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

Кафедра хімічної інженерії

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри

_____
підпис, дата

Кваліфікаційна робота бакалавра

зі спеціальності 133 "Галузеве машинобудування"
освітня програма "Комп'ютерний інжиніринг обладнання хімічних виробництв"

Тема роботи: Установка виробництва хлориду натрію. Розробити сушарку псевдозрідженого шару

Виконала:
студентка групи ХМз – 81с

Мневець Каріна Романівна

_____
підпис

Залікова книжка
№ 18510203

Кваліфікаційна робота бакалавра захищена на засіданні ЕК

з оцінкою _____

"___" _____ 20___ р.

Підпис голови
(заступника голови) комісії

Керівник:
канд. техн. наук, доцент

Юхименко Микола Петрович

_____
підпис, дата

_____

СУМИ 2022

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Кафедра хімічної інженерії

Спеціальність 133 "Галузеве машинобудування"
Освітня програма "Комп'ютерний інжиніринг обладнання хімічних виробництв"

Курс 4 Група ХМз – 81с Семестр 8

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Студентці Мневець Каріні Романівні

1 Тема проекту: Установка виробництва хлориду натрію. Розробити сушарку псевдозрідженого шару

2 Вихідні дані: Розробити апарат псевдозрідженого шару для сушіння кристалів NaCl у кількості 2900 кг/год. за вологим матеріалом. Вологість матеріалу, % на заг. масу: початкова – 9,0; кінцева – 2,0. Температура матеріалу, °С: початкова – 20; кінцева – 60. Теплоносій – повітря з початковою температурою 110°С. Розмір кристалів NaCl, мм: максимальний – 3,0; мінімальний – 1,0. Теплові втрати прийняти на рівні 10 %.

3 Перелік обов'язкового графічного матеріалу (аркуші А1):

1. Технологічна схема виробництва – 1,0 арк.
2. Складальне креслення сушарки – 1,0 арк.
3. Складальне креслення кришки сушарки – 1,0 арк.

4 Рекомендована література: 1. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра / укладачі: Р. О. Острога, М. С. Скиданенко, Я. Е. Михайловський, А. В. Іванія. – Суми : СумДУ, 2019. – 32 с.; 2. Лебедев П. Д. Расчет и проектирование сушильных установок / П. Д. Лебедев. – М.–Л. : Госэнергоиздат, 1963. – 320 с.

5 Етапи виконання кваліфікаційної роботи:

Етапи та розділи проектування	ТИЖНІ				
	1	2,3	4,5	6,7	8
1 Вступна частина	x				
2 Технологічна частина		xx			
3 Проектно-конструкторська частина			xx		
4 Розробка креслень				xx	
5 Оформлення записки					x
6 Захист роботи					x

6 Дата видачі завдання жовтень 2021 р.

Керівник _____ доцент Юхименко М.П.
підпис

Зміст

	С.
Вступ	***5***
1 Технологічна частина	***6***
1.1 Опис технологічної схеми виробництва	*6*
1.2 Теоретичні основи процесу. Обґрунтування вибору конструкційних матеріалів	*8*
1.3 Пристрій і принцип роботи апарату	*14*
2 Технологічні і проектні розрахунки	***17***
2.1 Технологічні і теплові (енергетичні) розрахунки	*17*
2.2 Конструктивні розрахунки	*20*
2.3 Визначення висоти киплячого шару	*23*
2.4 Гідравлічний опір апарату	*26*
2.5 Вибір допоміжного обладнання	*27*
3 Розрахунки апарату на міцність та герметичність	***30***
3.1 Розрахунок на міцність корпусу сушарки	*30*
3.2 Розрахунок на міцність корпусу газорозподільного пристрою	*31*
3.3 Розрахунок і вибір опори	*32*
4 Монтаж і ремонт апарату киплячого шару	***36***
4.1 Монтаж апарату	*36*
4.2 Ремонт апарату	*39*
5 Охорона праці	***43***
Література	***48***
Додаток – Специфікації до складальних креслеників	

Вступ

Хлорид натрію (NaCl, у побуті – «сіль») – тверда, прозора (у чистому вигляді) хімічна сполука з іонною кристалічною ґраткою, солона на смак. При розчиненні у воді повністю дисоціює на катіони натрію та хлорид-аніони. Залежно від походження природного хлориду натрію, має різну ступінь чистоти та різний кількісний та якісний склад домішок, які зумовлюють його смак та колір. Хлорид натрію, який застосовується у побуті, часто звуть кухонною, харчовою чи столовою сіллю; у назві іноді вказується на джерело її походження (кам'яна, морська, озерна, виварна) та – ґатунок: чим вищий, тим менше домішок містить хлорид натрію. У воді хлорид натрію розчиняється, але в чистому виді, на відміну від кухонної солі, не гігроскопічний, – не сиріє [1].

Хлорид натрію використовується дуже широко: окрім застосування в кулінарії (як приправа до їжі і при консервуванні риби, м'яса та інших харчових продуктів), є також важливою сировиною хімічної промисловості для одержання гідроксиду натрію, соди, хлору тощо. Щорічний світовий видобуток хлориду натрію становить сотні мільйонів тонн, із яких майже 30 % використовується в харчовій промисловості [1].

Світове виробництво солі оцінюється в 280 мільйонів тон. Найбільшими світовими виробниками є Китай (60,0 млн тон), США (45,0 млн тон), Німеччина (16,5 млн тон), Індія (15,8 млн тон) та Канада (14 млн тон). Лідером виробництва хлориду натрію у США є "Akzo Nobel Salt Inc." (входить до холдингової корпорації "Akzo Nobel"), потужності виробництв якої становлять понад 10 млн тон/рік. На ринку солевидобування США помітне місце мають такі компанії, як "Morton International" (6,3 млн тон/рік), "Cargill Inc." (3,9 млн тон/рік), "Carey Salt" (1,7 млн тон/рік) [2].

Кваліфікаційну роботу бакалавра виконано у відповідності до методичних вказівок [3]. Зміст і порядок розділів у даній пояснювальній записці також формувався відповідно вимогам.

1 Технологічна частина

1.1 Опис технологічної схеми виробництва

Кухонну сіль (NaCl) в Україні отримують із насичених розчинів хлориду натрію (розсолів) шляхом випаровування води. Отримання насичених розчинів здійснюється штучним підземним вилуговуванням (розчиненням) соляних покладів. Це спеціальний гірничотехнічний спосіб розробки родовищ солі, розташованих, як правило, на глибинах понад 600 м [4].

Вилуговування солі здійснюють через свердловини діаметром 0,25–0,5 м. Окрім іонів хлориду натрію в розчин потрапляють іони і інших, небажаних, домішок. До таких належать, у першу чергу, накипформуючі домішки, а також інші, які по мірі упарювання розсолу переходять в малорозчинний стан, осідаючи на гріючих поверхнях випарних апаратів, або забруднюючи кухонну сіль. Тому, перш ніж отримувати сіль, такі розсоли необхідно очищати. Очищення полягає у видаленні домішок кальцію, магнію і нерозчинного у воді осаду [4].

Технологічна схема виробництва хлориду натрію приведена на рис. 1.1. Принцип її роботи полягає у наступному. Очищений розчин надходить на випарні установки, які містять дві чотирикорпусні системи. По мірі випаровування води в апаратах відбувається кристалізація солі. Кристали кухонної солі разом із маточним розсолом (солепульпою) з випарних апаратів надходять у відстійники, де відбувається як згущення, так і освітлення розсолу. Освітлений розсіл повертається на випарювання, а сіль потрапляє на зневоднення, яке відбувається у центрифугах. Далі сіль із вологістю 7,6 % мас. спрямовується на сушіння.

Сушіння солі – це заключна технологічна операція по отриманню готового продукту. Видалення вологи шляхом випаровування відбувається в сушарці киплячого шару, через яку пропускають потік гарячого повітря з початковою температурою 110°С. Процес сушіння закінчується, коли вологість продукту становить не більше 0,6 % мас.

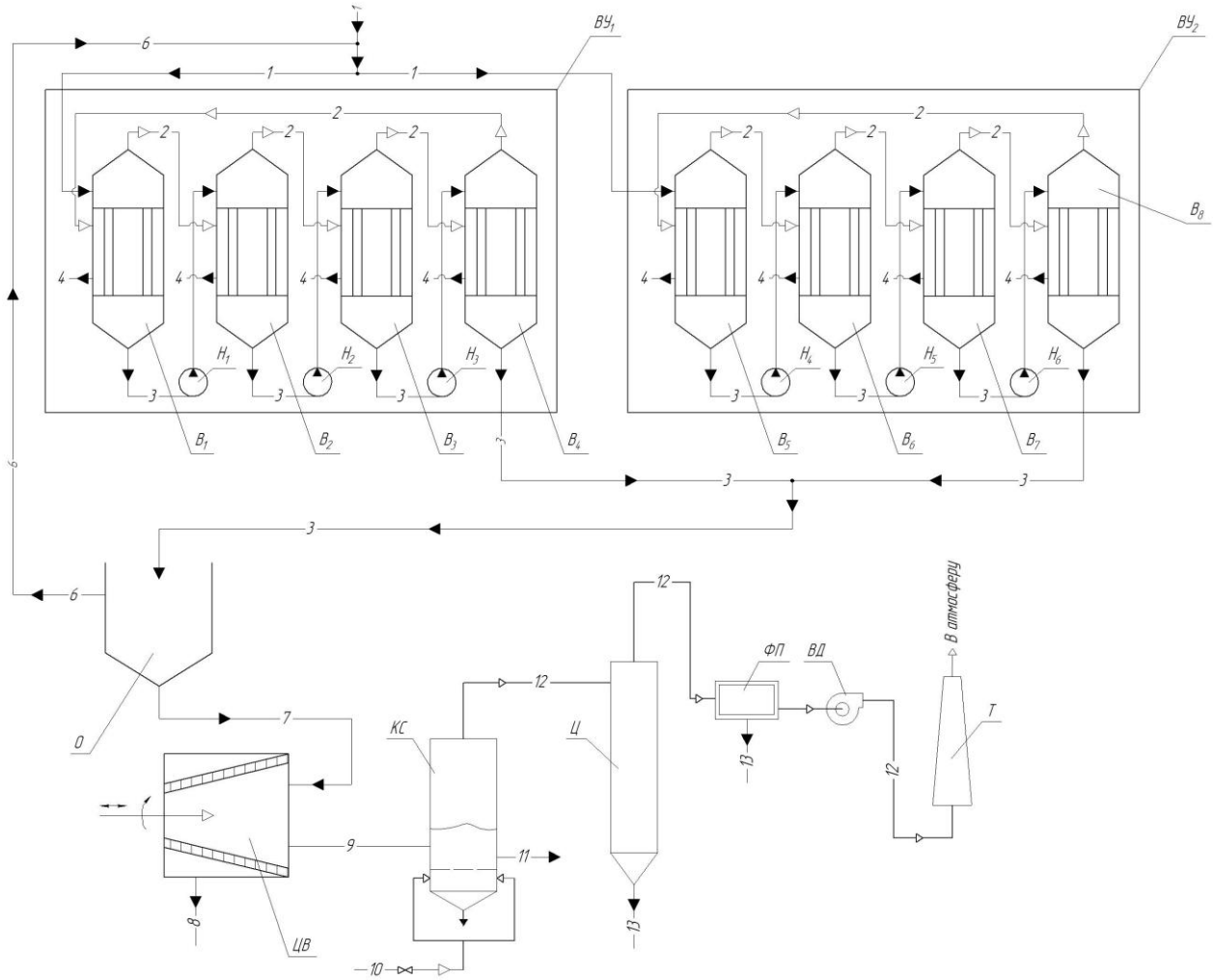

Рисунок 1.1 – Технологічна схема установки виробництва хлориду натрію: ВУ1-2 – випарні установки; В1-8 – випарні апарати; О – відстійник; ЦВ – центрифуга вібраційна; КС – сушарка киплячого шару; Ц – циклон; ФП – фільтр патронний; ВД – повітродувка; Т – вихлопна труба

