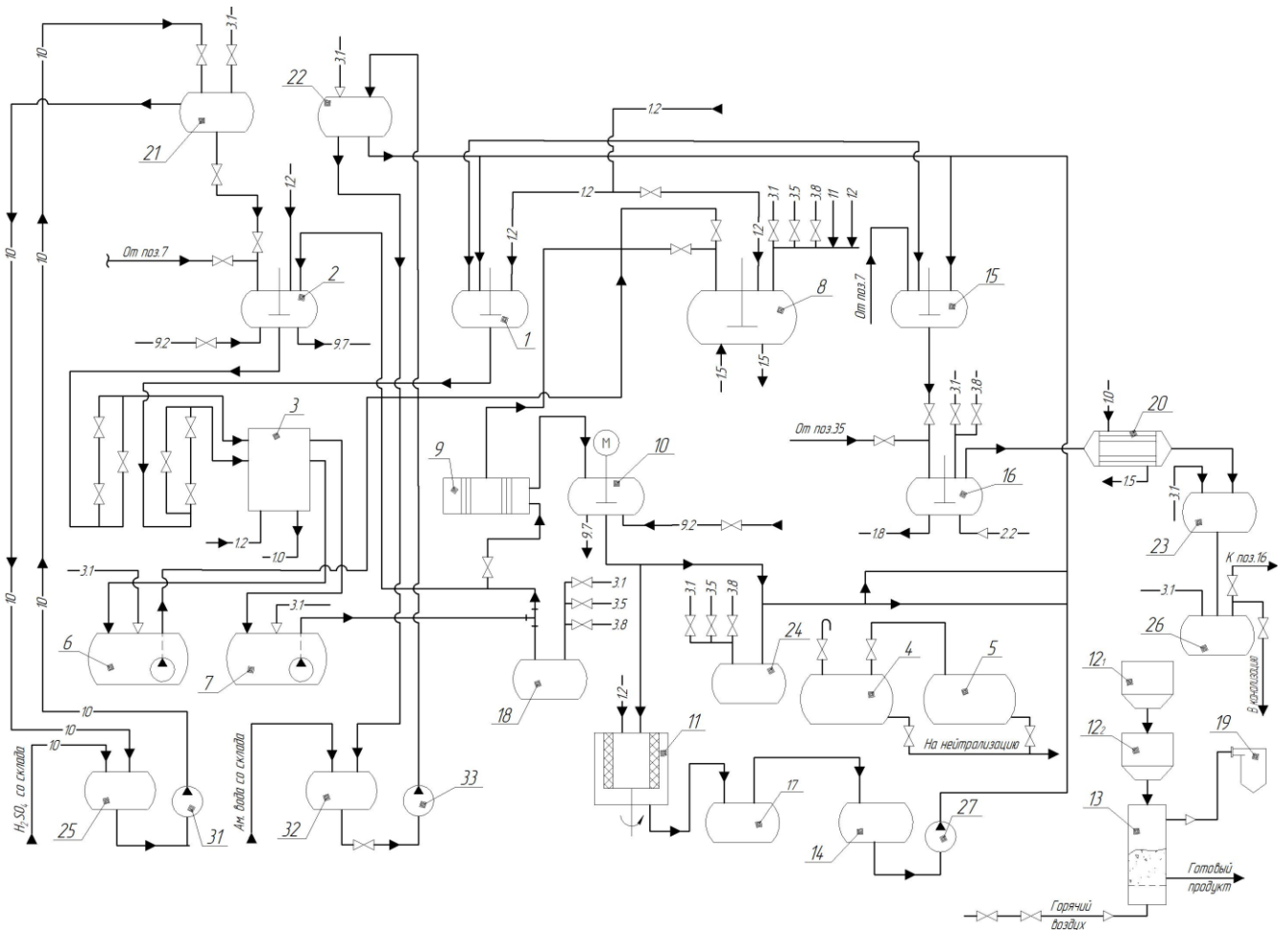


Рисунок 2.1 Принципова схема виробництва сульфат амонію:

В апарат 8 завантажують з лінії 2500 л артезіанської води, сюди ж з мішків завантажують 1400 - 1500 кг кристалічного СА (35 - 39 мішків). Нагрівають вміст апарату до температури 30 - 35° С і при включеній мішалці ведуть розчинення СА. При досягненні змісту СА в розчині 430 - 460 г / л розчин з апарату 8 за допомогою стиснутого повітря подають на фільтрацію від механічних домішок на рамний фільтр 9, звідки розчин прямує в один з кристаллизаторов 10. З кристаллизаторов розчин зливають в збірку 14, а потім відцентровим насосом 27 подають в мірники аналізу 1 або ж в проміжну ємність 24, а потім за допомогою стиснутого повітря в мірники католіта 2.

У розчин СА, в апарат 2, завантажують з мірника 21 сірчану кислоту в кількості 60 - 65 л на 1м<sup>3</sup> розчину. Розчин перемішують мішалкою протягом 30 хв і перевіряють в ньому вміст кислоти, яке повинно бути 110 - 120 г/л. Таким чином готується католітної розчин в кількістю-стве 8,5 - 9 м<sup>3</sup> для заповнення системи і пуску електролізерів.

Робота електролізерів здійснюється в безперервному режимі, при цьому циклові розчини аноліта і католіта циркулюють в загальній техноло-ня схемою роздільно.

Для пуску електролізерів необхідно, по витратоміри, подати охладяющего воду з колектора на охолодження анодів і катодів в кількості 30 - 35 м<sup>3</sup>/год. Далі подати, через ротаметри, що живлять циклові розчини в катодного простір і анодні осередки зі збірок 11 і 21 з проточили-ністю для аноліта 800 - 1000 л/год; для католіта 800 - 900 л/год. В процесі роботи проточність регулюється в залежності від результатів аналізів на кислотність і зміст ПСА. Вихід на стабільний режим відбувається за 2 - 3 години, при цьому навантаження повинна бути 4,5 - 5,0 кА при швидкості прото-ка 800 - 1000 л/год. Напруга має бути в межах 65 - 70 В. Темпера-тура аноліта, що надходить на електроліз, підтримується в межах 20 - 25 ° С. Вміст заліза не повинна перевищувати 60 мг / л. Температура католіта в процесі електролізу 30 - 35 с.

## 2.2 Теоретичні основи процесу

Конвективна сушка повітрям або газом є найбільш поширеним методом сушіння в хімічній промисловості [28]. У повітряному сушінні, так само як і в газовій, тепло передається від теплоносія безпосередньо висушують речовини. Для отримання матеріалу високої якості особлива увага повинна приділятися технологічного режиму сушіння, правильному вибору параметрів і визначення режиму процесу (вибір оптимальної температури нагріву матеріалу, вибір оптимальних значень вологості матеріалу і т. Д.)

Оптимальний режим сушіння, що впливає на технологічні властивості матеріалу, залежить від зв'язку вологи з матеріалом.

Фізична сутність сушильного процесу полягає в наступному: рушійною силою процесу видалення вологи з матеріалу є різниця парціальних тисків парів над матеріалом ( $p_{\Pi}^M$ ) і в навколишньому середовищі ( $p_{\Pi}^B$ ) (Повітряної або газової):

при  $\Delta p = 0$  настає рівновага і сушка припиняється. якщо  $p_{\Pi}^B > p_{\Pi}^M$ , То відбувається протилежний процес зволоження матеріалу. У міру віддалення вологи з поверхні матеріалу, за рахунок різниці концентрації вологи усередині матеріалу і на поверхні його відбувається рух вологи до поверхні шляхом дифузії. У деяких випадках має значення так звана термодифузія, коли рух вологи всередині матеріалу відбувається також за рахунок різниці температур на поверхні і всередині матеріалу в напрямку зменшення температур.

Сушка - процес тепломасообмінний. Видалення вологи з поверхні тісно пов'язане з просуванням її зсередини до поверхні.

Слід зазначити, що при сушінні деяких матеріалів до низької кінцевої вологості тепло витрачається не тільки на підігрів матеріалу і випаровування вологи з нього, а й на подолання зв'язку вологи з матеріалом.

У більшості випадків при сушінні видаляється водяна пара, проте в хімічній промисловості припадає нерідко видаляти пари органічних розчинників. Незалежно від того, яка рідина буде випаровуватися, закономірності процесу ті ж.

## 2.3 Опис конструкції апарата, що проектується

### 2.3.1 Новизна проектної розробки

Сушарку було модернізувано добавивши в стандартну сушарку утеплення корпусу для менших втрат тепла топочних газів. Це призвело до підвищення рівномірності прогріву частинок і дозволило знизити висоту камери. В стандартних сушарках недоліком є нерівномірна сушка речовини, що обумовлено збільшенням часу перебування деяких частинок в зоні сушки.

### 2.3.2 Опис конструкції апарату

Сушарка киплячого шару представляє собою апарат складається з конічного корпусу 1, газороздільних пристрою 2, газороздільних решітки 3, кришки 4. Робота сушарки забезпечується шнековим живильником 5 який подає вихідний матеріал з бункера 6.

Вихідний матеріал з бункера 6 шнеком подається в сушарку, де під дією потоку повітря приходить в стан псевдооживлення. Висушений матеріал виводиться з сушарки через штуцер Б, розташований в діаметрально протилежному напрямку від штуцера введення. Для забезпечення рівномірності потоку руху газу і запобігання провалювання шматків матеріалу вниз сушарки внизу конічного корпусу встановлена газорозподільна решітка. Повітря вводиться в сушарку через штуцер В. Для відводу частинок матеріалу, які можуть провалитися під решітку передбачений штуцер Д. Відпрацьований насичений вологою повітря відводиться з сушарки через штуцер Г у верхній частині кришки [28].

Ескіз сушарки псевдооживленого шару наведено на рис. 2.2



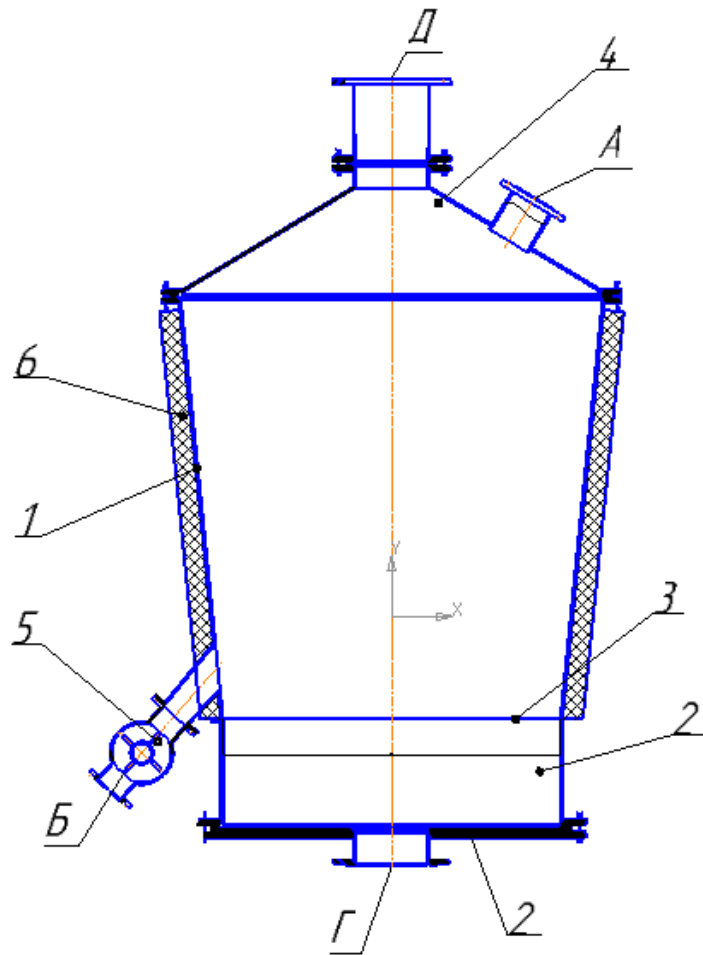


Рисунок 2.2 - Ескіз сушарки псевдозрідженим шаром

1- корпус, 2 газорозподільний механізм, 3 газораспре-делительная решітка, 4 - кришка, 5 - шнековий відвід, 6 - утеплювач. А - вхід вологого продукту, Б - вихід сухого продукту, Г - вхід гарячого повітря, Д - вихід відпрацьованого повітря,.

Сушка вологих матеріалів - це сукупність процесів перенесення тепла і маси, що супроводжуються біохімічними і структурно-механічними змінами речовини. При сушінні матеріал не тільки втрачає вологу при фазовому її перетворенні, але набуває нових якостей. Тому питання вибору способу, оптимального режиму сушки і конструкції апарату безпосередньо пов'язані з властивостями матеріалу і вимог до технології виробництва продукту. Інтенсифікація процесу сушіння також безпосередньо пов'язана з властивостями матеріалу. Практично при сушкѐ вирішуються завдання в двох напрямках: розробка раціонального способу сушіння і відповідної конструкції апарату для нових технологічних ліній і вдосконалення

існуючих способів сушки і конструкцій апаратів на діючих виробництвах. Сушка є процес видалення вологи з твердих вологих матеріалів шляхом її випаровування і відведення пари, що утворилася. Сушка може проводитися двома способами:

1 - шляхом безпосереднього зіткнення сушить агента (підігрітого повітря) з висушують матеріалом. Такий вид сушки називається конвективна сушка;

2 - шляхом нагрівання матеріалу, що висушується тим чи іншим теплоносієм через стінку, котра проводить тепло. Такий вид сушки називається контактної сушінням.

