

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
Кафедра "Процеси та обладнання хімічних  
і нафтопереробних виробництв"

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Зав. кафедри

\_\_\_\_\_   
підпис, дата

**Кваліфікаційна робота бакалавра**  
**зі спеціальності 133 "Галузеве машинобудування"**  
**освітня програма "Комп'ютерний інжиніринг**  
**обладнання хімічних виробництв"**

Тема роботи: Виробництво хлориду натрію. Розробити сушарку киплячого шару

Виконав:  
студент групи ХМдн – 64п  
Захарін Михайло Петрович

\_\_\_\_\_   
підпис

Залікова книжка

№ \_\_\_\_\_

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

**СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**  
**Кафедра процесів та обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв**

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

Курс 2 Група ХМдн – 64п

**ЗАВДАННЯ**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Студент Захарін Михайло Петрович

1 Тема проекту: Виробництво хлориду натрію. Розробити сушарку киплячого шару

2 Вихідні дані: Розробити апарат псевдо зрідженого шару для сушіння кристалів солі NaCl у кількості 2900 кг/год. за вологим матеріалом. Вологість матеріалу, % на заг. масу: початкова – 7,6; кінцева – 0,6. Температура матеріалу, °C: початкова – 20; кінцева – 60. Теплоносій – повітря з початковою температурою 110°C. Розмір кристалів NaCl, мм: максимальний – 2; мінімальний – 0,5. Теплові втрати прийняти на рівні 10 %.

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

- |                                                |            |
|------------------------------------------------|------------|
| 1. <u>Технологічна схема установки</u>         | – 1,0 арк. |
| 2. <u>Складальний кресленик апарату</u>        | – 1,0 арк. |
| 3. <u>Складальний кресленик кришки апарату</u> | – 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 2019 р.

Керівник

\_\_\_\_\_

підпис

доцент Юхименко М.П.

## **РЕФЕРАТ**

*Пояснювальна записка: 50 с., 8 рис., 1 додаток, 22 джерела.*

*Графічні матеріали: технологічна схема установки виробництва хлориду натрію, складальний кресленник сушарки киплячого шару, складальний кресленник кришки апарату – усього 3 аркуша графічної частини формату А1.*

*Тема кваліфікаційної роботи: «Виробництво хлориду натрію. Розробити сушарку киплячого шару».*

*У роботі наведено теоретичні основи і особливості процесу сушіння у зваженому шарі частинок, обґрунтовано вибір матеріалу для виготовлення основних деталей та вузлів апарату; виконано розрахунки матеріального і теплового балансів процесу, технологічні розрахунки процесу; визначено геометричні розміри сушарки; розраховано та підібрано допоміжне обладнання; виконано розрахунки апарату на міцність та герметичність; розглянуто особливості монтажу і ремонту апарату киплячого шару. Окремим розділом представлена «Охорона праці», де розглянуто класифікацію приміщень за ступенем небезпеки ураження електричним струмом.*

*Ключові слова: ВИРОБНИЦТВО, ХЛОРИД НАТРІЮ, СУШАРКА, КИПЛЯЧИЙ ШАР, МОНТАЖ, РЕМОНТ, ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ.*

## Зміст

	С.
<b>Вступ</b>	<b>5</b>
<b>1 Технологічна частина</b>	<b>6</b>
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
<b>2 Технологічні і проектні розрахунки</b>	<b>17</b>
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
<b>3 Розрахунки апарату на міцність та герметичність</b>	<b>30</b>
3.1 Розрахунок на міцність корпусу сушарки	30
3.2 Розрахунок на міцність корпусу газорозподільного пристрою	31
3.3 Розрахунок і вибір опори	32
<b>4 Монтаж і ремонт апарату киплячого шару</b>	<b>36</b>
4.1 Монтаж апарату	36
4.2 Ремонт апарату	39
<b>5 Охорона праці</b>	<b>43</b>
<b>Література</b>	<b>48</b>
<b>Додаток – Специфікації до складальних креслеників</b>	