На виході з сушарки киплячого шару передбачений циклон, у який спрямовується відпрацьований повітряний потік. У циклоні відбувається уловлювання винесених з апарату частинок. Після циклону повітря очищається від пилу в патронному фільтр. Пройшовши двостадійне очищення, повітря, за допомогою вентилятору, викидається в атмосферу через вихлопну трубу.

1.2 Теоретичні основи процесу. Обґрунтування вибору конструкційних матеріалів

Теоретичний огляд, що представлено у даному підрозділі, виконано на підставі аналізу літературних джерел [5–11].

Сушіння – це процес видалення вологи з матеріалів, шляхом її випаровування і відведення пари, що утворилася. Апарати, в яких здійснюють сушку, називають сушарками. За способом передачі тепла розрізняють конвективні, контактні, терморадіаційні, сублімаційні і високочастотні сушарки. Дисперсні матеріали, до яких відносяться зернисті, порошкоподібні, гранульовані, подрібнені тверді, а також дисперговані рідкі і пастоподібні продукти, в хімічній технології висушують головним чином конвективним способом – шляхом безпосереднього зіткнення висушуваного матеріалу з сушильним агентом, в якості якого зазвичай використовується нагріте повітря або топкові гази (як правило, в суміші з повітрям).

Кожен твердий вологий матеріал здатний поглинати вологу з навколишнього середовища або віддавати її навколишньому середовищу. Навколишнє середовище може містити або тільки водяну пару, або суміш водяної пари з газами. Позначимо парціальний тиск водяної пари в суміші з повітрям через Рп. Волога, що міститься у матеріалі, відповідає певному тиску водяної пари Рм, званому тиском водяної пари у вологому матеріалі.

При контакті матеріалу з вологим повітрям можливі три стани системи:

1) тиск водяної пари у вологому матеріалі Рм більше, ніж його парціальний тиск в навколишньому повітрі або газі, тобто Рм > Рп. У цьому випадку відбувається десорбція вологи з матеріалу в навколишнє середовище, тобто процес сушіння. Тиск водяної пари в матеріалі Рм залежить від вологості матеріалу, температури і характеру зв'язування вологи з матеріалом;

2) парціальний тиск пари в навколишньому середовищі більше, ніж його тиск у вологому матеріалі, тобто Рп > Рм. У цьому випадку відбувається сорбція вологи матеріалом, тобто процес зволоження матеріалу;

3) тиск водяної пари у вологому матеріалі і навколишньому середовищу рівні, тобто Рм = Рп. У цьому випадку настає динамічна рівновага, яка називається рівноважною вологістю Wр. Рівноважна вологість залежить від парціального тиску водяної пари Рп або пропорційної йому відносної вологості повітря φ. Залежність рівноважної вологості від φ при t = const називається ізотермою сорбції та встановлюється експериментальним шляхом.

Стан динамічної рівноваги є граничним в процесах сушіння та зволоження. При сушінні тиск пари у поверхні матеріалу, зменшуючись, прагне до рівноважного. При зволоженні, навпаки, тиск парів біля поверхні, збільшуючись, прагне до рівноважного.

Рівноважна вологість і, отже, перебіг процесу сушіння залежать від властивостей матеріалу, що висушується, характеру зв'язку з ним вологи і параметрів навколишнього середовища.

Зв'язок вологи з матеріалом може бути механічним, фізико-хімічним та хімічним.

Механічно пов'язана з матеріалом поверхнева волога, що заповнює великі капіляри матеріалу в результаті змочування. Ця волога (іноді звана зовнішньою) найменш міцно пов'язана з матеріалом і найбільш легко видаляється з нього.

Більш міцно пов'язана з матеріалом волога, яка поглинається поверхнею дрібних капілярів (адсорбційна волога) або проникає внаслідок дифузії всередину клітин матеріалу (структурна або осмотична пов'язана волога). Вологу, фізико-хімічно пов'язану з матеріалом, видаляти з нього значно важче.

Волога, хімічно зв'язана з матеріалом (гідратна або кристалізаційна), в процесі сушіння зазвичай не видаляється і тому при розрахунку сушарок не враховується.

Незалежно від характеру зв'язку вологу, міцно пов'язану з матеріалом, на відміну від зовнішньої вологи, називають гігроскопічною. Ця волога не може бути повністю вилучена з матеріалу шляхом сушіння. При сушінні вологий

матеріал віддає спочатку зовнішню вологу, потім частину гігроскопічної вологи, яка може бути видалена при даній температурі і вологості повітря. Уся волога, що видаляється з матеріалу в умовах теплової сушки, називається вільною вологою.

Шляхом значного збільшення температури повітря і зниження його відносної вологості можна видалити ще деяку частину гігроскопічної вологи. Цю частину вологи, яку ще можна видалити сушінням, часто називають пов'язаною вологою.

Таким чином, сушка можлива як у вологому, так і в гігроскопічному станах матеріалу за умови, що його вміст вологи більший рівноважного значення.

Процес сушки залежить як від властивостей матеріалу, так і від властивостей навколишнього середовища. Тому для вивчення процесу сушіння необхідно знати властивості вологого газу (повітря) і характер їх зміни в процесі сушіння.

Вологе повітря являє собою суміш сухого повітря і водяної пари. У ненасиченому повітрі волога знаходиться в стані перегрітої пари, тому властивості вологого повітря з деяким наближенням характеризуються законами ідеальних газів.

Суміш сухого газу з парами рідини називається вологим газом. Вологий газ характеризують такі параметри: температура, тиск, густина, відносна і абсолютна вологість, вологовміст, теплоємність, ентальпія.

Абсолютна вологість – це маса водяної пари в одиниці об'єму вологого повітря. Оскільки пар як компонент бінарної газової суміші займає весь об'єм вологого газу, поняття абсолютної вологості збігається з поняттям густини пари ρ_n (в кг/м^3) при температурі t і парціальному тиску Рп.

Відносна вологість (φ) – це відношення кількості парів рідини в газі до максимально можливого при даній температурі і загальному тиску або ставлення густини пари ρп за даних умов до щільності насиченої пари при тих самих умовах:

$$\phi = \frac{\rho_п}{\rho_{н.п.}} = \frac{P_н}{P_{н.п.}}. \qquad (1.1)$$

Під вологовмістом x розуміють кількість пари рідини (в кг), що припадає на 1 кг абсолютно сухого газу:

$$x = \frac{G_п}{L}, \qquad (1.2)$$

де $G_п$ – маса (масова витрата) пари, кг (кг/с);
L – маса (масова витрата) абсолютно сухого газу, кг (кг/с).

Питома теплоємність вологого газу приймається адитивною величиною теплоємностей сухого газу та пари.

Питому ентальпію (H) парогазової суміші (в Дж/кг) виражають також за правилом адитивності як суму питомих ентальпій сухого газу $H_{с.г.}$ і пари $H_п$:

$$H = H_{с.г.} + H_п \cdot x. \qquad (1.3)$$

Для розрахунку сушарок необхідно знати швидкість сушіння, яка визначається кількістю вологи W, що випаровується з одиниці поверхні F висушуваного матеріалу за одиницю часу:

$$U = \frac{W}{F \cdot \tau}; \left[\frac{кг}{м^2 \cdot с}\right] \qquad (1.4)$$

де τ – час сушіння, с.

Знаючи швидкість сушіння, визначають тривалість періодичного процесу сушіння або поверхню матеріалу, що висушується при сушінні безперервним способом і встановлюють габаритні розміри сушильних апаратів.

Рушійна сила процесу сушіння визначається різницею тисків Рм – Рп, тобто різницею тиску парів вологи у поверхні матеріалу Рм і парціального тиску пари в повітрі Рп.

Розрізняють два періоди сушки: період постійної швидкості і період падаючої швидкості процесу. Протягом першого періоду волога випаровується з усієї поверхні вологого матеріалу. Швидкість сушіння постійна і визначається лише швидкість зовнішньої дифузії, тобто дифузії парів вологи з поверхні матеріалу в навколишнє середовище.

У другому періоді швидкість сушіння визначається внутрішньою дифузією – переміщенням вологи зсередини матеріалу до його поверхні. З початку другого періоду поверхня підсушеного матеріалу починає покриватися кіркою і поверхня випаровування вологи поступово зменшується, що призводить до збільшення опору внутрішньої дифузії і до безперервного зменшення швидкості сушіння. Двом основним періодам передує деякий період прогріву матеріалу до температури сушіння.

Правильний вибір матеріалів і технології виготовлення апаратів сприяє збільшенню тривалості їх ефективної експлуатації, зниженню трудомісткості їх виготовлення та собівартості. Вибір матеріалів та заготовок обумовлюється характером виробництва, конструктивними, експлуатаційними та технологічними особливостями, а також економічною доцільністю. Для матеріалів які працюють в агресивному середовищі необхідно враховувати характер останніх, концентрацію та температуру Вибір конструктивних матеріалів для виготовлення основних деталей і вузлів барабанної сушарки проводився на підставі [12–13].