У хімічній промисловості найбільш поширена конвективна сушка, яка проводиться гарячими газами. Це може бути підігріте повітря або топковий газ.

При сушінні процес передачі рідини з однієї фази в іншу (тобто випаровування рідини) супроводжується процесом теплопередачі. При цьому температури фаз неоднакові. На початку сушіння кількість тепла, передане висушують матеріалу, буде витрачатися на нагрів цього матеріалу. У міру нагрівання матеріалу починається випаровування вологи з нього. При цьому температура рідини, що міститься у вологому матеріалі, і тиск її пара буде зростати. З іншого боку з сушильної камери разом з парами буде відводитися тепло, кількість якого буде збільшуватися в міру прогріву матеріалу. Відповідно тепло, що віддається вологому матеріалу, буде зменшуватися в міру нагрівання матеріалу і настане момент, коли віддане тепло буде витрачатися тільки на випаровування вологи, а нагрів матеріалу припиниться. Тобто тепло, отримане матеріалом від газу, буде йти на випаровування вологи і повертатися газу у вигляді теплоти випаровування рідини. Випаровування вологи буде відбуватися при постійній температурі до тих пір, поки не випарується вся рідина. Процес масопередачі при сушінні відбувається наступним чином: волога матеріалу з поверхні частинок, що висушується переходить в повітря, де вміст вологи нижче рівноважного. У той же час, як волога випарувалася з поверхні, її концентрація стає нижче рівноважної і

вона рухається від центру частинки матеріалу до поверхні частинки. Таким чином, процес випаровування вологи з матеріалу відбувається тільки з поверхневою плівки вологи. При цьому її температура приблизно дорівнює температурі мокрого термометра при температурі в даній конкретній точці.

Процес сушіння буде протікати до тих пір, поки пружність парів рідини над матеріалом більше, ніж парціальний тиск вологи в газі. Якщо пружність парів рідини над матеріалом менше, ніж парціальний тиск вологи в газі, то відбувається конденсація пара. Для успішного проведення сушки необхідно, щоб тиск парів над матеріалом було більше, ніж парціальний тиск вологи в газі.

## 2.4 Технологічні розрахунки та визначення конструктивних розмірів апарата

### 2.4.1 Матеріальний баланс і технологічні розрахунки [29,30]

Вихідні дані:

- кількість вологого матеріалу -  $G = 5000$  кг/год;
- вологість матеріалу, % мас .:
  - початкова - 3;
  - кінцева - 0,2;
- температура матеріалу,  $^{\circ}\text{C}$ :
  - початкова - 20;
  - кінцева - 80;
- сушильний агент - топкові газы з початковою температурою  $t_{\text{н}} = 250^{\circ}\text{C}$ ;

Кількість висушеного матеріалу

$$G_{\text{к}} = G_{\text{н}} \cdot \frac{100 - U_{\text{н}}}{100 - U_{\text{к}}} \quad (2.1)$$

$$G_{\text{к}} = 5000 \times \frac{100 - 3,0}{100 - 0,2} = 4860 \text{ кг/год,}$$

Кількість випаровується вологи

$$W = G_{\text{н}} - G_{\text{к}} \quad (2.2)$$

$$W = 5000 - 4860 = 140 \text{ кг/год,}$$

Секундна продуктивність:

по вологому матеріалу

$$G_n = \frac{5000}{3600} = 1.39 \text{ кг/с,}$$

по висушеному матеріалу

$$G_k = \frac{4860}{3600} = 1.35 \text{ кг/с,}$$

по испаренной вологи

$$W = \frac{140}{3600} = 0,039 \text{ кг/с,}$$

Внаслідок незначної різниці ентальпій топкових газів і повітря (не більше 0,8%) [1] при розрахунку газових сушарок можна користуватися І - х діаграмою вологого повітря [31].

Прийmemo, що в якості палива використовується природний сухий газ (як найбільш екологічно чисте паливо) наступного складу (в об'ємних%): 92,0% CH<sub>4</sub>; 0,5% C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>; 5,0% H<sub>2</sub>; 1,0% CO; 1,5% N<sub>2</sub>

Теоретична кількість сухого повітря L<sub>0</sub>, що витрачається на спалювання 1 кг палива, так само [4, X.1]:

$$L_0 = 138 \cdot (0,0179CO + 0,24H_2) + \sum \frac{m + \frac{n}{4}}{12 \cdot m + n} C_m H_n, \quad (2.3)$$

де склади топкових газів виражені в об'ємних частках. Підставляючи відповідні значення, отримаємо:

$$L_0 = 138 \cdot (0,0179 \cdot 0,01 + 0,248 \cdot 0,05 + \frac{1 + \frac{4}{4}}{12 \cdot 1 + 4} \cdot 0,92 + \frac{2 + \frac{6}{4}}{12 \cdot 2 + 6} \cdot 0,005) = 17,68 \text{ кг / кг,}$$

Для визначення теплоти згорання палива скористаємося характеристиками горіння простих газів [4, с.163]:

газ	реакція	Тепловий ефект реакції, кДж / м <sup>3</sup>
водень	$H_2 + 0,5O_2 = H_2O$	10810
Окис вуглецю	$CO + 0,5O_2 = CO_2$	12680
метан	$CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O$	35741
Етан	$C_2H_6 + 3,5O_2 = 2CO_2 + 3H_2O$	63797

Кількість тепла  $Q_v$ , що виділяється при спалюванні 1 м<sup>3</sup> газу, так само:

$$Q_v = 0,92 \cdot 35741 + 0,005 \cdot 63797 + 0,05 \cdot 10810 + 0,01 \cdot 12680 = 33868 \text{ кДж / м}^3,$$

Щільність газоподібного палива  $\rho_T$  [4]

$$\rho_T = \frac{\sum C_m H_n \cdot M_i}{V_0} \cdot \frac{T_0}{T_0 + t_T}, \quad (2.4)$$

де  $M_i$  - молярна маса палива, кмоль / кг;  $t_T$  - температура палива,  $t_T = 18^\circ\text{C}$ ;  $V_0$  - молярний об'єм,  $V_0 = 22,4 \text{ м}^3 / \text{кмоль}$ . тоді

$$\rho_m = \frac{(0,92 \cdot 16 + 0,005 \cdot 30 + 0,05 \cdot 2 + 0,01 \cdot 28 + 0,015 \cdot 28) \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + 18)} = 0,656 \text{ кг / м}^3,$$

Кількість тепла, що виділяється при спалюванні 1 кг палива

$$Q = \frac{Q_v}{\rho_T} \quad (2.5)$$

$$Q = \frac{33868}{0,656} = 51606 \text{ кДж / кг},$$

Маса сухого газу, що подається в сушарку, в розрахунку на 1 кг палива, що спалюється визначається загальним коефіцієнтом надлишку повітря  $\alpha$ , Необхідного для спалювання палива та розведення топкових газів до температури суміші  $t_1 = 250^\circ\text{C}$ . Значення коефіцієнта  $\alpha$  [4, X.6]:

$$\alpha = \frac{Q \cdot \eta + c_T \cdot t_T + i_{c,r} \cdot (1 - \sum \frac{9 \cdot n}{12 \cdot m + n} C_m H_n) - i_{п} \cdot \sum \frac{9 \cdot n}{12 \cdot m + n} C_m H_n}{L_0 \cdot (i_{c,r} + i_{п} \cdot x_0 - I_0)}, \quad (2.6)$$

де  $\eta$  - ккд топки,  $\eta = 0,95$ ;  $c_T$  - теплоємність газоподібного палива при температурі  $t_T = 18^\circ\text{C}$ ,  $c_T = 1,34 \text{ кДж / кг} \cdot \text{До}$ ;  $I_0$  - ентальпія свіжого повітря, кДж / кг;  $i_{c,r}$  - ентальпія сухих газів, кДж / кг;

$$i_{c,r} = c_{c,r} \cdot t_{c,r}, \quad (2.7)$$

$c_{c,r}$  - теплоємність сухих газів,  $c_{c,r} = 1,05$  кДж / кг·до;  $t_{c,r}$  - температура сухих газів,  $t_{c,r} = 250^\circ\text{C}$ ;  $x_0 = 0,006$  кг/кг- вологовміст свіжого повітря при місцевих умовах (прийнятих): температурі  $18^\circ\text{C}$  і відносній вологості  $\varphi_0 = 72\%$ ;  $i_p$  - ентальпія водяної пари, кДж / кг;

$$i_p = r_0 + c_p \cdot t_p, \quad (2.8)$$

$r_0$  - теплота випаровування води при температурі  $0^\circ\text{C}$ ,  $r_0 = 2500$  кДж / кг;  $c_p$  - середня теплоємність водяної пари,  $c_p = 1,97$  кДж / кг·до;  $t_p$  - температура водяної пари,

$$t_p = t_{c,r} = t_1 = 250^\circ\text{C},$$

Перерахуємо зміст компонентів палива, при згорянні яких утворюється вода, з об'ємних часток в масові:

$$\text{CH}_4 = \frac{0,92 \cdot 16 \cdot 273}{22,4 \cdot 0,656 \cdot (273 + 18)} = 0,939,$$

$$\text{C}_2\text{H}_6 = \frac{0,005 \cdot 30 \cdot 273}{22,4 \cdot 0,656 \cdot (273 + 18)} = 0,0096,$$

$$\text{H}_2 = \frac{0,05 \cdot 2 \cdot 273}{22,4 \cdot 0,656 \cdot (273 + 18)} = 0,0064,$$

Кількість вологи, що виділилася при згоранні 1 кг палива равно:

$$\begin{aligned} \sum \frac{9 \cdot n}{12 \cdot m + n} \cdot C_m H_n &= \frac{9 \cdot 4}{12 \cdot 1 + 4} \cdot 0,939 + \frac{9 \cdot 6}{12 \cdot 2 + 6} \cdot 0,0096 + \frac{9 \cdot 2}{12 \cdot 0 + 2} \cdot 0,0064 = \\ &= 2,19 \text{ кг / кг}, \end{aligned}$$

Коефіцієнт надлишку повітря

$$\alpha = \frac{51606 \cdot 0,95 + 1,34 \cdot 18 - 1,05 \cdot 250 \cdot (1 - 2,19) - (2500 + 1,97 \cdot 250) \cdot 2,19}{17,68 \cdot [1,05 \cdot 250 + (2500 + 1,97 \cdot 250) \cdot 0,0092 - 41,9]} = 14,04,$$

Загальна питома маса сухих газів, що отримується при спалюванні 1 кг палива і розведенні топкових газів повітрям до температури суміші  $t_1 = 220^\circ\text{C}$ , дорівнює:

$$G_{c,r} = 1 + \alpha \cdot L_0 - \sum \frac{9 \cdot n}{2 \cdot m + n} \cdot C_m H_n \quad (2.9)$$

$$G_{c,r} = 1 + 14,04 \cdot 17,68 - 2,19 = 246,3 \text{ кг/кг},$$

Питома маса водяної пари в газовій суміші при спалюванні 1 кг палива

$$G_{\text{п}} = \sum \frac{9 \cdot n}{12 \cdot m + n} \cdot C_m H_n + \alpha \cdot x_0 \cdot L_0 \quad (2.10)$$

$$G_{\text{п}} = 2,19 + 14,04 \cdot 0,0092 \cdot 17,68 = 4,47 \text{ кг / кг},$$

Влагосодержание газів на вході в сушарку

$$x_1 = \frac{G_{\text{п}}}{G_{\text{с.г}}} \quad (2.11)$$

$$x_1 = \frac{4,47}{246,3} = 0,018 \text{ кг / кг},$$

Оскільки коефіцієнт надлишку повітря  $\alpha$  великий, фізичні властивості газової суміші, яку використовують як сушильного агента, практично не відрізняються від фізичних властивостей повітря. Це дає можливість використовувати в розрахунках діаграму стану вологого повітря I - x.