					<b>ПОХНВ.С.00.00.00 ПЗ</b>								
	<b>Зм</b>	<b>Лист</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>	Виробництво хлориду натрію. Сушарка киплячого шару Пояснювальна записка			<b>Літ.</b>	<b>Лист</b>	<b>Листів</b>		
	Розроб.	Захарін							<b>к</b>	<b>р</b>	<b>б</b>	4	50
	Перевір.	Юхименко											
	Т.контр.												
	Н. контр.												
	Затв.	Склабінський				СумДУ, ХМдн – 64п							

## **Вступ**

*Хлорид натрію (NaCl, у побуті – «сіль») – тверда, прозора (у чистому вигляді) хімічна сполука з іонною кристалічною ґраткою, солонка 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 зветься 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 грюючих 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°C. Процес сушіння закінчується, коли вологість продукту становить не більше 0,6 % мас.*


Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

**ПОХНВ.С.00.00.00 ПЗ**

Лист

6

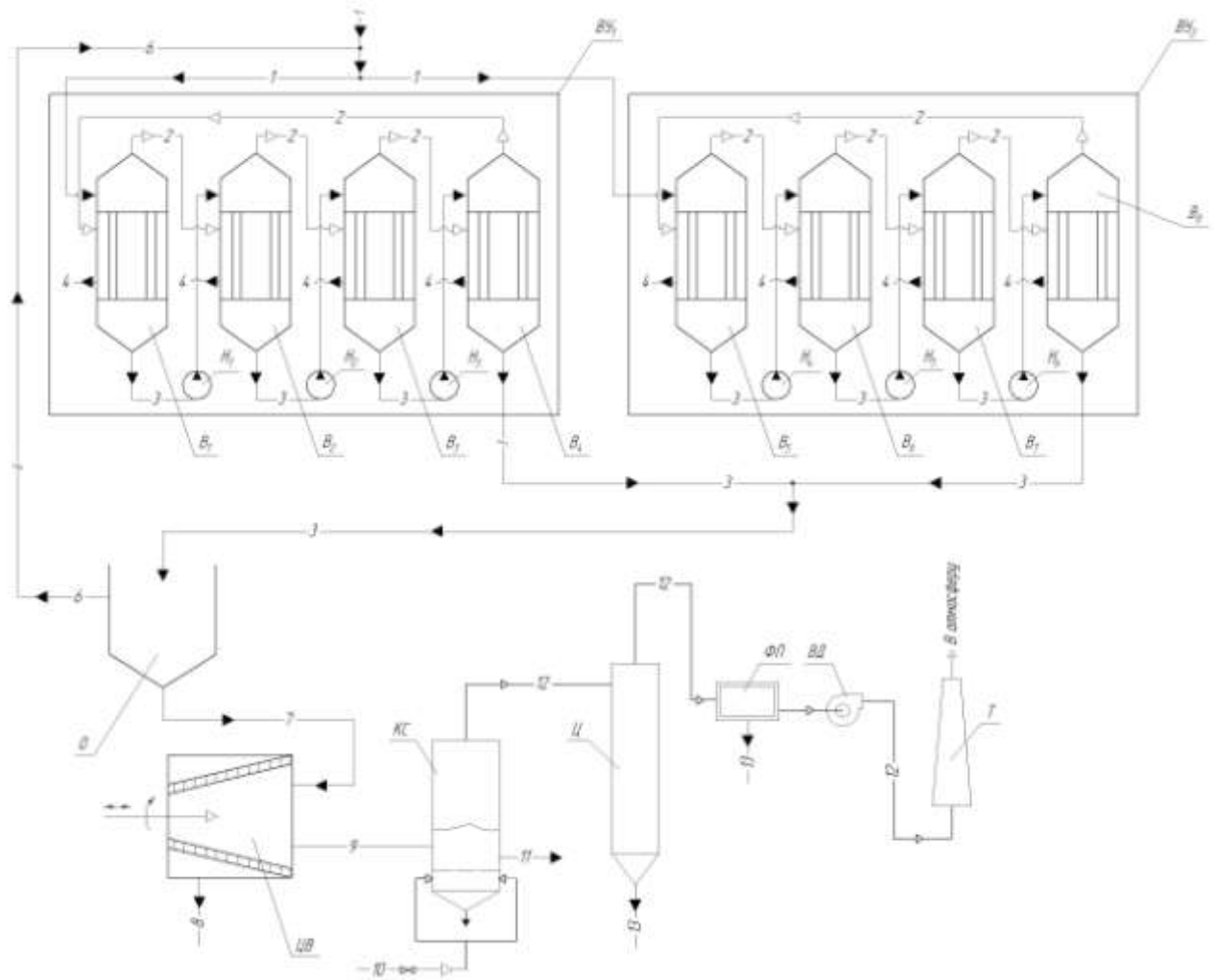


Рисунок 1.1 – Технологічна схема установки виробництва хлориду натрію: ВУ1-2 – випарні установки; В1-8 – випарні апарати; О – відстійник; ЦВ – центрифуга вібраційна; КС – сушарка киплячого шару; Ц – циклон; ФП – фільтр патронний; ВД – повітродувка; Т – вихлопна труба

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 фільтрі. Пройшовши двостадійне очищення, повітря, за допомогою вентилятора, 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, сублимаційні 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  $P_n$ . Волога, що міститься у матеріалі, відповідає певному тиску водяної пари  $P_m$ , званому тиском водяної пари у вологому матеріалі.

При контакті матеріалу з вологим повітрям можливі три стани системи:

1) тиск водяної пари у вологому матеріалі  $P_m$  більше, ніж його парціальний тиск в навколишньому повітрі або газі, тобто  $P_m > P_n$ . У цьому випадку відбувається десорбція вологи з матеріалу в навколишнє середовище, тобто процес сушіння. Тиск водяної пари в матеріалі  $P_m$  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  $P_n > P_m$ . У цьому випадку відбувається сорбція вологи матеріалом, тобто процес зволоження матеріалу;