Матеріалами для виготовлення стальних зварних апаратів є напівфабрикати, які поставляються металургічною промисловістю у вигляді листового, сортового та фасонного прокату, труб, спеціальних поковок та відливків. Матеріали повинні бути хімічно та корозійностійкими в заданому середовищі при її робочих параметрах, володіти гарною зварюваністю та відповідними

міцнісними та пластичними характеристиками в робочих умовах, допускати холодну та гарячу механічну обробку, а також мати якомога нижчу вартість та бути недефіцитними. Якість, хімічний склад та механічні властивості матеріалів повинні відповідати вимогам діючих стандартів і ТУ та бути підтвердженими сертифікатами заводів поставників.

Вибір конструкційних матеріалів проводиться на основі аналізу умов експлуатації оладнання, параметрів процесу, таких як температура, тиск, концентрація робочих середовищ та їх агресивність. Також обираючи матеріали заготовок враховують: механічні влативості матеріалів, хімічну стійкість, теплопровідність, технологічність у виготовленні та вартість матеріалу. Одним із найважливіших показників при виборі матеріалу є здатність матеріалу добре зварюватися, адже більшість нероз'ємних з'єднань при виготовленні хімічних апаратів виконують зварюванням. Хімічна промисловість відрізняється застосуванням агресивних речовин, а тому корозійна стійкість матеріалів є ключовим фактором при виборі матеріалу обладнання та визначає довголіття хімічного обладнання.

Вибір конструкційного матеріалу виконується так, щоб при низькій вартості і не дефіцитності матеріалу забезпечити високу якість та ефективну технологію виготовлення апарату. З огляду на температурні параметри процесу сушіння (до 750°С) тиск в апараті (до 0,1 МПа) та помірну агресивність речовин, в якості основного матеріалу для виготовлення апарату киплячого шару обираємо низьколеговану (з вмістом легуючих елементів до 2,5 %) сталь, що поставляється у вигляді листового прокату товщиною (4–160 мм) згідно з ГОСТ 5520-79 та ГОСТ 19281-89.

Листовий прокат – основний матеріал при виготовленні апаратів киплячого шару. З листової сталі виготовляють обичайки, днища, фланці, газорозподільчі решітки тощо.

Сталь 16ГС – сталь конструкційна низьколегована для зварних конструкцій. Використовується для виготовлення апаратів, фланців, днищ, обичайок,

сосудів. Поставляється у вигляді стальних листів. Характеризується гарною зварюваністю, високою міцністю та ударною в'язкістю, використовується в інтервалі температур від –70°С до +775°С. Добре деформується в гарячому і холодному стані, легко піддається обробці різанням, добре зварюється всіма видами зварювання.

Сталь Ст3 – конструкційна вуглецева сталь звичайної якості. Застосовується для виготовлення збірників, насосів, несучих елементів зварних і незварних конструкцій, що працюють при температурах від –40°С до +725°С. Добре зварюється усіма видами зварювання, не схильна до відпускної крихкості. Поставляється у вигляді листового та фасонного прокату.

Сталь 35Х – конструкційна легована сталь. Застосовується для виготовлення осей, валів, шестерень та інших поліпшуваних деталей. Обмежено зварювана, схильна до відпускної крихкості.

Пароніт – листовий матеріал прокладки, виготовлений пресуванням асбокаучукової маси, що складається з азбесту, каучуку і порошкових інгредієнтів. Застосовується для ущільнення фланцевих з'єднань.

1.3 Пристрій і принцип роботи апарату

Об'єктом розробки є сушарка киплячого шару (рис. 1.2), яка являє собою апарат, що складається з конічного корпусу 1, газорозподільного пристрою 2, газорозподільної решітки 3 і кришки 4. Газорозподільну решітку виготовляють зі штампованого сита з круглими отворами – така конструкція має живий перетин близько 15 %.

Сушарка киплячого шару обладнана люком технологічним, оглядовими вікнами, а також штуцерами для приладів КВПіА. Встановлюється сушарка на опори-лапи (мінімум дві штуки).

Принцип роботи апарату полягає у наступному. Вихідний матеріал надходить в сушарку на газорозподільну решітку, де під дією потоку повітря приходить у зважений стан (псевдозрідження).

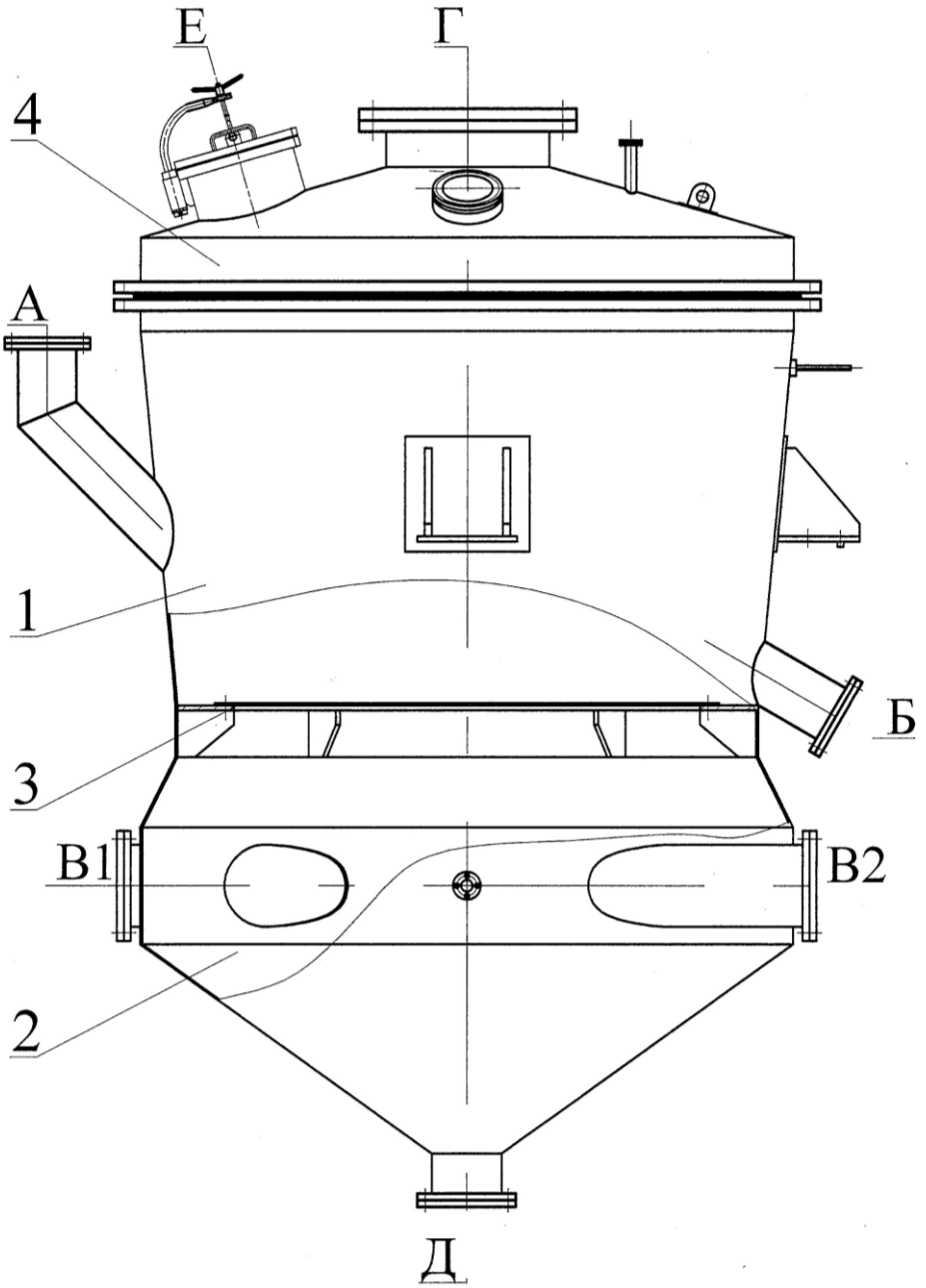

Рисунок 1.2 – Схема сушарки киплячого шару із основними технологічними потоками: 1 – корпус; 2 – газорозподільчий механізм; 3 – газорозподільна решітка; 4 – кришка; А – вхід вологого продукту; Б – вихід висушеного продукту; В1, В2 – вхід сушильного агента; Г – вихід відпрацьованого повітря; Д – вихід залишку продукту; Е – люк технологічний

У процесі сушіння дисперсний продукт переміщується по решітці і перетікає із однієї зони в іншу. Висушений матеріал виводитися із сушарки че-

рез штуцер Б, розташований в діаметрально протилежному напрямку від штуцера введення вологого продукту А.

Повітря підводиться в апарат через штуцери В1 і В2. Для відведення частинок матеріалу, які провалюються через отвори в газорозподільній решітці і опиняються в нижній частині апарату, передбачений штуцер Д. Відпрацьоване і насичене вологою повітря виводиться із сушарки через штуцер Г у верхній частині кришки.

2 Технологічні і проектні розрахунки

2.1 Технологічні і теплові (енергетичні) розрахунки

Технологічний розрахунок проводимо у відповідності до методики [11].

Для початку визначимо середньорічні параметри повітря: приймаємо середньорічну температуру повітря t_{B0} = 6,6°С з відносною вологістю φ_{B0} = 78 %.

За діаграмою Рамзина (рис. 2.1) параметри повітря перед калорифером складають: точка А на діаграмі (X_0 = 0,006 кг/кг; I_0 = 20 кДж/кг). Тоді параметри повітря в калорифері: точка В (tвн = 110 °С, X_B = 0,006 кг/кг, I_B = 132 кДж/кг).