За параметрами повітряної суміші на вході в сушарку ( $x_1 = 0,018 \text{ кг / кг}$  і  $t_1 = 250^\circ\text{C}$ ) визначаємо ентальпію суміші:

$$I_1 = 273 \text{ кДж / кг},$$

З огляду на, що температура відпрацьованої повітряної суміші повинна бути на  $10\text{-}30^\circ\text{C}$  вище кінцевої температури матеріалу, приймаємо

$$t_2^{\phi} = t_{\text{км}} + 30 = 80 + 20 = 100^\circ\text{C}$$

Тоді температура повітряної суміші на виході з сушарки по I - x діаграмі:

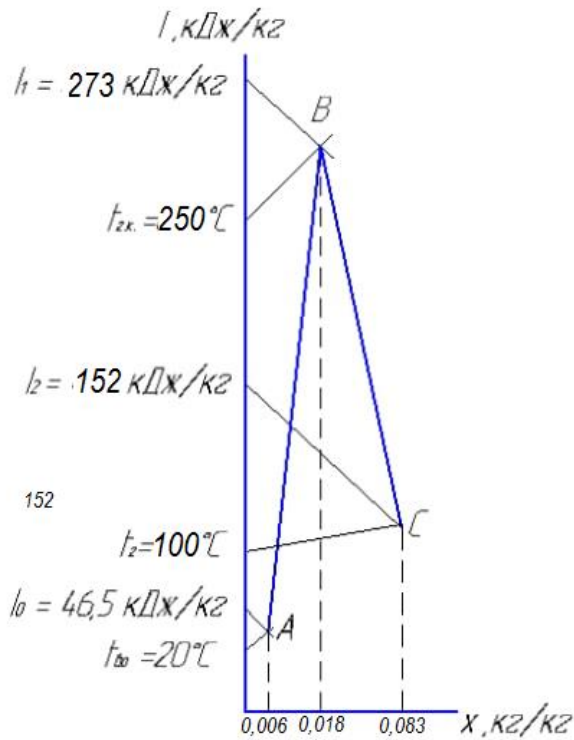


Рисунок 2.3 - Схема реального процесу сушіння сушіння

Витрата тепла:

тепло на випаровування вологи

$$Q_{\text{вип}} = W \cdot r \text{ кВт}, \quad (2.12)$$

$$Q_{\text{вип}} = 0,039 \times 2391 = 93.2 \text{ кВт},$$

де  $r = 2391 \text{ кДж / кг}$  - питома теплота випаровування при середній температурі матеріалу

$$t_{\text{cp}} = \frac{t_{\text{HM}} + t_{\text{KM}}}{2} = \frac{20 + 80}{2} = 50^\circ\text{C},$$

тепло на нагрівання вологи

$$Q_{\text{нагр}} = W \cdot c_{\text{п}} \cdot (t_2' - t_{\text{HM}}) \quad (2.13)$$

$$Q_{\text{нагр}} = 0,039 \times 1,89 \times (100 - 20) = 5.9 \text{ кВт},$$

де  $c_{\text{п}} = 1,89 \text{ кДж / кг} \cdot \text{К}$  - питома теплоємність пара;

тепло на нагрівання матеріалу

$$Q_{\text{M}} = G_{\text{K}} \cdot c_{\text{M}} \cdot (t_{\text{KM}} - t_{\text{HM}}) \quad (2.14)$$

$$Q_{\text{M}} = 1.35 \times 0,712 \times (80 - 20) = 57.6 \text{ кВт},$$

де  $c_{\text{M}} = 0,712 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}$  - питома теплоємність сульфата амонію.



Загальний витрата тепла з урахуванням втрат

$$Q = 1,09 \times (Q_{\text{вун}} + Q_{\text{назр}} + Q_{\text{м}}) = 1,09 \times (93,2 + 5,9 + 57,6) = 170,8 \text{ кВт},$$

Питома витрата тепла

$$q = \frac{Q}{W} \quad (2.15)$$

$$q = \frac{170,8}{0,039} = 4379 \text{ кВт} / \text{кг},$$

Витрата сушильних газів

$$L = \frac{Q}{c_r \cdot (t_1 - t_2)} \quad (2.16)$$

$$L = \frac{170,8}{1,05 \times (250 - 100)} = 1,08 \text{ кг} / \text{с},$$

Питома витрата газів

$$\ell = \frac{L}{W} \quad (2.17)$$

$$\ell = \frac{1,08}{0,039} = 27,7 \text{ кг} / \text{кг},$$

#### 2.4.2 Гідродинамічні розрахунки

Попередньо розрахуємо критичну швидкість псевдооживлення для частинок середнього розміру, користуючись графіком  $Lu = f(Gr)$  для температури в шарі, яку можна вважати рівною температурі відхідних газів, тобто  $100^\circ\text{C}$  [2, с. 461]

Фізичні параметри сушильних газів:

щільність [2, 1.5]

$$\rho_r = \rho_0 \cdot \frac{T_0}{T_0 + t_2} \quad (2.18)$$

$$\rho_r = 1,293 \times \frac{273}{273 + 100} = 0,97 \text{ кг} / \text{м}^3,$$

в'язкість (1, с. 823)

$$\mu_r = 0,0218 \cdot 10^{-3} \text{ па} \cdot \text{с},$$

Величина критерію Архімеда

$$Ar = \frac{d_{cp}^3 \cdot \rho_m \cdot g \cdot \rho_r}{\mu_r^2}, \quad (2.18)$$

$$Ar = \frac{(1,25 \times 10^{-3})^3 \times 1769 \times 9,81 \times 0,97}{(0,0218 \times 10^{-3})^2} = 24,6 \times 10^3,$$

де  $\rho_m$  = Тисяча сімсот шістьдесят дев'ять кг / м<sup>3</sup> - щільність сульфат амонію

Критичне значення критерію Лященко

$$L_{y_{кр}} = 10^{-4},$$

Критична швидкість псевдооживлення

$$\omega_{кр} = \sqrt[3]{\frac{L_{y_{кр}} \cdot \mu_r \cdot g \cdot \rho_m}{\rho_r^2}} \quad (2.19)$$

$$w_{кр} = \sqrt[3]{\frac{10^{-4} \times 0,0218 \times 10^{-3} \times 9,81 \times 1769}{0,97^2}} = 0,036 \text{ м / с},$$

Робоча значення критерію  $L_y$  вибираємо при порозности киплячого шару  $\varepsilon = 0,75$ , т. К. Для процесів сушіння, що йдуть в першому періоді, інтенсивність процесу тим вище, чим більше швидкість газів.

при  $\varepsilon = 0,75$  знаходимо  $L_y = 17$  (2, рис. 3.8). Тоді число псевдооживлення

$$K_\omega = \sqrt[3]{\frac{L_y}{L_{y_{кр}}}} \quad (2.20)$$

$$K_\omega = \sqrt[3]{\frac{17}{10^{-4}}} = 55,4,$$

Швидкість газів (вважаючи на повний переріз решітки)

$$\omega = K_\omega \cdot \omega_{кр} \quad (2.21)$$

$$\omega = 55,4 \cdot 0,036 = 2,0 \text{ м/с},$$

Швидкість газів безпосередньо біля ґрат більше через більш високої температури. Ця швидкість дорівнює

$$\omega_{реш} = \omega \cdot \frac{273 + t_1}{273 + t_2} \quad (2.22)$$

$$w_{реш} = 2,0 \times \frac{273 + 250}{273 + 100} = 2,8 \text{ м/с},$$

Якщо площа живого перетину решітки прийняти рівним 10% від всієї її площі, то швидкість газу в отворах

$$w_{ome} = 10 \times 2,8 = 28,0 \text{ м / с},$$

Зробимо перевірку достатності цієї швидкості для псевдооживлення частинок розміру.

Якщо прийняти число псевдооживлення для великих часток невеликим, лише достатнім для їх переміщення (наприклад  $K'_{\omega} = 3$ ), То критична швидкість псевдооживлення для цих частинок складе

$$w'_{kp} = \frac{w_{ome}}{K'_{\omega}} = \frac{28,0}{3} = 9,33 \text{ м / с},$$

тоді

$$L'_{y_{kp}} = \frac{(\omega'_{kp})^3 \cdot \rho_{\Gamma}^2}{\mu_{\Gamma} \cdot g \cdot \rho_M}, \quad (2.23)$$

$$L'_{kp} = \frac{9,33^3 \times 0,78^2}{0,0259 \times 10^{-3} \times 9,81 \times 1769} = 692,$$

де  $r_z = r_0 \times \frac{T_0}{T_0 + t_1} = 1,293 \times \frac{273}{273 + 250} = 0,68 \text{ кг / м}^3$ ;  $\mu_{\Gamma} = 0,0259 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ .

значенням  $L'_{y_{kp}} = 692$  відповідає  $Ar = 5 \cdot 10^5$ . Тоді діаметр укрупнених частинок:

$$d_k = \sqrt[3]{\frac{Ar \cdot \mu_{\Gamma}^2}{\rho_M \cdot g \cdot \rho_{\Gamma}}} \quad (2.24)$$

$$d_k = \sqrt[3]{\frac{5 \times 10^5 \times (0,0259 \times 10^{-3})^2}{1769 \times 9,81 \times 0,68}} = 0,003 \text{ м} = 3 \text{ мм},$$

Таким чином, у отворів решітки в стані переміщатися навіть великі частинки діаметром  $\sim 3 \text{ мм}$ .

### 2.4.3 Конструктивні розрахунки [31]

Повну площа решітки визначимо з виразу

$$S_{\text{реш}} = \frac{L}{\rho_{\Gamma} \cdot \omega} \quad (2.25)$$

$$S_{\text{реш}} = \frac{1.08}{0,68 \times 2,0} = 0.79 \text{ м}^2,$$

Діаметр решітки

$$D_{\text{реш}} = \sqrt{\frac{S_{\text{реш}}}{0,785}} \quad (2.26)$$

$$D_{\text{реш}} = \sqrt{\frac{0.79}{0,785}} = 1.003 \text{ м},$$

Приймаємо з запасом  $D_{\text{реш}} = 1200 \text{ мм}$ .

Висоту сепарації простору приймаємо в 4 рази більше висоти киплячого шару:

$$h_c = 4 \cdot h = 4 \cdot 400 = 1600 \text{ мм},$$

Загальна висота апарату під ґратами:

$$h + h_c = 400 + 1600 = 2000 \text{ мм},$$

Перевіримо, чи будуть виноситися з апарату найменші частинок  $d = 0,1 \text{ мм}$ .

критерій Архімеда

$$Ar = \frac{d^3 \times r_m \times g \times r_z}{m_z^2} = \frac{(0,3 \times 10^{-3})^3 \times 1769 \times 9,81 \times 0,97}{(0,0218 \times 10^{-3})^2} = 1083,$$

Критерій Лященко, відповідний уносу частинок, буде дорівнює  $L_{y_{\text{виг}}} \leq 35$ , А

швидкість витання часток

$$w_{\text{виг}} = \sqrt[3]{\frac{L_{y_{\text{виг}}} \times m_z \times g \times r_m}{r_z^2}} = \sqrt[3]{\frac{35 \times 0,0218 \times 10^{-3} \times 9,81 \times 1769}{0,97^2}} = 2,51 \text{ м / с},$$

Таким чином, апарат з вертикальними стінками забезпечує осадження в сепараційному просторі частинок солі діаметром 0,1 мм.

Середній діаметр частинок

$$d_{\text{cp}} = \frac{0,3 + 2,2}{2} = 1.25 \text{ мм},$$

Середня в'язкість сушильних газів

$$\mu_{\text{cp}} = \frac{(0,0218 + 0,0259) \cdot 10^{-3}}{2} = 0,0239 \cdot 10^{-3} \text{ па} \cdot \text{с},$$

Середня щільність сушильних газів

$$r_{\text{cp}} = \frac{0,97 + 0,68}{2} = 0,83 \text{ кг / м}^3,$$

критерій Рейнольдса

$$Re = \frac{\omega \cdot d_{cp} \cdot \rho_{cp}}{\mu_{cp}} \quad (2.27)$$

$$Re = \frac{2 \times 1,25 \times 10^{-3} \times 0,83}{0,0239 \times 10^{-3}} = 62,3,$$

Критерій Архімеда (Ar) визначено вище

$$Ar = 24,6 \cdot 10^3,$$

Тоді порозність псевдоожиженого шару при відомому значенні робочої швидкості сушильного газу складе

$$\varepsilon = \left( \frac{18 \cdot Re + 0,36 \cdot Re^2}{Ar} \right)^{0,21} \quad (2.28)$$

$$\varepsilon = \left( \frac{18 \cdot 62,3 + 0,36 \cdot 62,3^2}{24,6 \cdot 10^3} \right)^{0,21} = 0,62,$$

Коефіцієнт дифузії водяної пари при середній температурі в сушарці

$$D = D_{20} \cdot \left( \frac{T_0 + t_{cp}}{T_0} \right)^{1,5} \quad (2.29)$$

$$D = 21,9 \cdot 10^{-6} \cdot \left( \frac{273 + 155}{273} \right)^{1,5} = 40,0 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с},$$

де  $t_{cp} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{250 + 100}{2} = 175^\circ\text{C}$ ;  $D_{20} = 21,9 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$  - коефіцієнт дифузії водяної пари при  $20^\circ\text{C}$ .

Дифузійний критерій Прандля

$$Pr_y = \frac{\mu_{cp}}{\rho_{cp} \cdot D} \quad (2.30)$$

$$Pr_y = \frac{0,0239 \times 10^{-3}}{0,83 \times 40,0 \times 10^{-6}} = 0,68,$$

Дифузійний критерій Нуссельта (4, X.37)

$$Nu_y = 2 + 0,51 \cdot Re^{0,52} \cdot Pr_y^{0,33} \quad (2.31)$$

$$Nu_y = 2 + 0,51 \cdot 92,3^{0,52} \cdot 0,68^{0,33} = 5,85,$$

коефіцієнт массоотдачи

$$\beta_y = \frac{Nu_y \cdot D}{d_{cp}} \quad (2.32)$$

$$b_y = \frac{5,85 \times 40,0 \times 10^{-6}}{1,25 \times 10^{-3}} = 0,275 \text{ м / с,}$$

Рівноважний вміст вологи в сушильній агента визначаємо по I - x діаграмі як абсциссу точки перетину робочої лінії сушки з лінією постійної відносної вологості  $\varphi = 100\%$ . Величина  $x^* = 0,064$  кг/кг, тоді відношення

$$\frac{x^* - x_2}{x^* - x_0} = \frac{0,064 - 0,044}{0,064 - 0,004} = 0,72,$$

Висота псевдоожигненого шару за формулою (4, X.35)

$$\frac{x^* - x_2}{x^* - x_0} = \exp \left[ - \frac{\beta_y}{\omega \cdot \rho_{cp}} \cdot \frac{6 \cdot (1 - \varepsilon)}{d_{cp}} \cdot h \right], \quad (2.33)$$

$$0,72 = \exp \left[ - \frac{0,275}{2 \cdot 0,876} \cdot \frac{6 \cdot (1 - 0,75)}{1,25 \cdot 10^{-3}} \cdot h \right],$$

звідки

$$h = 78,1 \cdot 10^{-3} \text{ м,}$$

Робочу висоту псевдоожигненого шару Н визначають шляхом порівняння розрахованих величин з висотою, необхідної для гідродинамічески стійкої роботи шару і запобігання утворенню каналів в ньому. Різниця між цими висотами залежить від того, яким (зовнішнім або внутрішнім) дифузійним опором визначається швидкість сушильного процесу і наскільки велике це опір.