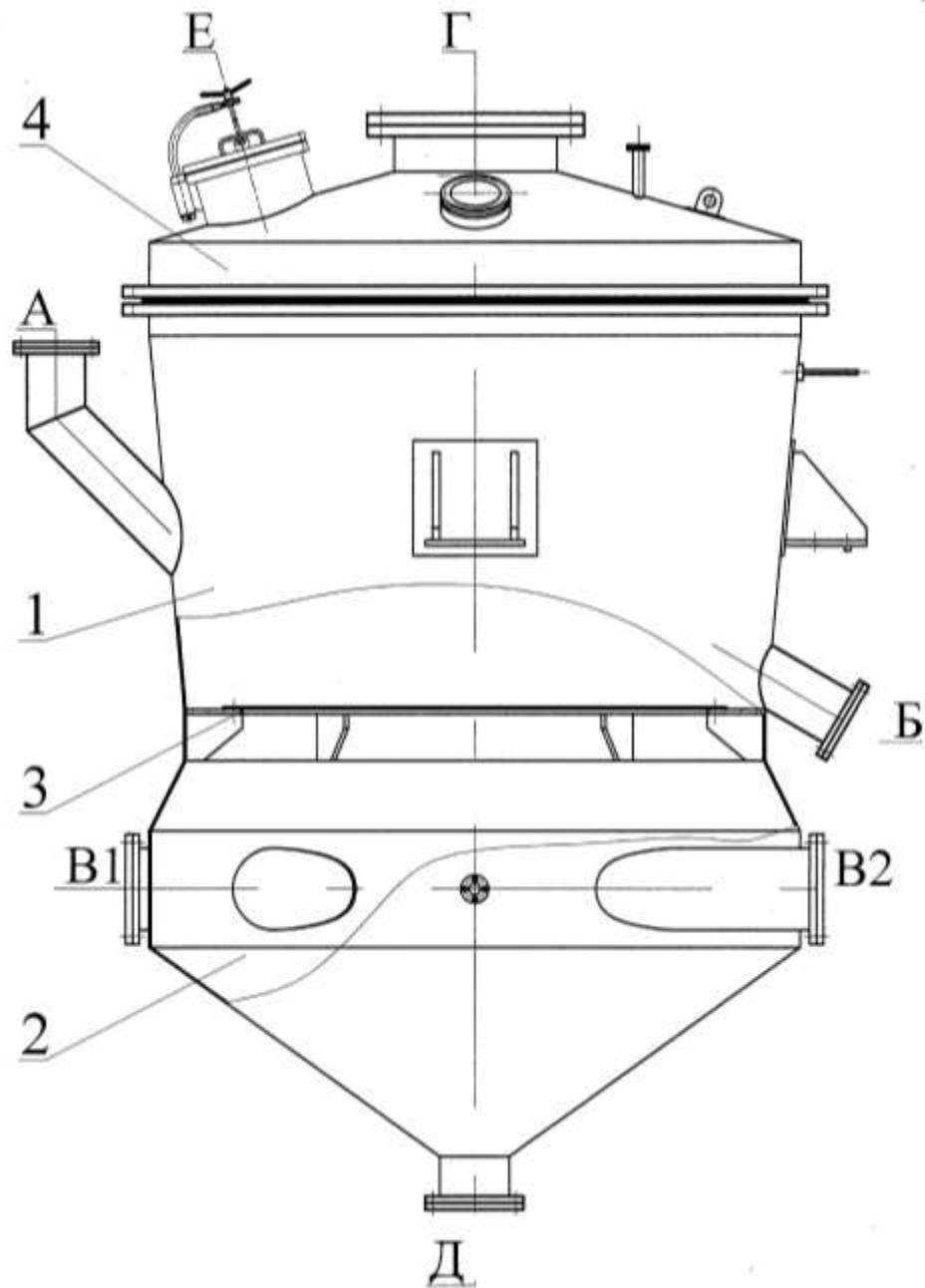












*Рисунок 1.2 – Схема сушарки киплячого шару із основними технологічними потоками: 1 – корпус; 2 – газорозподільчий механізм; 3 – газорозподільна решітка; 4 – кришка; А – вхід вологого продукту; Б – вихід висушеного продукту; В1, В2 – вхід сушильного агента; Г – вихід відпрацьованого повітря; Д – вихід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

*У процесі сушіння дисперсний продукт переміщується по решітці і перетікає із однієї зони в іншу. Висушений матеріал виводиться 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.


Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

**ПОХНВ.С.00.00.00 ПЗ**

Лист

16



## 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  $t_{B0} = 6,6^{\circ}\text{C}$  з відносною вологістю  $\varphi_{B0} = 78\%$ .

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 ( $t_{вн} = 110^{\circ}\text{C}$ ,  $X_B = 0,006$  кг/кг,  $I_B = 132$  кДж/кг).