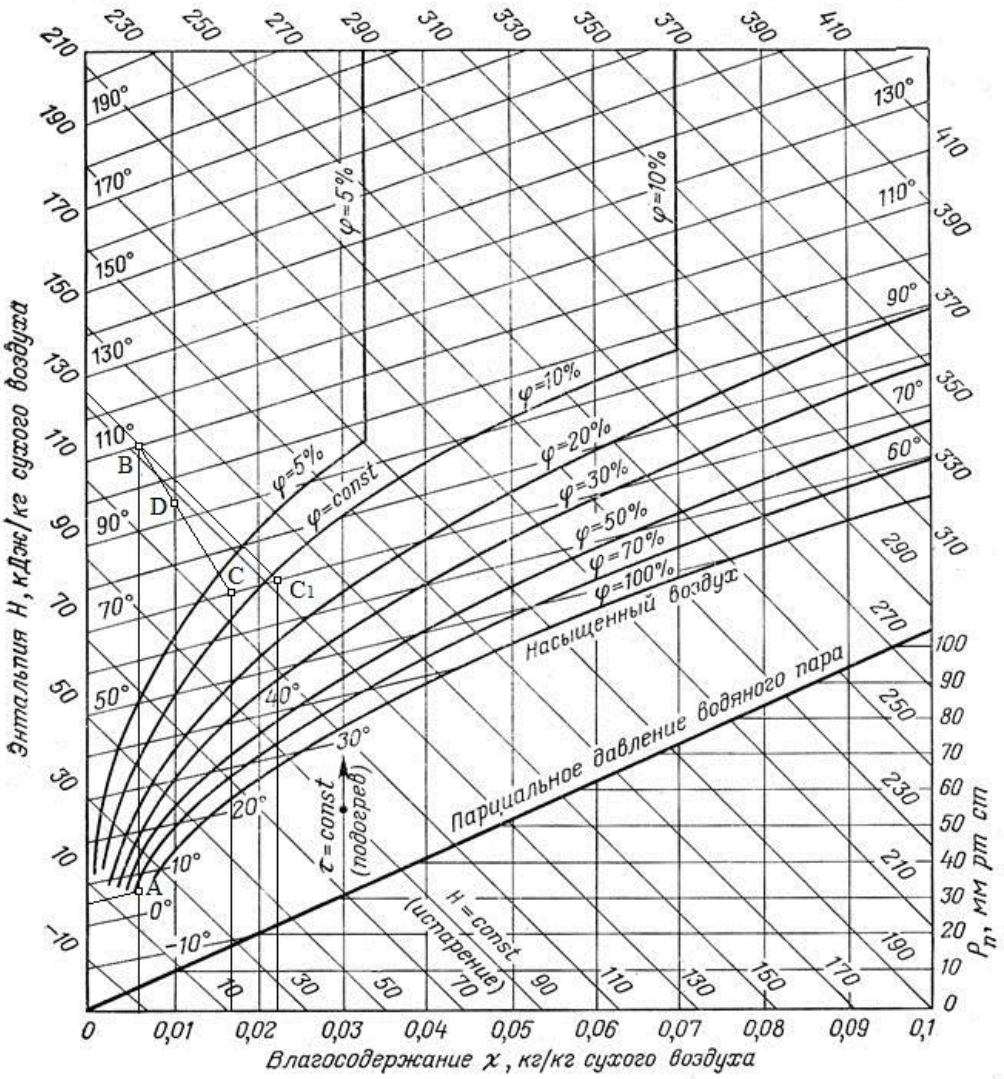

Рисунок 2.1 – Схема реального процесу сушіння

Параметрами точки C_1 є: постійна ентальпія I_B = 132 кДж/кг і кінцева температура повітря, яку приймаємо за практичними даними [11] t_{BK} = 70°С.

При теоретичному процесі сушіння питома теплота визначається з наступного рівняння:

$$q_T = \frac{I_B - I_0}{X_{ВЫХ} - X_0}, \qquad (2.1)$$

де $X_{вых}$ – вміст вологи в повітрі на виході з сушарки при теоретичному процесі, кг/кг.

За діаграмою Рамзина $X_{вих}$ = 0,022 кг/кг (точка C_1 на рис. 2.1).

$$q_T = \frac{132 \cdot 10^3 - 20 \cdot 10^3}{0,022 - 0,006} = 7,0 \cdot 10^6 \, (Дж/кг).$$

У реальній сушарці кінцевий вміст вологи X_K буде меншим $X_{вых}$. Його значення визначаємо наступним чином.

З рівняння лінії реального процесу сушіння

$$I = I_B - \Delta q \, (X - X_0), \qquad (2.2)$$

прийнявши будь-яке значення X, менше $X_{вых}$, визначаємо I, попередньо розрахувавши вологу, що випаровується W, і поправку Δq для реального процесу.

Витрати вологи, що випаровується:

$$W = G_1 \cdot (\omega_H - \omega_K); \qquad (2.3)$$

$$W = 2900 \cdot (0,09 - 0,02) = 203 (кг/год.).$$

Питома теплота на нагрівання матеріалу при температурі матеріалу на виході з сушарки:

$$q_{MAT} = \frac{G_1 \cdot c_M \cdot (\theta_K - \theta_H)}{W}, \qquad (2.4)$$

де c_M – питома теплоємність NaCl; c_M = 385 Дж/(кг·К).

$$q_{MAT} = \frac{2900 \cdot 385 \cdot (60 - 20)}{203} = 2,2 \cdot 10^5 \text{ (Дж/кг).}$$

Із огляду на те, що втрати тепла складають 10 %, отримаємо:

$$q_{ПОТ} = 0,10 \cdot q_T = 0,10 \cdot 7,0 \cdot 10^6 = 7,0 \cdot 10^5 \text{ (Дж/кг).}$$

Різниця температур в теоретичній і реальній сушарках:

$$\Delta q = q_{MAT} + q_{ПОТ} - c_\omega \cdot t_{B0}; \qquad (2.5)$$

$$\Delta q = 2,2 \cdot 10^5 + 7,0 \cdot 10^5 - 4190 \cdot 6,6 = 8,9 \cdot 10^5 \text{ (Дж/кг).}$$

Прийнявши значення X=0,01 кг/кг, за рівнянням (2.2) розраховуємо:

$$I = 132 \cdot 10^3 - 8,9 \cdot 10^5 \cdot (0,01 - 0,006) = 128 \cdot 10^3 \text{ (Дж/кг).}$$

Виходячи з діаграми Рамзина (рис. 2.1), визначаємо вміст вологи в повітрі на виході з сушарки. Для цього проведемо лінію через дві точки:

– точка B має координати (X_B = 0,006 кг/кг; I_B = 132 кДж/кг);

– точка D має координати (X = 0,01 кг/кг; I = 128 кДж/кг),

до перетину з ізотермою t_{BK} = 70° С. Відповідно знаходимо вміст вологи в повітрі, який залишає барабанну сушарку: X_K = 0,017 кг/кг (точка С на рис. 2.1).

Витрати сухого теплоносія в сушарці:

$$G_C = \frac{W}{X_K - X_0}; \qquad (2.6)$$

$$G_C = \frac{203}{0,017 - 0,006} = 18455 \text{ (кг/год.)}.$$

Витрати вологого теплоносія на виході з сушарки:

$$V_B = v_{УД} \cdot G_C, \qquad (2.7)$$

$$\text{де } v_{УД} = \frac{R_B \cdot T}{P - \phi_в \, p_{нас}} = \frac{287 \cdot (273 + 70)}{10^5 - 0,78 \cdot 3,22 \cdot 10^4} = 1,31 \text{ (м}^3\text{/кг)}.$$

$$V_B = 1,31 \cdot 18455 = 24176 \text{ (м}^3\text{/год.)}.$$

2.2 Конструктивні розрахунки

Для визначення площі поперечного перерізу сушарки необхідно визначити швидкість повітряного потоку в сушарці.

Швидкість початку псевдозрідження (перша критична швидкість):

$$\omega_{КР} = \frac{\mathrm{Re}_{КР} \cdot \mu_{СР}}{d_Э \cdot \rho_{СР}}, \qquad (2.8)$$

де $\mu_{ср} = 2,2 \cdot 10^{-5}$ *Па · с – в'язкість повітря при середній температурі [7];*

$\rho_{СР}$ *– густина повітря при середній температурі [7];*

$d_Э$ *– еквівалентний діаметр частинки,* $d_Э = 1,3 мм = 0,0013 м$.

Критерій Рейнольдса [11]:

$$\mathrm{Re}_{КР} = \frac{Ar}{1400 + 5,22 \cdot \sqrt{Ar}}, \qquad (2.9)$$

де Ar – критерій Архімеда.

$$Ar = \frac{d_Э^3 \cdot \rho_{СР} \cdot g \cdot \rho_Ч}{\mu_{СР}^2}, \qquad (2.10)$$

де $\rho_ч$ =3640 кг/м^3 – щільність матеріалу.

$$Ar = \frac{(0,0013)^3 \cdot 1,0 \cdot 9,81 \cdot 3640}{\left(2,2 \cdot 10^{-5}\right)^2} = 162090;$$

$$\mathrm{Re}_{KP} = \frac{162090}{18 + 5,22 \cdot \sqrt{162090}} = 76,5.$$

Підставивши в рівняння (2.8), отримаємо:

$$\omega_{\text{КР}} = \frac{76,5 \cdot 2,2 \cdot 10^{-5}}{0,0013 \cdot 1,0} = 1,29 \frac{\text{м}}{\text{с}}. \qquad (2.11)$$

Швидкість віднесення частки (друга критична швидкість) $\omega_{\text{УН}}$ з сушарки «киплячого шару» визначається за допомогою критеріального рівняння [11]:

$$\omega_{\text{УН}} = \frac{\mu_{CP}}{d_{\text{Э}} \rho_{CP}} \left(\frac{Ar}{18 + 0,6 \cdot \sqrt{Ar}} \right); \qquad (2.12)$$

$$\omega_{\text{УН}} = \frac{2,2 \cdot 10^{-5}}{0,0013 \cdot 1,0} \cdot \left(\frac{162090}{18 + 0,6 \cdot \sqrt{162090}} \right) = 10,6 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Робочу швидкість сушильного агента вибирають в інтервалі від $\omega_{\text{КР}}$ до $\omega_{\text{УН}}$. Ця швидкість залежить від граничного числа псевдозрідження. В свою чергу, число псевдозрідження залежить від: форми частинок, форми апарату, конструкції газорозподільної решітки і т. д. [6]. Його визначення базується на підставі аналізу дослідних даних, і для наших умов ведення процесу вибираємо значення K_ω = 1,8.

Таким чином, робоча швидкість сушильного агента:

$$\omega_{\text{Р}} = K_\omega \cdot \omega_{KP}; \qquad (2.13)$$

$$\omega_P = 1,8 \cdot 1,29 = 2,3 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Діаметр решітки сушарки «киплячого шару» визначається з виразу:

$$D = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot \omega_{\text{Р}}}}; \qquad (2.14)$$

$$D = \sqrt{\frac{11,09}{0,785 \cdot 2,3}} = 2,48 м.$$

Приймаємо D = 2,5 м, тоді площа решітки складе:

$$\text{S} = 0,785 \cdot \text{D}^2 = 0,785 \cdot 2,5^2 = 4,9 \text{м}^2. \qquad (2.15)$$

Згідно з рекомендаціями [9] для забезпечення осадження частинок матеріалу в сепаруючій частині необхідно розширити сепараційний простір. Діаметр сепарації простору повинен бути більше в 1,2 рази від діаметра решітки сушарки (нижньої частини).

$$D_C = D \cdot 1,2 = 2,5 \cdot 1,2 = 3\text{м}.$$

Тоді кут конусності обичайки складе:

$$\alpha = arctg\left(\frac{D_C - D}{\text{Н}_{\text{общ}}}\right) = arctg\left(\frac{3 - 2,5}{2}\right) = 7,13^0,$$

де $\text{Н}_{\text{общ}}$ *– загальна висота апарату над решіткою (див. розрахунок нижче).*

Діаметри штуцерів визначаємо за рівнянням:

$$d = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot \omega}}, \qquad (2.16)$$

де G – масова витрата теплоносія;

ρ – густина теплоносія;

ω – швидкість руху теплоносія в штуцері.