У разі видалення поверхневої вологи (перший період сушіння) гідродинамічески стабільна висота зазвичай значно перевищує розраховану за кінетичними закономірностями.

З табл. х.4 [4] напруга по волозі

$$A_v = 400 \text{ кг / м}^3 \cdot \text{ч} = 0,111 \text{ кг / м}^3 \cdot \text{с,}$$

Обсяг псевдоожигненого шару дорівнює

$$V_k = \frac{W}{A_v} \quad (2.34)$$

$$V_k = \frac{0,039}{0,111} = 0,35 \text{ м}^3,$$

Висота псевдозрідженим шаром

$$H = \frac{V_k}{0,785 \cdot D^2} \quad (2.35)$$

$$H = \frac{0,35}{0,785 \cdot 1,2^2} = 0,28 \text{ м},$$

т. е. умова  $H > h$  дотримується.

Уточнимо діаметр решітки зі співвідношення (4, с. 171)

$$H = 100 \cdot d_0, \quad (2.36)$$

звідки

$$d_0 = \frac{H}{100} = \frac{0,28}{100} = 2,8 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

З номінального ряду розмірів по ГОСТ 6636-89 остаточно приймаємо діаметр отвору розподільчої решітки

$$D = 3 \text{ мм.}$$

При частці живого перетину  $F_c = 0,1$  знайдемо число отворів розподільчих грат

$$n = \frac{D_{\text{пер}}^2 \cdot F_c}{d_0^2} = \frac{1200^2 \cdot 0,1}{3^2} = 16000,$$

Уточнена висота псевдожіженого шару

$$H = 100 \cdot 3 = 300 \text{ мм},$$

За формулою

$$D_k = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{3,14 \cdot \omega}} \quad (2.37)$$

визначаємо діаметри патрубків входу і виходу гарячого теплоносія.

Продуктивність по сушильному агенту

$$V = \frac{L}{\rho_B}$$

де  $\rho_v$  - щільність сушильного агента на виході з сушарки;

$$V = \frac{1,08}{0,97} = 1,12 \text{ м}^3 / \text{с},$$

Швидкості руху теплоносіїв:

- для газів 5-20 м / с.

Діаметр патрубк для топкових газів в апарат (при щільності  $\rho_v = 0,78 \text{ кг/м}^3$ )

$$D_k = \sqrt{\frac{1,12}{3,14 \cdot 10}} = 0,189,$$

Приймаємо з метою рівномірності потоку два патрубк для введення газу діаметром 200 мм.

## 2.5 Гідравлічний опір апарату [31]

Основну частку загального гідравлічного опору сушарки  $\Delta P$  становить гідравлічний опір псевдожіженого шару  $\Delta P_{pc}$ :

$$\Delta P = \Delta P_{pc} + \Delta P_p, \quad (2,38)$$

величину  $\Delta P_{pc}$  знаходять за рівнянням

$$\Delta P_{pc} = \rho_m \cdot (1 - \varepsilon) \cdot q \cdot H \quad (2,39)$$

$$\Delta P_{pc} = 1769 \cdot (1 - 0,75) \cdot 9,81 \cdot 0,4 = 1735 \text{ Па},$$

Для задовільного розподілу газового потоку необхідно дотримуватися певне співвідношення між гідравлічними опорами шару і решітки. Мінімально допустимий гідравлічний опір решітки  $\Delta P_{pmin}$  обчислюємо за формулою (2.40)

$$\Delta P_{pmin} = \Delta P_{pc} \cdot \frac{K_\omega^2 \cdot (\varepsilon - \varepsilon_0)}{(K_\omega^2 - 1) \cdot (1 - \varepsilon_0)}. \quad (2,40)$$

Порозність нерухомого шару  $\varepsilon_0$  для кулястих частинок приймаємо рівною 0,4.

Підставивши відповідні значення, отримаємо:

$$\Delta P_{pmin} = 1735 \cdot \frac{53,1^2 \cdot (0,75 - 0,4)}{(53,1^2 - 1) \cdot (1 - 0,4)} = 987 \text{ Па},$$



Визначимо гідравлічний опір обраної решітки:

$$\Delta P_p = \xi \cdot \left( \frac{\omega}{F_c} \right)^2 \cdot \frac{\rho_{cp}}{2} \quad (2.41)$$

$$\Delta P_p = 1,5 \cdot \left( \frac{2}{0,1} \right)^2 \cdot \frac{0,96}{2} = 1016 \text{ Па},$$

значення  $\Delta P_p > \Delta P_p \text{ min}$ .

тоді

$$\Delta P = 1735 + 1016 = 2751 \text{ Па}$$

## 2.6 Вибір допоміжного обладнання

В сушильному барабані відбувається часткове стирання матеріалу. Найбільш дрібні частинки виносяться з сушарки потоком газу. Для уловлювання таких часток використовують різні циклони.

Об'ємний витрата вологих газів на вході і виході з барабана:

$$V_{\text{вх}} = \frac{L \cdot (1 + x_1)}{\rho_1},$$

де  $r_1 = 0,3 \text{ кг/м}^3$  - щільність димових газів на вході при  $t = 250 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

$$V_{\text{вх}} = \frac{2 \cdot (1 + 0,018)}{0,3} = 6,78 \text{ м}^3 / \text{с або } 24432 \text{ м}^3 / \text{год},$$

$$V_{\text{вих}} = \frac{L \cdot (1 + x_2)}{\rho_2},$$

де  $\rho_2 = 0,859 \text{ кг/м}^3$  - щільність димових газів на виході ( $t_2 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ ) з сушарки.

$$V_{\text{вих}} = \frac{2 \cdot (1 + 0,083)}{0,859} = 2,52 \text{ м}^3 / \text{с або } 9077 \text{ м}^3 / \text{год},$$

Примітка: розрахунок  $\rho_1$  і  $\rho_2$  проводився за формулою  $\rho = 1,293 \cdot \frac{T}{T + t}$ , Придатної

для повітря, через що вийшов дещо завищений витрата газів через барабан, так як щільність димових газів більше щільності повітря через підвищеного вмісту  $\text{CO}_2$ .

Нехай кількість циклонів для очищення газу дорівнюватиме 4. Тоді витрата пилогазової суміші, що припадає на один циклон, буде дорівнює:

$$\frac{9077}{4} = 2269,42187.5 \text{ м}^3/\text{г},$$

Прийmemo циклон ЦН -24.

### 3. Розрахунки на міцність та жорсткість апарата [32,33]

При конструюванні хімічної апаратури до конструкційних матеріалів пред'являються наступні основні вимоги:

- достатня загальна хімічна і корозійна стійкість матеріалів в агресивному середовищі з заданими концентрацією, температурою і тиском;
- достатня механічна міцність при заданих тиску і температурі технологічного процесу;
- найкраща здатність матеріалу зварюватись із забезпеченням високих механічних властивостей зварних з'єднань і корозійної стійкості їх в агресивному середовищі.

При проведенні процесу конвективного сушіння підігрітим повітрям або топковим газами, розведеними свіжим повітрям, параметри сушить газу, такі як температура, ентальпія, відносна вологість, вологовміст, парціальний тиск парів води в газі взаємопов'язані між собою і в процесі сушіння постійно змінюються. Найбільш просто і наочно ці залежності виражені графічно на діаграмі стану вологого повітря, або як її називають 1-х- діаграма вологого повітря. Конструкційний матеріал вибирається, виходячи з властивостей переробляється середовища, тиску і температури. Матеріали за хімічним складом і механічними властивостями повинні задовольняти вимогам державних стандартів і технічним умовам якості і характеристики матеріалів повинні підтверджуватися підприємством постачальником у відповідних сертифікатах.

Для корпусу сушарки, всіх внутрішніх пристроїв застосовується конструкційна низьколегована сталь 16ГС ГОСТ 19282-73.

Сталь 16ГС - конструкційна низьколегована для зварних конструкцій. Характеризується підвищеною міцністю і ударною в'язкістю в інтервалі температур від мінус 40 0С до + 475 0С. Порігхладноломкості стали лежить нижче мінус 40 0С. Сталь добре деформується і обробляється різанням. Сталь добре зварюється усіма видами зварювання. Нестійка в багатьох агресивних середовищах.

З неї виготовляють: обичайки, днища, плоскі фланці корпусів апаратів, штуцери і трубопроводи, трубні решітки теплообмінних апаратів і інші деталі апаратів відповідального призначення.

Наведемо, у вигляді таблиць, механічні властивості листової сталі і її хімічний склад.

Таблиця 3.1 - Хімічний склад, в процентах (ГОСТ 19282-73)

З	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	P	S	N	As
			не більше						
0,12- 0,18	0,44- 0,7	0,9- 1,2	0,3	0,3	0,3	0,035	0,04	0,008	0,008

Таблиця 3.2 - Механічні властивості

Марка стали	товщина листа, мм	$\sigma_B$	$\sigma_T$	$\delta_5, \%$	ан, МДж / м <sup>2</sup>
		МПа			
		не менше			
16ГС	4 - 40	500	330	22	0,6

### 3.1 Розрахунок на міцність корпусу сушарки

Розрахунок на міцність і стійкість ведемо по ГОСТ 14249-89

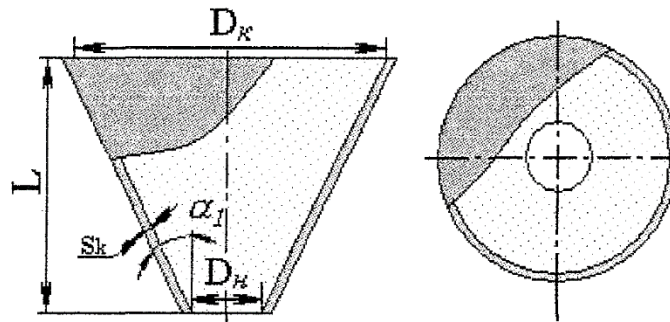


Рисунок 3.1 - Розрахункова схема обичайки конічної

Вихідні дані

Матеріал обичайки:	16ГС
Внутр. діаметр більшої основи, D:	1600 мм
Внутр. діаметр меншого підстави, D <sub>1</sub> :	1200 мм
Надбавка для компенсації корозії та ерозії, c <sub>1</sub> :	2 мм
Надбавка для компенсації мінусового допуску, c <sub>2</sub> :	0 мм
Надбавка технологічна, c <sub>3</sub> :	0 мм
Сума надбавок, c:	2 мм
Довжина обичайки, L	1800 мм
Коефіцієнти міцності зварних швів:	
Поздовжній шов:	
$\varphi_p = 1$	
окружний шов:	
$\varphi_T = 1$	
приймаємо попередньо товщину стінки корпусу 4 мм тоді	

$$\alpha_1 = 0,7 \sqrt{\frac{D}{\cos \alpha_1} \cdot (s_k - c)}$$

$$\alpha_1 = 0,7 \sqrt{\frac{1600}{\cos 7,12} \cdot (4 - 2)} = 44,5 \text{ мм},$$

$$D_k = D - 1,4 \cdot \alpha_1 \cdot \sin \alpha_1 \quad (3.2)$$

$$D_k = 1600 - 1,4 \cdot 44,5 \cdot \sin 7,12 = 1559 \text{ мм},$$

де  $\alpha_1$  - максимальний кут нахилу стінки.

$$\alpha_1 = \arctg\left(\frac{D - D_1}{2 \cdot L}\right) \quad (3.3)$$

$$\alpha_1 = \arctg\left(\frac{1600 - 1200}{2 \cdot 1200}\right) = 7,12,$$

Ефективний діаметр обичайки

$$D_F = \frac{0,9 \cdot D + 0,1 \cdot (D_1 + 2 \cdot s_2)}{\cos \alpha_1} \quad (3.4)$$

$$D_F = \frac{0,9 \cdot 1600 + 0,1 \cdot (1200 + 2 \cdot 4)}{\cos 7,12} = 1581 \text{ мм}$$

Розрахункова товщина стінки з урахуванням надбавок

$$s_{kp} + c = \frac{p \cdot D_k}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - p} \cdot \frac{1}{\cos \alpha_1} + c \quad (3.5)$$

де  $p$  - розрахунковий тиск. Для апаратів працюють при атмосферному тиску приймається 0,1 МПа.

$$s_{k.p} + c = \frac{0,1 \cdot 1559}{2 \cdot 174 \cdot 1 - 0,1} \cdot \frac{1}{\cos 7,12} + 1 = 1,57 \text{ мм},$$

що менше раніше прийнятої виконавчої товщині обичайки

$$c_k = 4 \text{ мм},$$

Допустиме тиск для корпусу сушарки

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s_k - c)}{\frac{D_k}{\cos \alpha_1} + (s_k - c)} \quad (3.6)$$

$$[p] = \frac{2 \cdot 174 \cdot 1 \cdot (4 - 1)}{\frac{1559}{\cos 7,12} + (4 - 1)} = 0,527 \text{ МПа},$$