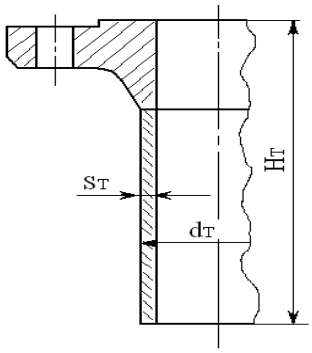

Рисунок 2.2 – Штуцер з приварним фланцем встик і виступом

Швидкості руху теплоносіїв [6]:

– для газового потоку 5-15 м / с.

Діаметр штуцера для входу і виходу повітря:

$$d_1 = \sqrt{\frac{11,09}{0,785 \cdot 15}} = 0,970 м.$$

Приймаємо для входу повітря 2 патрубка по 500 мм, а для виходу – один патрубок із діаметром 1000 мм.

2.3 Визначення висоти киплячого шару

Висота киплячого шару [11]:

$$H = \frac{1-\varepsilon_0}{1-\varepsilon_{CP}} \cdot H_0, \qquad (2.17)$$

де H_0 *– висота шару, що знаходиться у спокої; згідно з рекомендаціями [11] приймаємо* H_0*=0,2 м;*

ε_0 – порізність насипного шару, що знаходиться у спокої; ε_0 =0,4 [11];

ε_{CP} – середня порізність киплячого шару; визначаємо за формулою [11]:

$$\varepsilon_{CP} = \left(\frac{18\,\mathrm{Re}_P + 0,36\,\mathrm{Re}_P^2}{Ar} \right)^{0,21}, \qquad (2.18)$$

де Re_P – число Рейнольдса при робочій швидкості:

$$\mathrm{Re}_P = \frac{\omega_P d_Э \rho_{CP}}{\mu_{CP}}; \qquad (2.19)$$

$$\mathrm{Re}_P = \frac{2,3 \cdot 0,0013 \cdot 1,0}{2,2 \cdot 10^{-5}} = 135.$$

Тоді ε_{CP} дорівнює:

$$\varepsilon_{CP} = \left(\frac{18 \cdot 135 + 0,36 \cdot 135^2}{162090} \right)^{0,21} = 0,57.$$

Можемо визначити висоту киплячого шару:

$$H = \frac{1-0,4}{1-0,57} \cdot 0,2 = 0,28\text{м}.$$

Діаметри отворів в газорозподільній решітці визначаються за [7]:

$$d_0 = \frac{H}{80}, \qquad (2.20)$$

$$d_0 = \frac{0,28}{80} = 3,5 \cdot 10^{-3}\text{м}.$$

Діаметр отворів розподіленої решітки вибираємо із ряду нормальних розмірів, встановлених ГОСТ 6636-69.

Приймаємо діаметр отворів розподіленої решітки $d_0 = 3,6$ *мм*.

Число отворів у розподільній решітці визначаємо за рівнянням:

$$n = \frac{D^2 \cdot F_c}{d_0^2}, \qquad (2.21)$$

де F_c *– живий перетин решітки; приймаємо* F_c*=0,04 [7].*

$$n = \frac{2,5^2 \cdot 0,04}{0,0036^2} = 19290.$$

За рекомендацією [7] застосовуємо розташування отворів в розподільній решітці по кутах рівносторонніх трикутників. При цьому поперечний крок t' *і поздовжній крок* t'' *обчислюються по наступних співвідношеннях:*

$$t' = 0,95 d_0 F^{-0.5} = 0,95 \cdot 0,0036 \cdot 0,04^{-0.5} = 0,017 \ м; \qquad (2.22)$$

$$t'' = 0,866 t' = 0,866 \cdot 0,017 = 0,015 \ м. \qquad (2.23)$$

Висоту сепараційного простору сушарки з псевдозрідженим шаром H_c *приймають у 4–6 разів більше висоти псевдозрідженого шару [7]:*

$$H_c = 6 \cdot H = 6 \cdot 0,28 = 1,68 м. \qquad (2.24)$$

Загальна висота апарату над решіткою:

$$H_{общ} = H_c + H = 1,68 + 0,28 = 1,96 м. \qquad (2.25)$$

Приймаємо $H_{общ}$ *= 2 м.*

2.4 Гідравлічний опір апарату

Основну статтю загального гідравлічного опору сушарки становить гідравлічний опір псевдозрідженого шару і решітки:

$$\Delta P = \Delta P_{ПС} + \Delta P_{P}. \qquad (2.26)$$

Величину $\Delta P_{ПС}$ *знаходимо з рівняння:*

$$\Delta P_{\text{ПС}} = \rho_{ч}(1-\varepsilon)gH; \qquad (2.27)$$

$$\Delta P_{ПС} = 3640 \cdot (1-0,57) \cdot 9,81 \cdot 0,28 = 4300\text{Па}.$$

Мінімально допустимий опір решітки:

$$\Delta P_{P\min} = \frac{\Delta P_{\text{ПС}} \cdot K_{\omega}^{2} \cdot (\varepsilon - \varepsilon_0)}{(K_{\omega}^{2}-1)\cdot(1-\varepsilon_0)}; \qquad (2.28)$$

$$\Delta P_{P\min} = \frac{4300 \cdot 1,8^2 \cdot (0,57-0,4)}{(1,8^2-1)(1-0,4)} = 1760\text{Па}.$$

Гідравлічний опір обраної решітки:

$$\Delta P_{p} = \xi \cdot \left(\frac{w}{F_c}\right)^2 \cdot \frac{\rho_{cp}}{2} \qquad (2.29)$$

Коефіцієнт опору решітки приймаємо $\xi = 1,75$.

$$\Delta P_{P} = 1,75 \cdot \left(\frac{2,3}{0,04}\right)^2 \cdot \frac{1,0}{2} = 2890\text{Па}.$$

Загальний гідравлічний опір сушарки:

$$\Delta P = 4300 + 2890 = 7190 Па.$$

2.5 Вибір допоміжного обладнання

Розрахунок і вибір циклону Ц *(див. рис. 1.1). Циклони вибираються у залежності від необхідного ступеня уловлювання частинок, розміру і властивостей частинок, вологості, температури [11].*

Ретельне очищення повітря дозволяє заощадити продукт, оскільки унесення дрібних частинок матеріалу може сягати 10–15 % від загальної маси висушуваного матеріалу [8].

Ступінь очищення газу залежить від діаметра циклону і розміру часток. Найбільш поширеною конструкцією циклонів є циклон НІІОГАЗ серії ЦН-15 [7]. Схему такого циклону наведено на рис. 2.3.

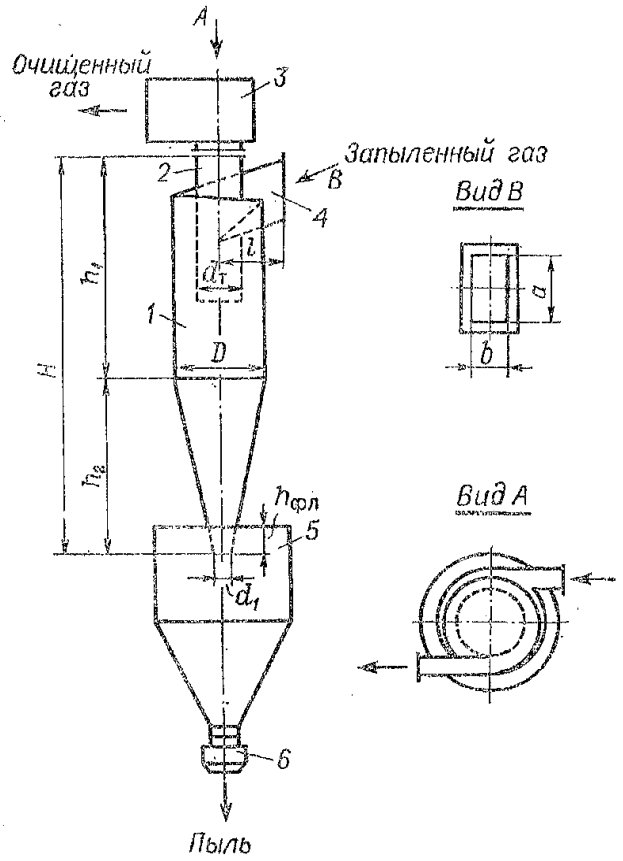

Рисунок 2.3 – Схема циклону ЦН-15

При розрахунку циклону визначають його діаметр:

$$D = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot \omega_y}}, \qquad (2.30)$$

де V – секундна витрата повітря;

ω_y – умовна швидкість повітря, яка знаходиться за рівнянням:

$$\Delta P = \xi \cdot \frac{\omega_y^2 \cdot Y_r}{2g}, \qquad (2.31)$$

де $\Delta P / Y_r$ залежить від продуктивності і знаходиться в межах 55-75. Приймаємо $\Delta P / Y_r$ = 70.

$$\omega_y = \sqrt{\frac{\Delta P \cdot 2 \cdot g}{Y_r \cdot \xi}}, \qquad (2.32)$$

де ξ = 100 – коефіцієнт місцевого опору циклонів ЦН-15 [7].

$$\omega_y = \sqrt{\frac{70 \cdot 2 \cdot 9,81}{100}} = 3,7 м/с\$$$

$$D = \sqrt{\frac{11,09}{0,785 \cdot 3,7}} = 1,95\ м.$$

Таким чином, приймаємо 2 циклони ЦН-15 діаметром 1000 мм.

Бункер для вологого матеріалу. *Об'єм бункеру визначаємо за формулою [7]:*

$$V_n = \frac{G_u \cdot \tau}{\rho_3 \cdot \varphi}, \qquad (2.33)$$

де G_u – кількість вологого матеріалу;

τ – *тривалість робочої зміни; приймаємо* τ *= 6 год. = 21600 с;*

ρ_3 – *щільність матеріалу;*

φ – *коефіцієнт заповнення ємності;* φ *=0,85–0,95=0,9.*

$$V_n = \frac{0,8 \cdot 21600}{3640 \cdot 0,9} = 5,3 \ м^3$$

Отже, приймаємо бункер таких розмірів:

– діаметр 1,4 м;

– висота 4,0 м;

– об'єм 6,2 $м^3$.

3 Розрахунки апарату на міцність та герметичність

3.1 Розрахунок на міцність корпусу сушарки

Розрахунок на міцність і стійкість ведемо згідно ГОСТ 14249-89.

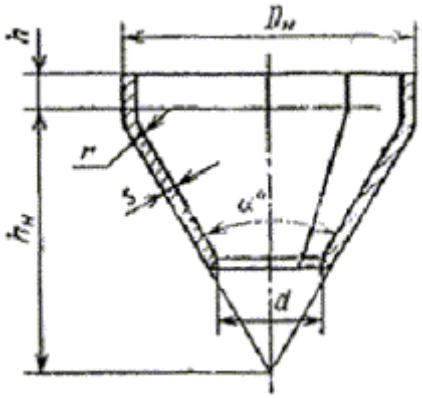

Рисунок 3.1 – Розрахункова схема корпусу сушарки

Визначаємо відношення визначальних параметрів:

$$\frac{\sigma}{p}\varphi = \frac{134}{0.1}\cdot 1 = 1340. \qquad (3.1)$$

Товщину стінки знаходимо за формулою [13]:

$$S_{кр} = \frac{pD}{2\cos\alpha[\sigma]\varphi}, \qquad (3.2)$$

де D=3,0 м – найбільший діаметр апарату;

P=0,1 МПа – тиск гріючої пари;

[σ]=134 МН/м^2 – допустима напруга для сталі ВСт3.

$$S_{кр} = \frac{0,1\cdot 3}{2\cdot\cos 7,13^0\cdot 134\cdot 1} = 0,001\text{м}.$$

Виконавча товщина стінки корпусу:

$$S = S_{KR} + c; \qquad (3.3)$$

$$S = 0{,}001+0{,}001=0{,}002м.$$

Згідно з рекомендаціями [13] приймаємо товщину обичайки S=3 мм.

Допустимий тиск для корпусу сушарки:

$$[p]=\frac{2\cos\alpha\cdot[\sigma]\cdot\varphi_p\cdot(s-c)}{D+2\cos\alpha(s-c)}; \qquad (3.4)$$

$$[p]=\frac{2\cos 7{,}13^0\cdot 134\cdot 1\cdot(3-1)\cdot 10^3}{3+2\cos 7{,}13\cdot(3-1)\cdot 10^3}=0{,}177\text{МПа}$$

Умову міцності корпусу виконано.

3.2 Розрахунок на міцність корпусу газорозподільного пристрою

Розрахункова товщина стінки в робочому стані

$$s_R=\frac{p_p D}{2[\sigma]\phi-p_p}, \qquad (3.5)$$

де D=2,5 м – найменший діаметр апарату.

$$s_R=\frac{0{,}1\cdot 2{,}5}{2\cdot 134\cdot 1-0{,}1}=9{,}3\cdot 10^{-4}\text{м}.$$

Виконавча товщина стінки корпусу:

$$S = S_R + c; \qquad (3.6)$$

$$S = 0{,}00093+0{,}001=0{,}00193\ м.$$

Також приймаємо товщину обичайки S=3 мм.

Допустимий внутрішній надлишковий тиск визначимо за формулою:

$$[p_П] = \frac{2[\sigma]\varphi(S-C)}{D+(S-C)}; \qquad (3.7)$$

$$[p_П] = \frac{2 \cdot 134 \cdot 1{,}0 \cdot (3-1) \cdot 10^{-3}}{2{,}5 + (3-1) \cdot 10^{-3}} = 0{,}214 МПа.$$

Оскільки $[p_П]$*>P (0,214 >0,1) – умова виконується, а отже, міцність забезпечується.*

Перевіряємо умови застосовуваності формул:

$$\frac{S-C}{D} \le 0{,}1;$$

$$\frac{3-1}{2500} = 0{,}0008 < 0{,}1.$$

3.3 Розрахунок і вибір опори

Вибираємо опори-лапи з підкладним листом. Розрахунок на міцність обичайок від впливу опорних навантажень ведемо згідно ГОСТ 26202-84.

Маса заповненого апарату:

$$M = M_{мет} + M_З, \qquad (3.8)$$

де $M_{мет}$ *– маса порожнього апарату;*

$M_З$ *– маса матеріалу, що знаходиться в апараті.*

Масу металу в апараті наближено приймаємо рівною масі циліндра, діаметр якого дорівнює середньому діаметру корпусу апарату $D_{ср} = (D_1 + D_2)/2 = (2{,}5+3)/2 = 2{,}75 м$*, а товщина становить L = 3 мм.*

$$M'_{мет} = V \cdot \rho = \pi D \cdot S \cdot L \cdot \rho = 3{,}14 \cdot 2{,}75 \cdot 3 \cdot 10^{-3} \cdot 3{,}5 \cdot 7874 = 714 кг. \qquad (3.9)$$

Із урахуванням розподільчої решітки, кришки та днища маса апарату буде $M_{мет} = M'_{мет} \cdot 1,5 = 1070$ *кг*.

$$M = 1071 + 890 = 1960 \text{ кг}.$$

Вага апарату складе:

$$G = M \cdot g. \qquad (3.10)$$

Тоді:

$$G = 1960 \cdot 9,81 = 19237 H \approx 19,2 кН.$$

Навантаження на одну опору визначимо за формулою:

$$Q = \frac{\lambda_1 \cdot G}{Z} + \frac{\lambda_2 \cdot M}{D + 2 \cdot e}, \qquad (3.11)$$

де $e = 0,5(b + f_{\max} + s_0 + s_н)$;

$f_{\max}, b$ *– за табл. 14.1 [12];*

$s_0 = s - c - c_1$ *– товщина стінки апарату в кінці терміну служби;*

s *– виконавча товщина стінки апарату;*

c *– прибавка для компенсації корозії;*

c_1 *– додаткова надбавка.*

Z *– число опор, Z=3;*

λ_1, λ_2 *– коефіцієнти, що залежать від числа опор z=3 тоді* $\lambda_1 = 1$ *[10];*

G *– вертикальна сила;*

M *– перекидаючий момент, M =0 [12];*

D *– внутрішній діаметр апарату.*

Приймаємо перекидаючий момент рівним нулю, тоді

$$Q = \frac{1 \cdot 19,2}{3} = 6,4 \text{ кН}.$$

Приймаємо виліт опори $l = 0,11м$ *і відношення вильоту лапи до висоти ребра* $l / h = 0,5$.

Тоді:

$$h = \frac{l}{0,5} = \frac{0,11}{0,5} = 0,22м.$$

Розрахункову товщину ребра лапи при $k = 0,6$ *[12] визначаємо за формулою:*

$$s_p = \frac{2,24 \cdot Q}{k \cdot z \cdot \sigma \cdot l} = \frac{2,24 \cdot 0,0064}{0,6 \cdot 2 \cdot 134 \cdot 0,11} \approx 0,00089 мм. \qquad (3.12)$$

де z *– кількість ребер в лапі-опорі;* z *=2 [12].*

Відношення $l/13 = 0.11/13 = 0,0085 > s_p = 0,00089$ *тому зменшуємо значення* $k_1 = 0,2$, *при якому* $l / s = 20$.

Перераховуємо:

$$s_p' = s_p \cdot \frac{k}{k_1} = 0,00089 \frac{0,6}{0,2} = 0,0049м > \frac{0,11}{0,25} = 0,0044м. \qquad (3.13)$$

Приймаємо з урахуванням на збільшення і корозію товщину ребра s=6 мм.

Ребра приварюються до корпусу суцільним круговим швом з катетом $h_ш = 3мм$.

Загальна довжина зварного шва становить:

$$L_ш = 4(h + s) = 4(0,22 + 0,006) = 0,904м. \qquad (3.14)$$

Міцність зварного шва при $\tau_{сд} = 80МН / м^2$ *перевіряємо за формулою:*

$$Q = 0{,}0063 MH < 0{,}7 L_{ш} h_{ш} \tau_{сд} = 0{,}7 \cdot 0{,}904 \cdot 0{,}003 \cdot 80 = 0{,}152 MH \qquad (3.15)$$

Міцність забезпечено.

Вибираємо стандартний тип лапи з накладними листом:

Опора 1 – 1000 ОСТ 26 – 665 – 79 (рис. 3.2).

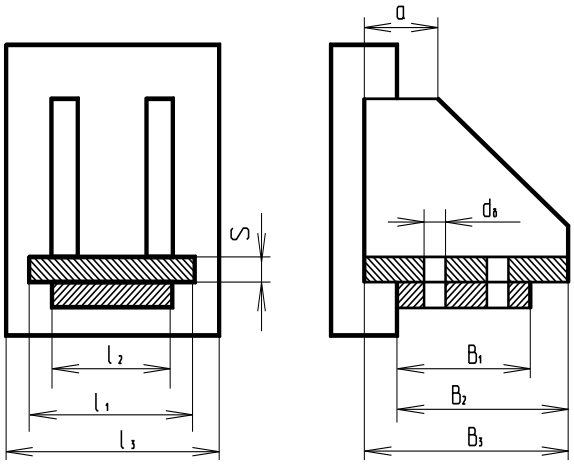

Рисунок 3.2 – Ескіз опори-лапи

4 Монтаж і ремонт апарату киплячого шару

4.1 Монтаж апарату [14, 15]

Роботи по будівництву споруд та будівель доручають будівельній організації – генеральному підрядчику. Ця організація долучає в якості субпідрядників спеціалізовані організації для виконання монтажних, сантехнічних, електротехнічних, теплоізоляційних та інших робіт.

Для виконання монтажних робіт розробляється проект проведення робіт (ППР), який містить:

- *відомості про об'єми монтажних робіт та кошторисно-фінансові розрахунки за трудовими затратами;*
- *об'єми виготовлення металоконструкцій і трубопроводів, а також трудові витрати на їх виготовлення і монтаж;*
- *технічні рішення по монтажу обладнання із застосуванням вантажопідйомних кранів і засобів механізації;*
- *графік суміщеного проведення будівельних, монтажних і спеціальних робіт, що виконуються всіма організаціями на об'єкті; робочі креслення металоконструкцій і трубопроводів, а також схеми і технологічні карти на послідовність монтажу металоконструкцій і трубопроводів;*
- *перелік монтажного обладнання, механізмів, інструментів та матеріалів, необхідних для виконання монтажних робіт;*
- *креслення на необхідні помости, ліса, драбини та площадки для виконання робіт на висоті;*
- *перелік заходів з техніки безпеки і охорони праці.*

Монтаж установок киплячого шару проводять за допомогою самохідних стрілових кранів. Після установки обладнання на фундамент проводять вивірку за відхиленнями від проектних осей і відміток в горизонтальному і вертикальному напрямках. Вибір способу провадження монтажних робіт і використовуваних механізмів залежить від конструкції, маси і габаритів обладнання.