Умова міцності корпусу виконано

### 3.2 Розрахунок на міцність корпусу газорозподільного пристрою

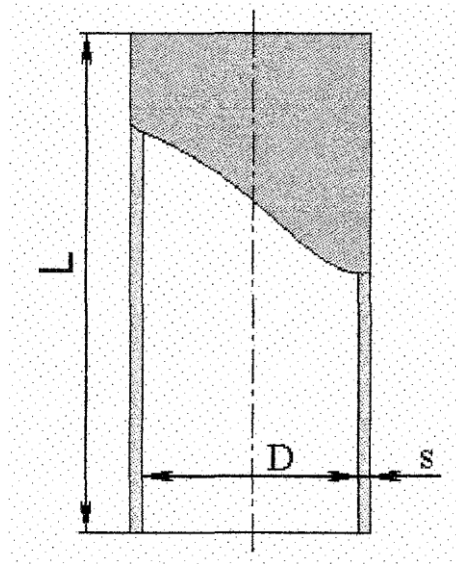


Рисунок 3.2 - Розрахункова схема обичайки циліндричної

Вихідні дані

матеріал:	16ГС
Внутр. діаметр більшої основи, D:	1600 мм
Товщина стінки, s:	4 мм
Надбавка для компенсації корозії та ерозії, z1:	1 мм
Надбавка для компенсації мінусового допуску, с2:	0 мм
Надбавка технологічна, с3:	0 мм
Сума надбавок, до розрахункової товщині стінки, z:	1 мм
Довжина обичайки, L	300 мм

Коефіцієнти міцності зварних швів:

Поздовжній шов:

$$\varphi_p = 1$$

окружний шов:

$$\varphi_T = 1$$

Розрахунок в робочих умов

Умови навантаження:

Розрахункова температура, T: 250 °C

Розрахункова внутрішній тиск, P: 0,1 МПа

Результати розрахунку:

Допустимі напруги для матеріалу 16ГС при температурі  $t = 250\text{ }^{\circ}\text{C}$  (робочі умови):

$$[\Sigma] = 174 \text{ МПа}$$

Модуль поздовжньої пружності для матеріалу 16ГС при температурі  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ :

$$E = 2,0 \cdot 105 \text{ МПа}$$

Розрахунок на міцність і стійкість виконуємо по ГОСТ 14249-89 для гладкої обичайки.

Розрахункова товщина стінки з урахуванням надбавок

$$s_{kp} + c = \frac{p \cdot D_k}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - p} + c \quad (3.7)$$

$$, s_{kp} + c = \frac{0,1 \cdot 1559}{2 \cdot 174 \cdot 1 - 0,1} + 1 = 1,56 \text{ мм} ,$$

Приймаємо виконавчу товщину обичайки 3 мм. Тоді максимальне допустиме тиск для обичайки дорівнюватиме:

$$[p] = \frac{2 \cdot 174 \cdot 1 \cdot (4 - 1)}{1559 + (4 - 1)} = 0,532 \text{ МПа} ,$$

$$0,532 \text{ МПа} > 0,1 \text{ МПа}$$

Висновок: умова міцності виконано.

Розрахунковий діаметр одиночного отвори, що не потребує зміцнення:

$$d_0 = 2 \cdot \left( \frac{s - c}{s_p} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} \quad (3.9)$$

$$d_0 = 2 \cdot \left( \frac{4 - 1}{0,56} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{1559 \cdot (4 - 1)} = 399 \text{ мм}$$

Мінімальна відстань між «поодинокими» штуцерами:

$$b_0 = 2 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} , \quad (3.10)$$

$$b_0 = 2 \cdot \sqrt{1559 \cdot (4 - 1)} = 123,3 \text{ мм} ,$$



### 3.3 Вибір і розрахунок опори

Розрахунок на міцність обичайок від впливу опорних навантажень ведемо по ГОСТ 26202-84.

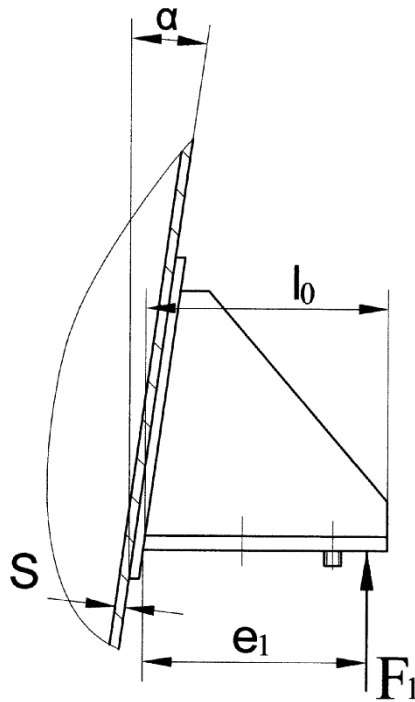


Рисунок 3.3 - Розрахункова схема опори-лапи

Вихідні дані:

Елемент, пов'язаний з опорою:	конічний
Тип опори:	Тип А
Внутрішній діаметр обичайки, D:	1200 мм
Товщина стінки обичайки, s:	4 мм
Надбавка для компенсації корозії та ерозії, z1:	1 мм
Число опор:	чотири
Відстань від краю елемента, l0:	352 мм
Ширина основної плити, b4:	200 мм
Висота опорної лапи, h1:	355 мм
Відстань між середніми лініями ребер, g:	170 мм
Товщина стінки лапи, s1:	5 мм
Довжина опорної лапи, l1:	202 мм
Відстань між точкою докладання зусиль і обечайкой	

або підкладним листом, $e_1$ :	162 мм
Кут розташування опор, $\Theta$ :	45 градус
Ширина підкладного листа, $b_2$ :	290 мм
Довжина підкладного листа, $b_3$ :	480 мм
Товщина підкладного листа, $s_2$ :	3 мм

Коефіцієнти міцності зварних швів:  $\varphi_r = 1$ .

Умови навантаження:

Розрахункова температура, $T$ :	250 °C
Розрахункова внутрішній тиск, $p$ :	0,1 МПа
Розрахунковий вигинає момент, $M$ :	0 нм
Розрахункова зовнішнє осьове зусилля, $F$ :	0 Н

Приймаємо масу апарату рівної  $M_a = 800$  кг, а масу матеріалу, що знаходиться в апараті  $M_m = 100$  кг.

Тоді загальна вага складе:

$$G = (M_a + M_m) \cdot g = (800 + 100) \cdot 9,81 = 8829 \text{ Н.}$$

Діаметр обичайки в середині опори:

$$D_K = \left( D_1 + \frac{|D_2 - D_1|}{L} \cdot \left( 1_0 \frac{h_1}{2} \right) \right) \quad (3.11)$$

$$D_K = \left( 1200 + \frac{|1600 - 1200|}{1600} \cdot \left( 352 + \frac{355}{2} \right) \right) = 1306 \text{ мм}$$

Дія моменту допускається тільки в площині опорних лап.

Зусилля, що діє на опорну лапу:

$$F_1 = \frac{G + F}{2} + \frac{M}{D_K + 2 \cdot (e_1 + s + s_2)} \quad (3.12)$$

$$F_1 = \frac{8829 + 0}{2} = 4415 \text{ Н}$$

Розрахунковий діаметр:

$$D_R = \frac{D_K}{\cos \alpha} \quad (3.13)$$

$$D_R = \frac{1306}{\cos 7,12} = 1323 \text{ мм}$$

Меридиональне напруження в обечайке в місці дії навантаження від опори

$$\bar{\sigma}_m = \frac{p \cdot D_R}{2 \cdot (s - c)} \quad (3.14)$$

$$\bar{\sigma}_m = \frac{0,1 \cdot 1723}{2 \cdot (3 - 1)} = 43,1 \text{ МПа},$$

Коефіцієнт  $K_1$ :

$$K_1 = \left( \frac{1 + 3 \cdot \vartheta_1 \cdot \vartheta_2}{3 \cdot \vartheta_1^2} \right) \cdot \left( \pm \sqrt{\frac{9 \cdot \vartheta_1^2 \cdot (1 - \vartheta_1^2)}{(1 + 3 \cdot \vartheta_1 \cdot \vartheta_2)^2}} + 1 - 1 \right) K_1 \geq 0 \quad (3.15)$$

де  $\vartheta_1$  - коефіцієнт, для даного типу опори  $\vartheta_1 = 0,4$ ;

$\vartheta_2$  - коефіцієнт визначається за формулою:

$$\vartheta_2 = K_2 \cdot \frac{\bar{\sigma}_m}{n_T \cdot [\sigma] \cdot \varphi} \quad (3.16)$$

де  $n_T$  - коефіцієнт запасу міцності,  $n_T = 1,5$ ;

$K_2$  - коефіцієнт визначає умови розрахунку, для робочих умов  $K_2 = 1,2$ .

$$\vartheta_2 = 1,2 \cdot \frac{43,1}{1,5 \cdot 174 \cdot 1} = 0,177,$$

Тоді коефіцієнт  $K_1$  буде дорівнює

$$K_1 = \left( \frac{1 + 3 \cdot 0,4 \cdot 0,177}{3 \cdot 0,4^2} \right) \cdot \left( \pm \sqrt{\frac{9 \cdot 0,4^2 \cdot (1 - 0,177^2)}{(1 + 3 \cdot 0,4 \cdot 0,177)^2}} + 1 - 1 \right) = 0,997,$$

Примітка: відповідно до п. 1.2.3 ГОСТ 26202-84 при  $\vartheta_2 < 0$  в розрахунку  $K_1$

знаки  $\vartheta_1$  і  $\vartheta_2$  змінюють на протилежні

Максимальне напруження вигину

$$[\sigma_1] = K_1 \cdot [\sigma] \cdot \frac{n_T}{K_2} \quad (3.17)$$

$$[\sigma_1] = 0,997 \cdot 174 \cdot \frac{1,5}{1,2} = 216,8 \text{ МПа}$$

Для визначення несучої здатності обичайки обчислимо такі допоміжні величини

$$x = \ln\left(\frac{D_R}{2 \cdot (s - c)}\right) \quad (3.18)$$

$$x = \ln\left(\frac{1323}{2 \cdot (3 - 1)}\right) = 5,84,$$

$$y_1 = \ln \frac{b_3}{D_R} \quad (3.19)$$

$$y_1 = \ln \frac{480}{1323} = -1,05,$$

$$\begin{aligned} Inv = & (-49,919 - 39,119 \cdot x - 107,01 \cdot y_1 - 1,693 \cdot x^2 - 11,920 \cdot x \cdot y_1 \\ & - 39,276 \cdot y_1^2 + 0,273 \cdot x^3 + 1,608 \cdot x^2 \cdot y_1 + 2,761 \cdot x \cdot y_1^2 - 3,854 \cdot y_1^3) \cdot 10^{-2} \end{aligned} \quad (3.20)$$

$$\begin{aligned} Inv = & (-49,919 - 39,119 \cdot 5,84 - 107,01 \cdot (-1,05) - 1,693 \cdot 5,84^2 - 11,920 \cdot 5,84 \cdot (-1,05) \\ & - 39,276 \cdot (-1,05)^2 + 0,273 \cdot 5,84^3 + 1,608 \cdot 5,84^2 \cdot (-1,05) + 2,761 \cdot 5,84 \cdot (-1,05)^2 - 3,854 \cdot (-1,05)^3) \cdot 10^{-2} = -1,77 \end{aligned}$$

$$y = \ln \frac{h_1}{D_R} \quad (3.21)$$

$$y_1 = \ln \frac{355}{1323} = -1,35$$

$$\begin{aligned} Inv = & (-49,919 - 39,119 \cdot x - 107,01 \cdot y - 1,693 \cdot x^2 - 11,920 \cdot x \cdot y \\ & - 39,276 \cdot y^2 + 0,273 \cdot x^3 + 1,608 \cdot x^2 \cdot y + 2,761 \cdot x \cdot y^2 - 3,854 \cdot y^3) \cdot 10^{-2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Inv = & (-5,84 - 11,395 \cdot 5,84 - 18,984 \cdot (-1,35) - 2,413 \cdot 5,84^2 - 7,286 \cdot 5,84 \cdot (-1,35) \\ & - 2,042 \cdot (-1,35)^2 + 0,1322 \cdot 5,84^3 + 0,4833 \cdot 5,84^2 \cdot (-1,35) + 0,8469 \cdot 5,84 \cdot (-1,35)^2 + 1,428 \cdot (-1,35)^3) \cdot 10^{-2} = -0,625 \end{aligned}$$

Коефіцієнт K8:

$$K_8 = \min \{v, z\} = \min \{e^{(-1,76)}, e^{(-0,63)}\} = \min \{0,171, 0,532\} = 0,171$$

Допустиме осьове зусилля в місці приварювання опорної лапи

(При  $b_2 / b_3 = 0,6$ ):

$$[F_1] = \frac{[\sigma_i] \cdot b_3 \cdot (s - c)^2}{K_8 \cdot (e_1 + e_2)} \quad (3.21)$$

$$[F_1] = \frac{216,8 \cdot 480 \cdot (3 - 1)^2}{0,171 \cdot (162 + 3)} = 14753 \text{ H},$$

Несуча здатність обичайки в місці приварювання опорної лапи визначається виконанням умови:

$$F_1 \geq [F]_1$$

$$F_1 = 4250 \text{ H} \leq [F]_1 = 14753 \text{ H}$$

Висновок: Умова міцності і стійкості виконано.