При монтажі апаратури застосовують наступні методи (рис. 4.1).

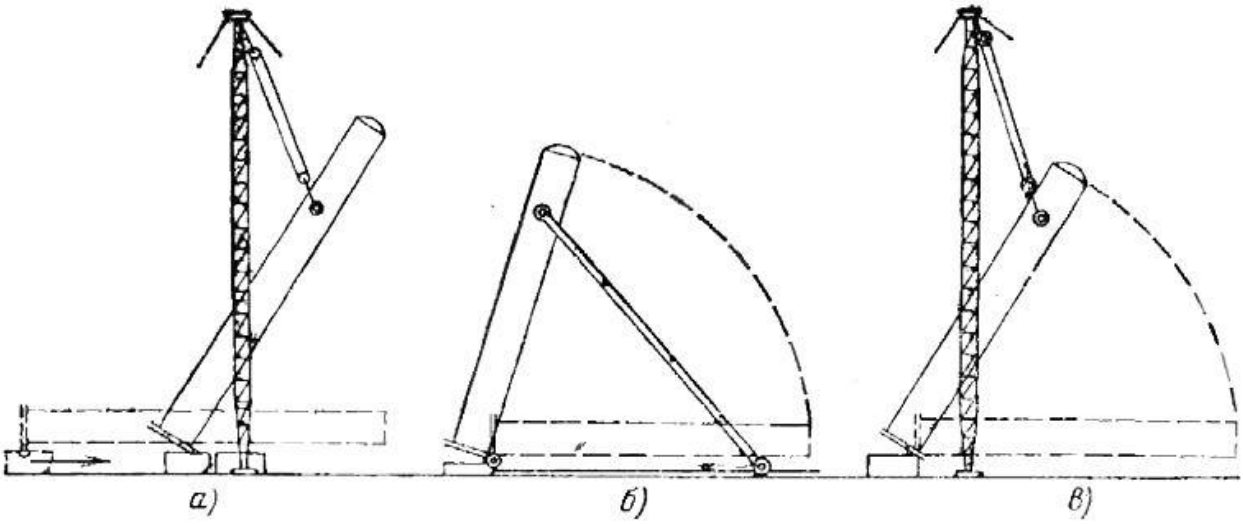

Рисунок 4.1 – Схеми монтажу: а – методом підйому і ковзання; б – методом витискання; в – методом повороту навколо шарніра

Метод ковзання без відриву від землі *застосовується для установки вертикальних апаратів за допомогою самохідних кранів або щогл. Апарат підводиться за монтажні пристрої, закріплені на корпусі вище центру ваги (рис. 4.1, а). Нижня частина апарату, укладена на сани або візок, при підйомі підтягують трактором або лебідкою до фундаменту. Вантажопідйомність крану повинна бути не менше маси апарату.*

Метод витискання *(рис. 4.1, б) – різновид методу повороту навколо шарніра. Штовхачі закріплені за допомогою шарніра до корпусу апарата. Нижні кінці штовхачів встановлюються на колії. При роботі лебідки кінці штовхачів рухаються по рейках і піднімають апарат до вертикального положення. Цей метод застосовується в обмежених умовах, коли не можна використовувати вантажопідйомні крани і неможливо встановити щогли з розтяжками.*

Метод повороту навколо шарніра *(рис. 4.1, в). Шарнір розташований поблизу фундаменту і закріплений до нього. Нижній кінець апарату з'єднаний з шарнірним пристроєм. При підйомі за верхівку апарат повертається на ша-*

рнірі і при досягненні вертикального положення своєю основою встановлюється на фундамент. Такий спосіб дозволяє піднімати апарати значно більшої маси в порівнянні з вантажопідйомністю монтажних кранів або механізмів.

Послідовність подачі деталей і вузлів сушарки в монтажну зону відображається 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. Складання 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 металоконструкцію, вивірки його, випробуванню на міцність і щільність з'єднань (швів, фланців, прокладок) і приєднання його до комунікацій.

Установку на фундамент можна проводити будь-яким наявним механізмом достатньої вантажопідйомності: мостовими кранами, тельферами, електроталями, 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 вивірці по осях, висотним відміткам і орієнтації штуцерів і патрубків щодо комунікацій.

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

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

Основна увага при монтажі має приділятися 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 змістити зі свого місця (при плоских фланцях), її прив'язують до фланця нитками.

Мідні і сталеві прокладки повинні бути прокалені і очищені від окалини, бруду та іржі. Поверхні металевих прокладок не повинні мати раковин, задирів, глибоких подряпин і інших пошкоджень. Ширина металевих прокладок 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 °С до їх розм'якшення.

Болти фланцевих з'єднань повинні бути справними, не мати зірваних і пошкоджених ниток різьблення; у головок болтів не допустимі підрізи і тріщини в місці переходу в тіло болта. Болти слід затягувати рівномірно спочатку хрестоподібно під кутом 90°, 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, які відчувають вібрації, слід ставити пружинні шайби).

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

Змонтований апарат піддається гідравлічним випробуванням та передається у експлуатацію.

4.2 Ремонт апарату [15]

У 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. Передбачено капітальний і технологічний ремонти обладнання.

Технологічний ремонт *– це ремонт, який здійснюється в процесі експлуатації для забезпечення працездатності обладнання, що складається в заміні і відновленні окремих його частин і їх регулювання. Заміна сальникової набивки в вузлах запірної арматури і печі грануляційного апарату.*

Капітальний ремонт *– це ремонт, який здійснюється з метою відновлення ресурсу обладнання з заміною або відновленням будь-яких його частин, включаючи базові, їх регулювання.*

Технічне обслуговування (ТО) *– це комплекс заходів, спрямованих на підтримку працездатності основного і допоміжного технологічного обладнання. ТО складається з комплексу робіт по виконанню операцій, пов'язаних з пуском і зупинкою апаратів, щомісячним відходом і наглядом за механізмами, а також ремонтів і направлено на підтримку обладнання в робочому стані.*

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

Розглянемо найбільш розповсюджені неполадки в роботі сушарки киплячого шару, а також способи їх усунення.

1. Не відбувається подачі матеріалу в апарат.

Причини неполадок: *зупинка живильника або конвеєра через не справність електродвигуна.*

Способи усунення: *ліквідувати несправність живильника, конвеєра або бункера та відновити подачу матеріалу.*

2. Різке падіння рівня в збірниках при нормальній подачі.

Причини неполадок: *забивка комунікацій або зупинка насоса.*

Способи усунення: *очистити та промити комунікації, ліквідувати несправність насосу.*

3. Підвищення рівня в збірнику.

Причини неполадок: *несправність насосу.*

Способи усунення: *налагодити роботу насосу.*

4. Підвищений гідравлічний опір шару гранул в апараті.

Причини неполадок: *збільшення висоти киплячого шару. Утворення крупних агломератів та гранул.*

Способи усунення: *перевірити режим роботи апарату та налагодити роботу розвантажувального патрубка.*

5. Відрив полум'я в топці.

Причини неполадок: *швидкість газоповітряної суміші на виході з топки більше швидкості поширення полум'я.*

Способи усунення: *зменшити подачу газу та первинного повітря в топці.*

6. Спостерігається проскакування полум'я в пальник топки апарата.

Причини неполадок: *швидкість газоповітряної суміші на виході з топки менше швидкості поширення полум'я.*

Способи усунення: *збільшити подачу газу та первинного повітря.*

7. Зниження інтенсивності перемішування та висоти киплячого шару в апараті.

Причини неполадок: *забивка газорозподільної решітки; несправність компресора, ресивера.*

Способи усунення: *зупинити апарат та прочистити газорозподільну решітку; перевірити роботу компресора та ресивера.*

8. Підвищення температури димових газів на виході з топок.

Причини неполадок: *нестача первинного та вторинного повітря в топці.*

Способи усунення: *відрегулювати подачу первинного та вторинного повітря.*

9. Підвищена вологість продукту на виході з апарату.

Причини неполадок: *недостатня подача або температура теплоносія.*

Способи усунення: *відрегулювати подачу та температуру теплоносія.*

10. Механічні неполадки обладнання.

Причини неполадок: *зношування окремих деталей, корпусів апаратів тощо; несвоєчасний планово-попереджувальний ремонт; погане обслуговування.*

Способи усунення: *своєчасно проводити заміну деталей та дотримуватись графіку планово-попереджувального ремонту.*

Капітальний ремонт сушарки киплячого шару складається з наступних операцій:

1. Роз'єднують фланцеві стики, знімається трубна обв'язка, оглядове скло, кришки люків, кришку апарату, верхню та нижню секції апарату, перфоровану газорозподільчу решітку.

2. Встановлюють заглушки. Очищують та промивають апарат і газорозподільчу решітку. Розбраковують деталі, дефектні деталі замінюються.

3. Виготовляють комплект прокладок. Встановлюють перфоровану решітку, прокладки, нижню частину апарату, верхню кришку апаратів, оглядові вікна, люки.

4. Знімають заглушки. З'єднують фланцеві стики та встановлюють трубну обов'язку. Випробовують апарат та здають його в експлуатацію, після заповнення відповідних ремонтних документів.

5 Охорона праці

Класифікація приміщень за ступенем небезпеки ураження електричним струмом.

Персонал, обслуговуючий електрообладнання, може потрапити під напругу внаслідок несправності, аварії або своїх помилкових дій. Безпека обслуговування електрообладнання залежить від його робочої напруги, умов експлуатації і характеру середовища приміщення, в якому воно встановлене.

Значною мірою безпека обслуговування електрообладнання залежить від умов середовища приміщення, в якому воно встановлене, бо ці умови впливають на стан ізоляції і опір шкіри людини [16].

З точки зору стану навколишнього середовища виробничі приміщення можуть бути сухі, вологі, сирі, особливо сирі, жаркі, пилові з струмопровідної і не струмопровідним пилом, з хімічно активної чи органічної середи. У всіх приміщеннях, крім сухих, опір тіла людини зменшується [17].