## 4. БУДІВЕЛЬНО-МОНТАЖНА ЧАСТИНА [34,35]

### 4.1 Монтаж проектного апарату

Послідовність подачі деталей і вузлів сушарки в монтажну зону відбивається в технологічній монтажній карті або в окремому графіку. У графіку вказуються: час подачі деталей і вузлів; місце, до якого деталь або вузол повинні бути подані; застосовувані транспортні та підйомні засоби і трудові витрати.

Запас деталей в монтажній зоні не повинен перевищувати 2 - 3-змінної потреби. Складування вузлів і деталей в монтажній зоні повинно проводитися так, щоб не заважати виконанню монтажних робіт. Подачу деталей до місця монтажу бажано проводити в зміну, вільну від монтажу.

Монтаж сушарок киплячого шару зводиться по суті до установки апарату на фундамент або опорну метало-конструкцію, вивірки його, випробуванню на міцність і щільність з'єднань (швів, фланців, прокладок) і, нарешті, до приєднанню його до комунікацій.

Установку на фундамент можна робити будь-яким наявним механізмом достатньої вантажопідйомності: мостовими, кранами, тельферами, електроталіями, автокранами, щоглами і т. Д. При відсутності зазначених механізмів в зоні монтажу можуть бути застосовані ручні талі, домкрати та інші прості такелажні пристрої.

Встановлений апарат піддається вивірки по осях, висотним позначок і орієнтації штуцерів і патрубків щодо комунікацій.

Допустимі відхилення по осях і висоті лежать в межах  $\pm 2$  мм для апаратів, що стоять групами, і  $\pm 5$  мм для окремо розташованих апаратів.

Під час вивірення апаратів за базу приймають фланці горловини і штуцерів. Вивірка апарату здійснюється: по осях за допомогою нівеліра або гідростатичного рівня: по відстані між апаратами - за допомогою сталевий рулетки.

Основна увага при монтажі повинна бути приділена щільності фланцевих з'єднань.

Установка прокладок на місце повинна проводитися дуже ретельно, робоча поверхня фланців повинна бути очищена від бруду та іржі.

Для того щоб прокладка не змістилася зі свого місця (при плоских фланцях), її прив'язують до фланця нитками.

Мідні і сталеві прокладки повинні бути отожжени і очищені від окалини, бруду та іржі.

Поверхні металевих прокладок мати раковин, задирок, глибоких подряпин і інших пошкоджень.

Ширина металевих прокладок не повинна бути на 0,1-0,2 мм менше ширини паза.

Паронітові прокладки перед установкою на місце проварюють в рослинній олії при температурі не вище 300 0С до їх розм'якшення.

Болти фланцевих з'єднань повинні бути справними, не мати зірваних і пошкоджених ниток різьблення; у головок болтів не припустимі подрізи і тріщини в місці переходу в тіло болта.

Болти слід затягувати рівномірно спочатку хрестоподібно під кутом 90 0С, а потім послідовно один за іншим по колу.

При затягуванні болтів рекомендується користуватися ключами з обмежувачем зусилля затяжки.

Під гайки болтів рекомендується ставити шайби (під гайки апаратів, що зазнають вібрації, слід ставити пружинні шайби).

Для апаратів, що працюють при тиску до 50 ат і температурах до 435 0С, застосовуються болти, виготовлені зі сталі марок 35 і 40 і гайки зі сталі 25 і 30 по ГОСТ 1050-57.

При більш високих тисках і температурах застосовують болти зі сталі 30ХМА і гайки зі сталі 35Х.

Змонтований апарат піддається гідравлічним випробуванням.

## 4.2 Ремонт апарату

В процесі експлуатації технологічного обладнання спостерігаються відхилення від норми в роботі обладнання і вихід його з ладу. Для підтримки обладнання в робочому стані передбачена система технічного обслуговування і ремонтів обладнання. Цією системою передбачені капітальний і техно-логічний ремонти обладнання.

Технологічний ремонт - це ремонт, який здійснюється в процесі експлуатації для гарантованого забезпечення робото-тоспособності обладнання, що складається в заміні і відновленні окремих його частин і їх регулювання.

Заміна сальникової набивки в вузлах запірної арматури і печі сушильного апарату. Очищення і промивання ковпачкових маслоук.

Технічне обслуговування - це комплекс заходів, спрямованих на підтримку працездатності основного і допоміжним технологічного обладнання.

ТО складається з комплексу робіт по виконанню операцій, св'язаних з пуском і зупинкою апаратів, щомісячним відходом і на-дотриманням за механізмами, а також ремонтів і направлено на під-тримання обладнання в робочому стані.

Система ремонтів включає в себе технологічний огляд, поточний, середній і капітальний ремонти.

Ремонт сушарки (апарату) киплячого шару

СКЛАД РОБІТ: роз'єднати фланцеві стики, зняти трубку обв'язку, оглядові скла, кришки люків, форсунки, кришку апарату, верхню і середню секції сушарки, запобіжну мембрану, перфоровану ґрати. Встановити заглушки. Очистити, промити, протерти і разбракованих деталі, дефектні замінити. Виготовити комплект прокладок.

Встановити перфоровану ґрати, запобіжну мембрану, середню і верхню частини сушарки, кришку сушарки, форсунки, кришки люків, оглядові скла. Зняти заглушки. З'єднати фланцеві стики, встановити трубку обв'язку. Випробувати апарат і здати його в експлуатацію.



## 5. Інформаційне та апаратурне забезпечення автоматизованого керування [36,37]

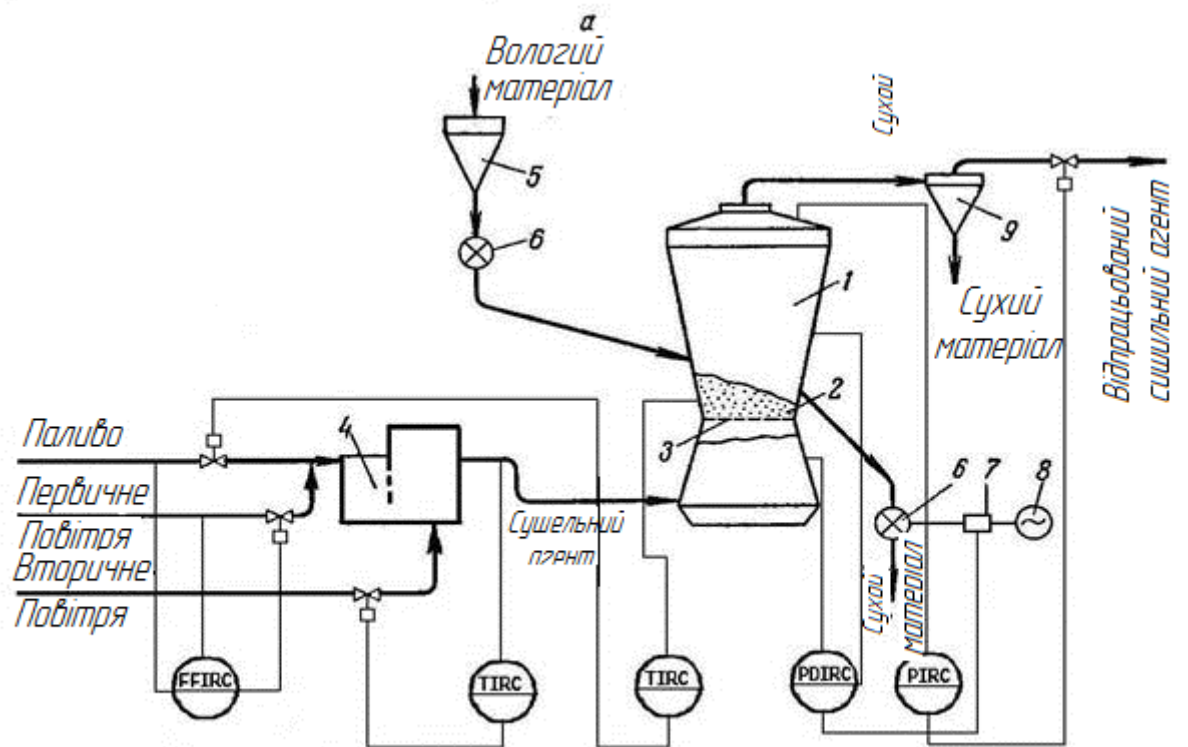
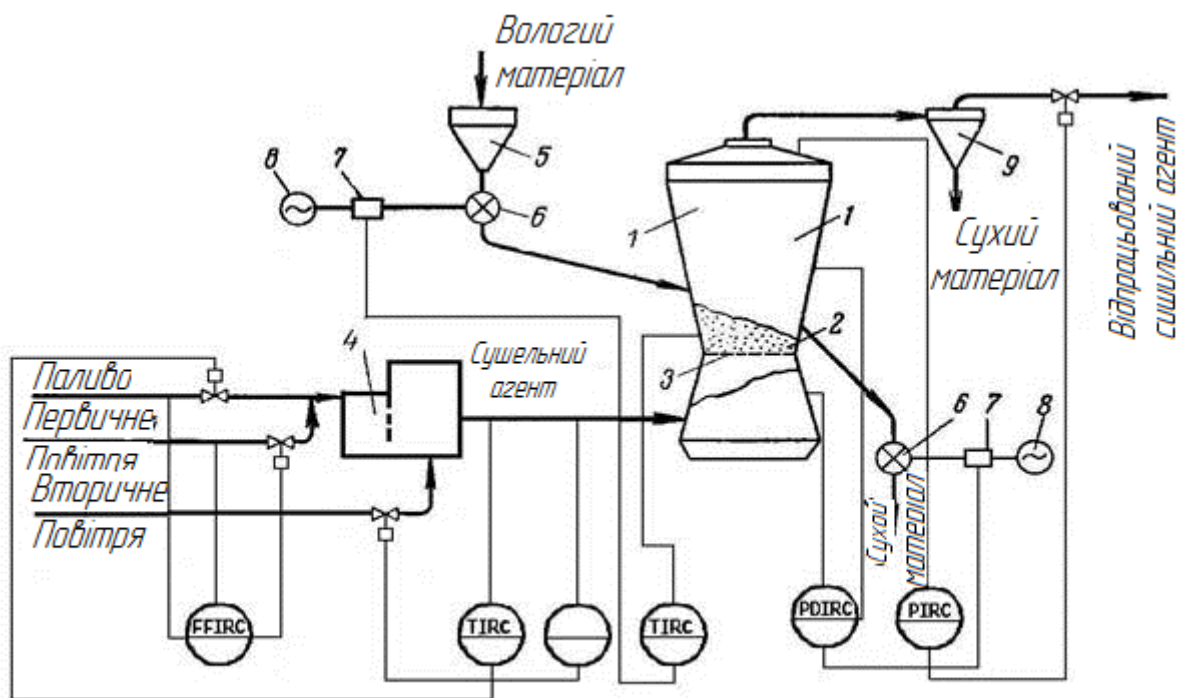
### 5.1 Аналіз стану автоматизації

Сучасний розвиток техніки сушіння матеріалів в значній степені пов'язано із застосуванням високих температур, а в ряді випадків і вологостей сушильного агента або потужних променистих потоків при радіаційній сушінні, так як це дає можливість інтенсифікувати процес сушіння матеріалів. Однак ефективне управління швидкоплинними процесами сушіння неможливо без застосування автоматичного регулювання та керування. При ручному регулюванні в цих випадках неможливо здійснити точну підтримку високих температур сушильного агента або поверхні, що випромінює в заданих межах, тому неминучі хоча б короточасні перевищення заданої температури, а це часто призводить до псування сушеного матеріалу і зводить нанівець всі переваги сушіння або застосування високих параметрів сушильного агента. Застосування автоматизації та автоблокування в сушильних установках необхідно і за вимогами техніки безпеки, наприклад, при сушінні струмами високої частоти, при сушінні вибухонебезпечних і отруйних речовин і т.п. Автоматизація управління підвищує культуру експлуатації і к. П. Д. Сушильної установки, збільшує її продуктивність, покращує якість сушіння, підвищує надійність роботи, полегшує умови праці і дозволяє зменшити кількість обслуговуючого сушильного персоналу. Современная техніка комплексної автоматизації та механізації досягла значного досконалості, і в даний час застосовуються: 1. Автоматичне регулювання сушарок безперервної дії, що забезпечує сталість заздалегідь заданих значень одного або декількох параметрів режиму сушіння, наприклад, температури і вологості сушильного агента в різних зонах робочої камери сушилкі. 2. Програмне автоматичне регулювання сушарок періодичної дії, що забезпечує (заздалегідь заданий) регулювання параметрів режиму сушіння в міру протікання процесу сушіння, т. Е. Зміна безперервно або через певні проміжки часу температури і вологості сушильного агента в робочій камері сушилкі. 3. Автоматичний захист і сигналізація, що оберігають сушильний агрегат від аварії. Зазвичай в таких випадках використовують автоматичні

сигналізатори, при їх установці в декількох сушарках роблять один звуковий сигнал. У схемі передбачається кнопка для припинення звукового сигналу і можливості його подальшого включення, якщо в цей же момент, коли ще не ліквідована аварія в першій камері, підвищиться температура в будь-якій іншій камері. При автоматіческому регулюванні термосигналізацію в ряді випадків не влаштовують

Автоматичне блокування, що забезпечує включення і виключення групи допоміжних механізмів і органів управління (засувки, вентилів, заслінок).