Підвищена вологість і висока температура повітря під час роботи з технічним електрообладнанням хімічних лабораторій, пари кислот і лугів можуть руйнувати ізоляцію проводів, різко погіршуючи її діелектричні властивості, і, отже, сприяють переходу напруги на неструмопровідні частини електроустаткування.

З другого боку висока температура повітря сприяє рясному потовиділенню, а висока відносна вологість сприяє поганому випару поту із шкіри людини і, отже, зволоженню шкіри людини в процесі роботи. А опір зволоженої шкіри різко знижує загальний електричний опір тіла людини, а це в свою чергу збільшує струм через тіло людини і небезпеку його ураження.

Струмопровідні підлоги - земляні, бетонні, залізобетонні також збільшують небезпеку ураження людини електричним струмом при роботі і технічному обслуговуванні і приладового устаткування виробничих підприємств.

Технічне обслуговування електроустановок на підприємствах часто виконується за таких умов, де можливий одночасний випадковий дотик, з одного боку, до струмопровідної частини, а з другого, до металевих частин електроустаткування, що має добре з'єднання з землею. Зазначені вище умови визначають ступінь небезпеки ураження людини електричним струмом.

"Правила улаштування електроустановок. (ПУЕ-86)" усі виробничі приміщення стосовно небезпеки ураження людей електричним струмом поділяють на три класи:

1) з підвищеною небезпекою;

2) особливо небезпечні;

3) без підвищеної небезпеки.

***До приміщень з підвищеною небезпекою** відносяться приміщення, у яких є хоча б одна з наступних умов, що створюють підвищену небезпеку ураження людини електричним струмом:*

- вогкість чи струмопровідний пил. Вогкими називаються приміщення, у яких відносна вологість тривалий час перевищує 75 %. Курними (зі струмопровідним пилом) називаються приміщення, у яких в процесі виробництва виділяється технологічний пил у такій кількості, що він може осідати на проводах, проникати усередину машин, апаратів та ін.;

- струмопровідні підлоги - металеві, земляні, залізобетонні, цегельні;

- висока температура. Жаркими називаються приміщення, у яких під впливом різних теплових випромінювань температура перевищує постійно чи періодично (більше однієї доби) +35°С;

- можливість одночасного дотику людини до металоконструкції будинків, які зв'язані з землею, технологічних апаратів, механізмів чи іншого устаткування, а також до металевих корпусів електроустаткування [18].

Приклади: зони обслуговування транспортних засобів, неопалювані горища і підвали, приміщення для зварювальних і термічних робіт, ремонтні цехи, вугільні млини і т. д. [19].

До особливо небезпечних приміщень *відносяться приміщення з наявністю однієї з наступних умов, що створюють особливу небезпеку:*

- особлива вогкість. Особливо вогкими називаються приміщення, у яких відносна вологість повітря близька до 100 %; стіни, стеля і предмети вологі;

- хімічно активне чи органічне середовище. Приміщеннями з хімічно активним чи органічним середовищем називаються приміщення, у яких постійно чи протягом тривалого часу містяться агресивні пари, гази, рідини, утворюються відкладання чи цвіль, що руйнують ізоляцію і струмопровідні частини електроустаткування;

- одночасно дві чи більше умов підвищеної небезпеки. До таких приміщень і умов на підприємствах медичної та хімічної промисловості можуть відноситься: лабораторії хімічного аналізу, підприємства по виробництву агресивних речовин та ін. [18].

Оскільки наявність небезпечних умов впливає на наслідки випадкового доторкання до струмопровідних частин електроустаткування, то для ручних переносних світильників, місцевого освітлення виробничого устаткування та електрифікованого ручного інструменту в приміщеннях з підвищеною небезпекою допускається напруга живлення до 42 В, а в особливо небезпечних приміщеннях – до 12 В [20].

До приміщень без підвищеної небезпеки *відносяться приміщення, у яких відсутні умови, що створюють підвищену чи особливу небезпеку. До таких приміщень відносяться приміщення з належними метеорологічними умовами, з дерев'яними підлогами, регульованою температурою повітря. Це приміщення адміністративно-управлінські, конторські і житлові кімнати [18].*

Особливості їх характеристики такі [19]:

- робота відбувається при нормальній температурі до +5 градусів і відносній вологості повітря до 75% (згідно з правилами улаштування електроустановок (ПУЕ);

- підлогові покриття виготовлені і не струмопровідних матеріалів: плитка, деревина, лінолеум та аналогічні;

- мінімум електроустановок, що підлягають заземленню;

- відсутні складні металеві конструкції;

- в повітрі і на поверхнях не присутній токопроводящая пил;

- для таких приміщень характерні великі площі і низький коефіцієнт заповнення простору;

- допускається робота з електроапаратами напругою 0,23 кВ.

При наявності в приміщенні одного з чинників підвищеної небезпеки, таке приміщення відноситься до приміщень підвищеної небезпеки електротравм.

При наявності в приміщенні одночасно двох чинників підвищеної небезпеки або одного чинника особливої небезпеки, приміщення вважається особливо небезпечним.

З наведеного видно, що класифікація приміщень за небезпекою електротравм враховує тільки особливості цих приміщень, стан їх середовища і не враховує електротехнічних параметрів електроустановок.

Категорія приміщень є одним з основних чинників, які визначають вимоги щодо виконання електроустановок, безпечної їх експлуатації, величини напруги, заземлення (занулення) електроустановок. Умови поза приміщеннями прирівнюються до особливо небезпечних [21].

Наведену класифікацію використовують [22]:

- при виборі відповідного класу захисту електрообладнання, що застосовується в даному приміщенні (захищеного відповідно або від пилу, води, високої температури, агресивних або від вибухопожежонебезпечних концентрацій газів);

- при виборі відповідного виду захисту людини від ураження електричним струмом (наприклад, застосування або незастосування захисту від непрямого дотику при відповідному напрузі);

- при виборі виду і якості ізоляції електропроводки, кабелів, способу їх прокладки та захисту від агресивних факторів (відкрита проводка, прихована, в трубах, коробах тощо);

- при виборі класу захисту переносних електроприймачів, світильників, величини живлячої їх напруги і в багатьох інших випадках.

Наприклад, в умовах підвищеної електронебезпеки згідно з вимогами ПУЕ напруга, що застосовується для живлення електричних інструментів, світильників місцевого освітлення, не повинна перевищувати 50 В змінного і 120 В постійного струму. Або, наприклад, штепсельні розетки з номінальним струмом не більше 20 А, до яких можуть бути підключені електроустановки, використовувані в приміщеннях підвищеної або особливої небезпеки, а також зовнішні установки повинні бути захищені пристроями захисного відключення з номінальним вимикаючим диференціальним струмом не більше 30 мА [22].

Література

1. *Вікіпедія. Хлорид натрію [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://uk.wikipedia.org/wiki/Хлорид_натрію*
2. *Мала гірнича енциклопедія : у 3 т. / за ред. В. С. Білецького. – Д. : Східний видавничий дім, 2004 – 2013.*
3. *Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра / укладачі: Р. О. Острога, М. С. Скиданенко, Я. Е. Михайловський, А. В. Іванія. – Суми : Сумський державний університет, 2019. – 32 с.*
4. *Запаси нерудних корисних копалин в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://web.archive.org/web/20110914164040/ http://free.msoffice.com.ua/viewfree.php?diplomID=10373&pageid=2*
5. *Лыков М. В. Сушка в химической промышленности / М. В. Лыков. – М. : Химия, 1970. – 432 с.*
6. *Основные процессы и аппараты химической технологии : Пособие по проектированию / Под ред. Дытнерского Ю. И. – М. : Химия, 1983. – 272 с.*
7. *Павлов К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии : Учебное пособие для вузов / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. – 10-е изд., перераб. и доп. – Л. : Химия, 1987. – 576 с.*
8. *Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М. : Химия, 1973. – 752 с.*
9. *Гинзбург А. С. Сушка пищевых продуктов в кипящем слое / А. С. Гинзбург, В. А. Резчиков. – М. : Пищевая промышленность, 1966. – 200 с.*
10. *Врагов А. П. Матеріали до розрахунків процесів та обладнання хімічних і газонафтопереробних виробництв: Навчальний посібник / А. П. Врагов, Я. Е. Михайловський, С. І. Якушко. – За ред. А. П. Врагова. – Суми : Вид-во СумДУ, 2008. – 170 с.*
11. *Лебедев П. Д. Расчет и проектирование сушильных установок / П. Д. Лебедев. – М.–Л. : Госэнергоиздат, 1963. – 320 с.*

12. *Лащинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов : Справочник / А. А. Лащинский. – Л. : Машиностроение, 1981. – 382 с.*
13. *Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств: Примеры и задачи : Учеб. пособие для студентов вузов / М. Ф. Михалев, Н. П. Третьяков, А. И. Мильченко, В.В. Зобнин; Под общ. ред. М. Ф. Михалева. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1984. – 301 с.*
14. *Гайдамак К. М. Монтаж оборудования предприятий химической и нефтехимической прошышленностей / К. М. Гайдамак, Б. А. Тыркин. – М. : Высшая школа, 1974. – 286 с.*
15. *Фарамазов С. А. Ремонт и монтаж оборудования химических и нефтеперерабатывающих заводов / С. А. Фарамазов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1980. – 312 с.*
16. *Організація безпечної роботи електроустановок [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://oppb.com.ua/news/organizaciya-bezpechnoyi-roboty-elektroustanovok*
17. *Конспект лекцій з дисципліни « Охороні праці в галузі» для студентів спеціальностей 7,8.05070202 «Електричні системи і комплекси транспортних засобів», 7,8.05070204 «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод» та 7.05070108 «Енергетичний менеджмент» денної та заочної форм навчання / Укладач: к.т.н., доц. Стрежекуров Е. Є. – Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2013. – 46 с.*
18. *Класифікація приміщень за ступенем ураження електричним струмом [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://www.stud24.ru/life-safety/klasifkacya-primshhen-za-stupenem-urazhennya/298945-894073-page1.html*
19. *Особливо небезпечні приміщення ПУЕ. Класифікація приміщень за ступенем небезпеки ураження електричним струмом [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://electriced.ru/uk/electrical-safety/especially-*

dangerous-rooms-pu-classification-of-premises-by-the-degree-of-danger-of-electric-shock/

20. *Основи електробезпеки [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://dppc.ru/data/attachments/library/tema-8-osnovy-elektrobezpeky-8909.pdf*
21. *Електробезпека [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://vinodelie.at.ua/oxopona/lekcii/tema_3.2.pdf*
22. *Класифікація приміщень за ступенем електроопасності [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://stud.com.ua/32689/bzhd/klasifikatsiya_primischen_stupenem_elektroopasnosti*