Певною послідовністю, що вимагається за технологічним процесом. Такий блокуванням є автоматичне вимикання подачі газу до пальників, перемикає газів з топки в димову трубу, і зупинка конвеєра сушимо матеріалів, якщо станеться аварійна зупинка дутьєвого вентилятора. Характерною особливістю таких сушарок є мала теплова інерція і пов'язані з цим великі швидкості зміни параметрів, що часто унеможлиблює у правління процесом вручну. Температура в киплячому шарі досить точно характеризує кінцеву вологість матеріалу, так що, регулюючи температуру шару, можна забезпечити необхідне значення показника ефективності. На практиці здійснюють два способи регулювання температури шару: зміною завантаження вологого матеріалу і зміною витрати сушильного агента.



б

Рисунок 5.1-Схема регулювання процесу в сушарках з киплячим шаром:

а -Регулювання температури зміною подачі сирого матеріалу; б -

Регулювання температури зміною витрати сушильного агента;

1 -Сушарка; 2 -киплячий шар; 3 -решітка; 4 -топка; 5 -проміжний бункер;

6 -пітатель; 7 -варіатори; 8 -електродвигун; 9 -Циклон.

Регулювання рівня шару забезпечує певний час перебування матеріалу в сушарці і виключає винесення матеріалу з сушильним агентом [38]. При цьому

досягається постійне гідродинамічний опір шару і оптимальний аеродинамічний режим процесу сушіння. Регулювання рівня шару здійснюється за допомогою регулятора перепаду тисків під ґратами і у верхній частині апарату; регулюючий вплив вноситься шляхом зміни витрати матеріалу, виведеного з сушарки. Регулятори температури шару і перепаду тиску впливають на варіатори 7, змінюють швидкість обертання барабанів лопатевих живильників 6.

Мехнічні засоби автоматизації електричної гілки повинні мати вибухо-везащченне виконання, а ступінь їх захисту від зовнішніх впливів ( води і пилу) не нижче категорії Ір 44 по ГОСТ 17494-72.

Двоконтурна система автоматичного регулювання температури в сушарці має два вимірювальних і регулюючих контуру. Датчиками температури в контурах є платинові термометри опору подвійні, типу ТСП - 085, градуювання 50П. Вторинний прилад КСМ-2 служить для свідчення і записи температури середовища всередині барабана і температури відпрацьованого повітря на виході з сушарки. В якості основного регульованого параметра взята температура сушильного агента на виході з сушки, як допоміжний - температура в середині сушилки. Як регулюючого пристрою використовуються регулятори теплової автоматики (МЗТА): коригувальний прилад КПП і електронний регулятор РПИБ.

Вихідна напруга, що управляє постійного струму, величиною 24 В подається на керуючий підсилювач, а потім на обмотку електричного виконавчого механізму, типу МЕВ, встановленого на трубопроводі гарячого повітря на вході в сушарку.

Контур контролю і регулювання температури топочних газів після топки (700 ° С) містить датчик температури - термометр опору мідний, вибухозахищений типу ТСМ-1187, градуювання 50М, межі вимірювання -50 ... 100 ° С., Теплова інерція 20 с.

В якості вторинного приладу і регулятора використовується мікропроцесорний регулятор температури типу МікРА-600 з ПД-законом регулювання. Вихідний сигнал регулятора подається в ланцюг електропневматичного перетворювача ЕПП-63 і далі через панель дистанційного керування ДПУ-1М на регулюючий мембранний клапан. На лицьовій панелі регулятора розташований цифровий індикатор температури.

Контур контролю тиску в топочній показує напоромір сільфонний типу НС-718П з пневматичним вихідним сигналом.

Контур контролю рівня в бункері вологого матеріалу містить вибухозахищений датчик височастотного рівнеміра типу РУС-В, в комплект якого входить також вимірювальний перетворювач з вихідним сигналом 0 ... 5 мА типу ПІ-В. Вторинним приладом є показує і реєструє міліамперметр КСУ-2.

Контур контролю витрати повітря містить Перетворювач витрати - нормальну камерну діафрагму типу ДКН-6, дифманометр сільфонний з уніфікованим пневматичним вихідним сигналом 20 ... 100 кПа типу ДС-ПЗ і вторинний прилад типу ПВ4.2Е

Контур контролю вологості повітря містить електронний психрометр типу ПЕ, що складається з датчика ДВП-04 і електронний автоматичний реєструючий прилад типу КСМ-3.

У контурі контролю маси в збірнику сухого матеріалу тензометричний вибухозахищений ваговимірювальний пристрій типу 1858 УВТ. Пристрій складається з датчика, вторинного приладу і з'єднай-котельної коробки. Датчик являє собою бруківці тензопреобразователь на вихідних затискачах якого виникає напруга, пропорційне через міряють навантаженні. Вторинний прилад - показує і реєструє потенціометр з искробезопасной вимірювальної схемою типу КСП-2.

## 6. Охорона праці та захист довкілля [39,40]

Технологічний процес отримання сульфату амонію повинен проводитися відповідно до вимог наступних документів:

- «Загальні правила вибухобезпеки для вибухопожежонебезпечних хімічних, нафтохімічних і нафтопереробних виробництв», затверджених 06.09.88 р Держтехнаглядом України;

- «Правила експлуатації підприємств ...», затверджених наказом Міністерства оборонної промисловості України № 93 ДСП;

- «Правила захисту від статичної електрики у виробництвах галузі», затверджені наказом Міністра від 12.04.93 р;

- «Правила будови підприємств ...», затверджених наказом Міністерства машинобудування України № 109с від 28.03.95 р. Та ін

Для кожного промислового виробництва складається нормативно-технічна документація, в якій вказується:

- характеристика властивостей переробляється продукту, вихідної сировини та допоміжних матеріалів;

- опис технологічного процесу зі схемою виробництва;

- норми технологічного режиму із зазначенням гранично допустимих відхилень;

- можливі неполадки технологічного процесу, їх причини та способи усунення;

- основні правила пуску, безпечного ведення процесу і зупинки устаткування;

- аналітичний і автоматичний контроль виробництва;

- правила аварійної зупинки виробництва;

- відходи виробництва, стічні води і викиди в атмосферу: їх склад, способи утилізації або очищення і порядок скидання;

- перелік інструкцій, знання яких є обов'язковим для осіб, які ведуть технологічний процес і які обслуговують дане виробництво.

Точне дотримання нормативно-технічної документації та регламенту забезпечує задану продуктивність, якість продукції, безпеку і санітарні умови праці.

Порушення послідовності операцій, відхилення (більше допустимих) від заданих кількостей сировини, що завантажується, температур, тиску і т.п. можуть призвести до аварії.

#### 6.1 Аналіз потенційних небезпек і шкідливостей, що виникають під час роботи обладнання

Небезпечними і шкідливими виробничими факторами у виробництві марганцю вуглекислого є наступні:

- рухомі і обертові частини механізмів, які можуть нанести працюючим травму;
- отруєння в результаті впливу шкідливих речовин, що застосовуються в якості сировини, напівпродуктів і отриманих побічних продуктів;
- підвищення температури поверхонь обладнання, можливі опіки;
- підвищений рівень шуму і вібрації на робочих місцях, негативні-кові позначається на нервовій системі і органах слуху;
- комунікації і апарати перебувають під надлишковим тиском і його різка зміна веде до аварії;
- небезпечний рівень напруги в електричному ланцюзі, замикання, котрої може статися через тіло людини. Електричний струм діє на центральну нервову систему, викликаючи судомні скорочення м'язів і їх параліч, що може привести до смертельного результату;
- підвищений рівень статичної електрики, небезпека ураження електричним струмом та електризації, що може привести до виникнення пожеж та вибухів;
- наявність вибухонебезпечних парів, газів і пилу, що веде до освітньої-ня вибухів і пожеж, а також викликає отруєння і роздратування слизистих оболонок.

Все мірники, напірні баки та збірники забезпечені покажчиками рів-ня. КВП встановлені в місцях зручних для спостереження і обслуговування.

При експлуатації технологічного обладнання, що реконструюється-го виробництва передбачено постачання огорожами всі обертові і рухомі частини

устаткування. Огородження повинні бути надійними при експлуатації обладнання. Зубчасті передачі, вали, з'єднувальні муфти, маховики і всякі інші механізми, що рухаються, якщо вони розміщені на висоті менше 2 м від підлоги робочого приміщення, повинні мати суцільну огорожу.

Під час дії механізмів огороження повинне бути на місці і надійно укріплено; знімати огорожу можна тільки після повної зупинки механізмів і коли повністю виключена можливість приведення їх у дію; пускати механізми можна тільки після установки на місце всіх огорож.

Забарвлення устаткування, трубопроводів, стін передбачена згідно ГОСТ 12.4.028-85. Стіни приміщень пофарбовані в світлий колір з Желтова-тими панелями. Устаткування забарвлене в блакитний колір, огорожі сходів забарвлене в темний колір. Огородження на обертових і рухомих частинах механізмів мають забарвлення червону. Вентиля, заглушки окращені в помаранчевий колір.

Трубопроводи з хімічно забрудненими стоками пофарбовані в червоний колір. Господарсько-фекальні води надходять в трубопровід з синьою забарвленням. Трубопроводи з артезіанською водою мають зелений колір. В приміщенні, де ведеться технологічний процес, в'їзд будь-якого типу транспорту заборонений.

Згідно ПУЕ за небезпекою ураження електричним струмом приміщення реконструюється цеху відноситься до приміщень з підвищеною небезпечністю. З метою попередження можливих випадків ураження електричним струмом передбачені наступні заходи: повна ізоляція токо-провідних ліній; застосування для місцевого і переносного освітлення низковольтного напруги  $12 \div 36\text{В}$ ; корпусу всіх електродвигунів, апаратів, комунікацій повинні бути заземлені; місця парових і газових виділень обладнані відсмоктувальними пристосуваннями, які приєднані до витяжних ліній. робоча напруга 380 / 220В, мережа змінного струму.

Захист від статичної електрики включає наступні заходи: відвід зарядів електрики шляхом заземлення устаткування, резервуарів, комунікацій - збільшення відносної вологості повітря в небезпечних зонах до 70%.

Реконструйований цех, згідно СН 305-89, відноситься до III категорії. Для захисту будівлі від первинних проявів блискавки по периметру будівлі



встановлюються громовідводи. Для захисту будівлі від вторинних проявлених блискавки все підходять до будівлі трубопроводи заземлюються.

Заходи по боротьбі з виробничим шумом і вібрацією: розміщення вентиляторів, вакуум-насосів в окремих виробничих ізолюваних приміщеннях. Обмеження швидкості обтікання деталей воз-духом до 0,3 м / с, під'єднання повітропроводів до вентиляторів через гнучку вставку з прогумованої тканини; установка вентиляторів на окремі фундаментом - віброізолюруемые від статі та інші конструкції будівлі. Мазило всіх рухомих частин обладнання та механізмів, ретельна регулюються-ровка обертових частин і механізмів.

До постачання питною водою працюють на промислових підприємствах пред'являються наступні санітарні вимоги: температура питної води не вище 20 ° С і не нижче 8 ° С, відстань від робочих місць до питної установки не більше 75 метрів. Пристрій питного водоснабж-ня розміщено в проходах виробничих приміщень і в кімнаті відпоч-ха.

На кожному поверсі встановлені пожежні крани на висоті 1,35 м від рівня підлоги. Витрата води на гасіння пожежі всередині приміщення прийнятий з розрахунку не менше 20л / с.

## 6.2 Розрахунок захисного заземлення

Початкові дані:

Двигун водонасосной станції серії 4А напругою  $U = 380$  В в трифазній мережі з ізолюваною нейтраллю.

Потужність двигуна А4160S2  $N = 15$  кВт;  $n = 3000$  хв-1.

Потужність трансформатора 170 кВ · А.

Необхідну по нормам допускається опір заземлювального пристрою  $[r_3] \leq 4$  Ом.

Ґрунт - суглинок з питомим електричним опором  $\rho = 100$  Ом·м.

В якості заземлювачів прийняті сталеві труби діаметром  $d=0,08$  м і довжиною  $l = 2,5$  м, що розташовуються вертикально і з'єднані на зварюванні сталевую смугою 40x4 мм.

Приймаємо схему заземлення електродвигуна, представлену на рис 6.1.

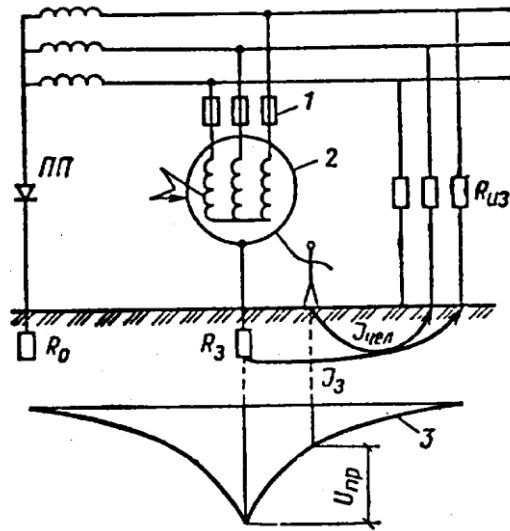


Рисунок 6.1 - Принципова схема захисного заземлення:

ПП - пробивний запобіжник;  $R_0$  - заземлення нульової точки трансформатора;  $R_з$  - заземлюючих пристроїв;  $R_{из}$  - опір ізоляції;  $U_{дп}$  - напруга дотику;  $I_з$  - струм замикання на землю;  $I_{чел}$  - струм протікає через людину; 1 - плавкі вставки; 2 - електродвигун; 3 - графік розподілу потенціалів на поверхні землі

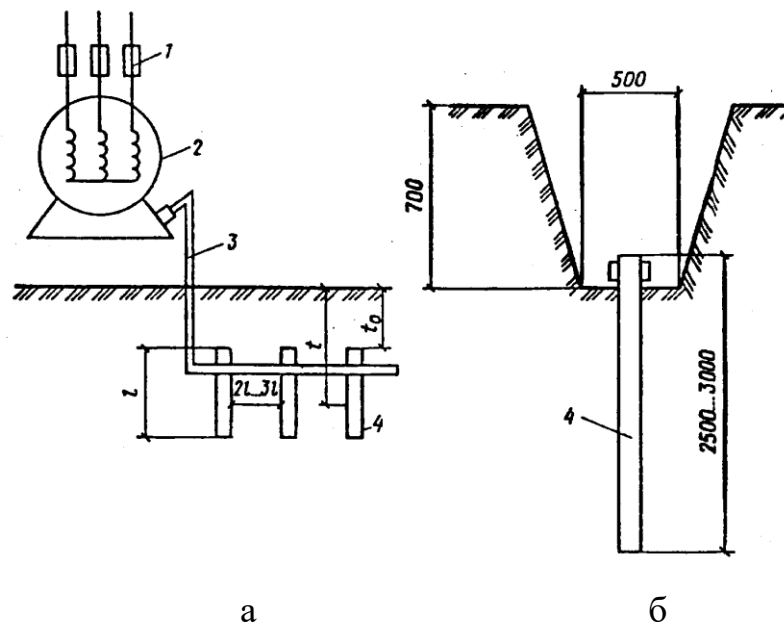


Рисунок 6.2 - Пристрій заземлення

а - схема заземлюючого пристрою; б - розташування одиночного заземлювача; 1 - плавкі вставки; 2 - електродвигун; 3 - сполучна смуга; 4 - трубчастий заземлитель.

Визначаємо опір одиночного вертикального заземлителя  $R_B$ , Ом, по формулі

$$R_B = \frac{\rho_{\text{расч}}}{2\pi l} \left( \ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4t+l}{4t-l} \right), \quad (6.1)$$

де  $t$  - відстань від середини заземлювача до поверхні ґрунту, м.

$l, D$  - довжина і діаметр стрижневого заземлювача. м.

Розрахункова питомий опір ґрунту визначається за формулою

$$\rho_{\text{расч}} = \rho \psi \quad (6.2)$$

де  $\psi$  - коефіцієнт сезонності, що враховує можливість підвищення опору ґрунту протягом року.

Для I кліматичної зони приймаємо  $\psi = 1,7$

тоді

$$\rho_{\text{расч}} = 100 \cdot 1,7 = 170 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$R_B = \frac{170}{2\pi \cdot 2,5} \left( \ln \frac{2 \cdot 2,5}{0,08} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot 2,05 + 2,5}{4 \cdot 2,05 - 2,5} \right) = 48 \text{ Ом.}$$

Визначаємо опір сталевий штаби, яка з'єднає стрижневі заземлювачі за формулою

$$R_{\text{ш}} = \frac{\rho_{\text{расч}}}{2\pi l} \cdot \ln \frac{l^2}{d \cdot t}, \quad \text{Ом} \quad (6.3)$$

де  $l$  - довжина смуги, м,

$t$  - відстань від смуги до поверхні землі, м,

$d = 0,5 b$  ( $b$  - ширина смуги, рівна 0,08 м).

Визначаємо розрахунковий питомий опір ґрунту  $\rho'_{\text{расч}}$  при використанні сполучної смуги у вигляді горизонтального електрода довжиною 50 м. При довжині смуги в 50 м  $\psi' = 5,9$  за табл. 3.12

тоді

$$\rho'_{\text{расч}} = \rho \psi' = 100 \cdot 5,9 = 590 \text{ Ом} \cdot \text{м},$$

$$R_{\text{ш}} = \frac{590}{2\pi \cdot 50} \cdot \ln \frac{50^2}{0,04 \cdot 0,8} = 21 \text{ Ом.}$$

Визначаємо орієнтовне число  $n$  одиночних стрижневих заземлитель за формулою

$$n = R_B / ([r_3] \eta_B), \quad (6.4)$$

де  $[r_3]$  - допустиме за нормами опір заземлювального пристрою;

$\eta_B$  коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів (для орієнтовного розрахунку  $\eta_B$  приймається рівним 1)

$$n = 48 / (4 \cdot 1) = 12 \text{ шт.}$$

Приймаємо розташування вертикальних заземлювачів по контуру з відстанню між суміжними заземлювачами рівними 21. За табл. 3.2 і 3.3 [ , с. ] Знайдемо дійсні значення коефіцієнта використання  $\eta_B$  і  $\eta_G$ , виходячи з прийнятої схеми розміщення вертикальних заземлювачів.

$$\eta_B = 0,66; \eta_G = 0,39$$

Визначаємо необхідну кількість вертикальних заземлювачів

$$n = 48 / (4 \cdot 0,66) \approx 18 \text{ шт.}$$

Обчислюємо загальний розрахунковий опір заземлюючого пристрою  $R$  з урахуванням сполучної смуги за формулою

$$R = \frac{R_B R_G}{R_B \eta_G + R_G \eta_B n} \quad (6.5)$$

$$R = \frac{48 \cdot 21}{48 \cdot 0,39 + 21 \cdot 0,66 \cdot 18} \approx 3,76 \text{ Ом}$$

Правильно розраховане заземлюючих пристроїв повинно відповідати умові  $R \leq [r_3]$ .

## ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

В магістерській роботі було проведено літературний аналіз процесу сушіння в апаратах конвективного типу. Було проаналізовано роботу сушилки з псевзрідженим шаром для сушіння сульфату амонія. Стандартну сушилку було модернізовано утеплюванням корпусу сушарки, це приведе до зменшення теплових втрат, що скажется на втраті палива та зменшення викидів від сторання палива в атмосферу.

Також було розраховано сушарку для виробництва сульфату амонія. Підібрано допоміжне обладнання. Розроблено автоматизацію процесу сушки матеріалу.

В розділі охорона праці проведено розрахунок заземлення.

## Список літератури

1. Плановский А. Н., Процессы и аппараты химической технологии / А. Н. Плановский, В.М. Рамм, С. С. Каган, Москва, Химия, 1968, 848 с.
2. Павлов К. Ф., Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии/ К. Ф.Павлов, П.Г. Романков, А. А. Носков - Ленинград, Химия, 1987, 576с.
3. Соколов В. Н. Машины и аппараты химических производств. Примеры и задачи/ В. Н. Соколов. Ленинград, Машиностроение, 1982, 384 с.
4. Лебедев П.Д. Теплообменные, сушильные и холодильные установки / П.Д. Лебедев. - М.: Энергия, 1972. - 320 с
5. Сечин А.А. Разработка интенсивного и взрывобезопасного процесса сушки лекарственных препаратов: Дис. канд. техн. наук: 05.17.08 / Сечин Андрей Александрович. - Томск, 2002. - 141 с.
6. Красников В.В. Кондуктивная сушка / В.В. Красников. - М.: Энергия, 1973. - 288 с.
7. Рашковская Н.Б. Сушка в химической промышленности / Н.Б. Рашковская. - Л.: Химия, 1977. - 80 с. 11. Мухленов И.П. Основы химической технологии / И.П. Мухленов. - М.: Высшая. шк., 1991. - 462 с.
8. А.С. № 456121. Сушилка для сыпучих материалов / Чураков А.П. - 1975. Бюлл. изобр., № 1, - С. 86125
9. Жукова Т.А. Пути интенсификации барабанных сушильных аппаратов / Т.А. Жукова, А. В. Алтухов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. - 2008. - т. 14. - №3. - С. 640 - 644.
10. Сажин В.Б. Оптимизация аппаратурного оформления сушильных процессов в технике взвешенного слоя / В.Б. Сажин, Б.С. Сажин, М.Б. Сажина, Е. Отрубянников // Успехи в химии и химической технологии. - 2007. - т. XXI.- №1 (69). - С. 49 - 65.
11. Романков П.Г. Сушка в подвешенном состоянии/ П.Г. Романков, Н.Б. Рашковская - Л.: Химия. 1979. - 272 с.

12. Труды ВНИЕКИПРОДМАШа / Козменко Н.А. [И др.] - М.: ВНИЕКИПРОДМАШ, вып. 48., 1977. - С. 19-25
13. Филорикьян Д.Ф. Сушка в производстве антибиотиков. Обзорная информация. Серия хим.-фарм. пром./ Д.Ф. Филорикьян, А.И. Чуприн, Е.С. Былинкина - М.: ЦБНТИ - "Мед. Пром.", 1972, вып. 6. - 16 с.
14. Лыков М.В. Сушка в химической промышленности / М.В. Лыков. - М.: Химия, 1966. - 229 с.
15. Сушильные аппараты и установки. Каталог. - М.: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1975. - 64 с.; 1966. - 86 с.
16. Филорикьян Д.Ф. Сушка материалов в аппаратах с псевдооживленным слоем и в подвешенном состоянии / Д.Ф. Филорикьян, Н.И. Гилтерин // ЖХФП. - 1978. - №2. - С. 44-46.
17. Воробьев А.М. Сушильные аппараты с активным гидродинамическим режимом / А.М. Воробьев, В.М. Дмитриев, С. Кормильцин, А.А. Горелов, С.П. Рудобашта // Вестник Тамбовского государственного университета. - 2001. - т.6. - вып.2. - С. 227 - 229.
18. Ребиндер П.А. О формах связи влаги с материалом в процессе сушки В кн.: Всесоюзное научно-техническое совещание по интенсификации процессов и улучшения качества продукции при сушке в основных отраслях промышленности и сельском хозяйстве / П.А. Ребиндер. - М.: Профиздат. 1958. - 385 с.
19. Рудобашта С.П. Массоперенос в системах с Твери фазой / С.П. Рудобашта. - М.: Химия, 1980. - 248 с.
20. Репринцева С.Н. Новые методы термообработки и сушки химикофармацевтической препаратов / С.Н. Репринцева, Н.В. Федорович. - М.: Наука и техника, 1979. - 186 с.
21. Корягин А.А. Рекомендации по выбору аппаратов для химической промышленности / А.А. Корягин, Н.Е. Щедрина // В сб. наук. работ под ред. ЕСТЬ В. Коровнина, А.А. Корягина - М.: НИИХИММАШ, 1981. - С. 65-67.
22. Сажин Б.С. Выбор и расчет аппаратов с взвешенным слоем / Б.С. Сажин, В.Б. Сажин, М.Б. Сажина. - М.: РОСЗИТЛП, 2001. - 336 с.

23. Сажин Б.С. Основные проблемы сушки дисперсных материалов, научно-практической анализ и решения / Б.С. Сажин, В.Б. Сажин // Успехи в химии и химической технологии. - 2008. - т. XXII. - №1 (81). - С. 98 - 111.
24. Сажин Б.С. Основы техники сушки / Б.С. Сажин. - М.: Химия, 1984. - 320 с. 29. Корольченко А.Я. Пожаровзрывоопасность процессов сушки / А.Я. Корольченко. - М.: Стройиздат, 1987. - 159 с.
25. Плановский А.Н., Сушка дисперсных материалов в химической промышленности / А.Н. Плановский, В.И. Муштай, В.М. Ульянов. - М.: Химия, 1979. - 288 с
26. Генкин.А.Е. Оборудование химических заводов. Москва, Высшая школа, 1978, 272 с. 27. Баталина Ю.В. Минеральное сырье. Соли минеральные: справочник/ ред. Ю.В. Баталина, Р.Р. Туманова, В.А. Хуснутдитова. –М.: Геоинформанск, 1992 242 с.
28. Криворот А.С. Конструкция и основы проектирования машин и аппаратов химической промышленности/ А.С. Криворот. Москва, Машиностроение, 1976, 376 с.
29. Михалев М. Ф. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. Примеры и задачи. Ленинград, Машиностроение, 1984, 301 с.
30. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: учебник / Ю.И. Дытнерский – 3-е изд. – М.: Химия, 2002 – 400с.
31. Соколов В. Н. Машины и аппараты химических производств. Примеры и задачи/ В. Н. Соколов. Ленинград, Машиностроение, 1982, 384 с.
32. Лащинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов. Справочник. Ленинград, Машиностроение, 1981, 382 с.
33. Лащинский А.А., Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / А.А. Лащинский, А.Р. Толщинский. Машиностроения. 1970г. 752 с.
34. Фарамаз С.А. Ремонт и монтаж оборудования химических и нефтеперерабатывающих заводов/ С.А. Фарамаз. Москва, Химия, 1971, 296 с.
35. Ермаков В.И. Ремонт и монтаж химического оборудования/ В.И. Ермаков, В.С. Шеин. Л., "Химия", Ленинградское отд-е, 1981



36. Голубятников В.А. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности/ В.А. Голубятников, В.В. Шувалов. Москва, Химия, 1972, 248 с.

37. Ключев А.С. Проектирование систем автоматизации технологических процессов/ А.С. Ключев, Б.В. Глазов, А.Х. Дубровский; М. Энергия, 1980, 512с.

38 Кошарский Б.Д. Автоматические приборы, регуляторы и вычислительные системы. Справочное пособие. Ленинград, Машиностроение, 1976, 488с.

39. Макаров В.А. Охрана труда в химической промышленности/ В.А . Макаров, Н.А. Стрельчук. М. Химия, 1977, 568с.

40. Таубкина С.И. Пожаро- и взрывоопасность пылевидных материалов и технологических процессов их переработки / С.И. Таубкина, И.С. Таубкина. - М.: Химия, 1976. - 264 с.