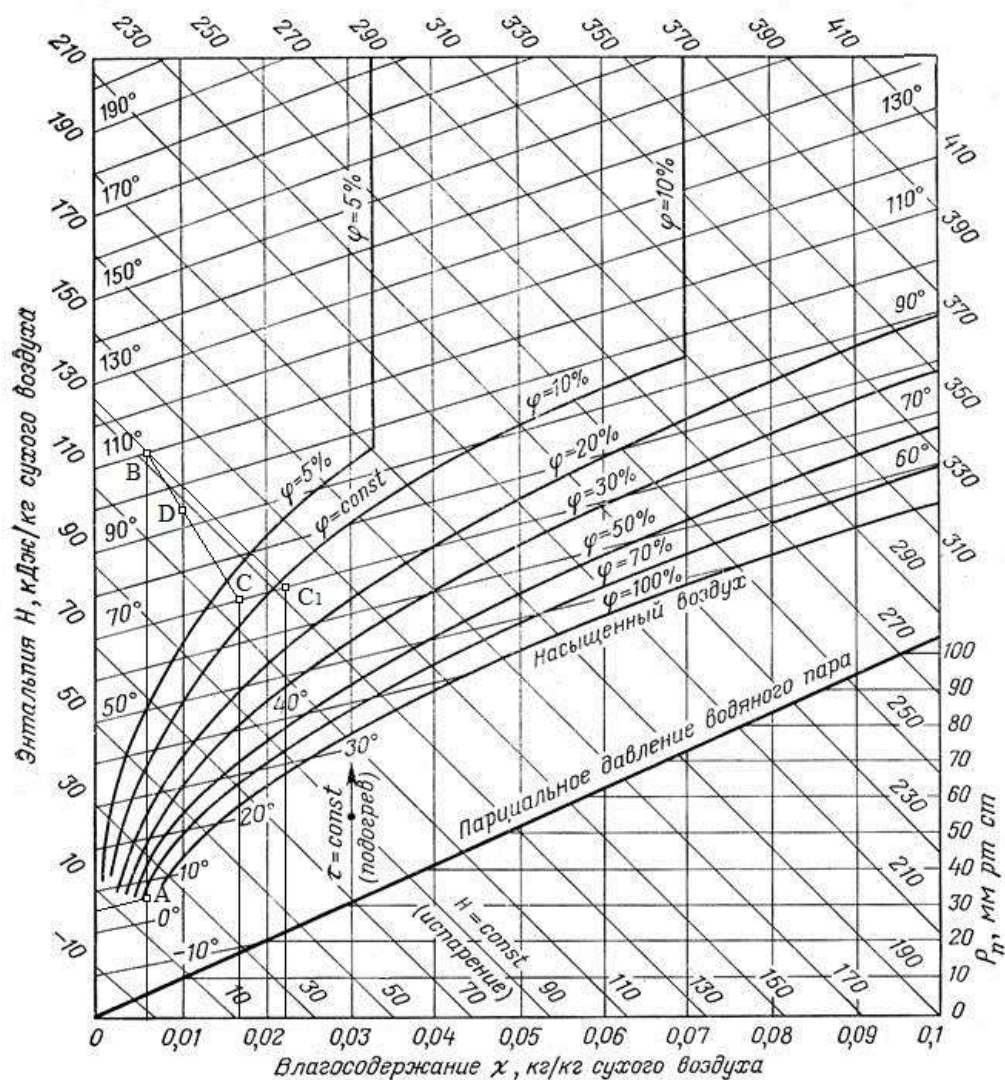


Рисунок 2.1 – Схема реального процесу сушіння







де  $\rho_{\text{ч}} = 3640 \text{ кг/м}^3$  – щільність матеріалу.

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

$$Re_{\text{кр}} = \frac{162090}{18 + 5,22 \cdot \sqrt{162090}} = 76,5.$$

Підставивши в рівняння (2.8), отримаємо:

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

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

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

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

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  $K_{\omega} = 1,8$ .

Таким чином, робоча швидкість сушильного агента:

$$\omega_{\text{р}} = K_{\omega} \cdot \omega_{\text{кр}}; \quad (2.13)$$


Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата



де  $G$  – масова витрата теплоносія;

$\rho$  – густина теплоносія;

$\omega$  – швидкість руху теплоносія в штуцері.

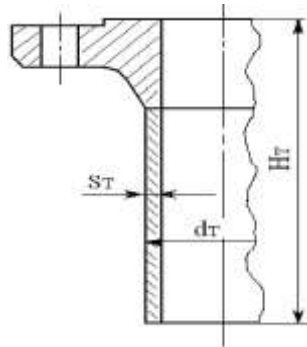


Рисунок 2.2 – Штуцер з приварним фланцем встик і виступом

Швидкості руху теплоносіїв [6]:

– для газового потоку 5-15 м / с.

Діаметр штуцера для входу і виходу повітря:

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

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

### 2.3 Визначення висоти киплячого шару

Висота киплячого шару [11]:

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

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

$\varepsilon_0$  – порізність насипного шару, що знаходиться у спокої;  $\varepsilon_0 = 0,4$  [11];

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

$$\varepsilon_{CP} = \left( \frac{18 \operatorname{Re}_p + 0,36 \operatorname{Re}_p^2}{Ar} \right)^{0,21}, \quad (2.18)$$

де  $\operatorname{Re}_p$  – число Рейнольдса при робочій швидкості:

$$\operatorname{Re}_p = \frac{\omega_p d_{\text{э}} \rho_{CP}}{\mu_{CP}}; \quad (2.19)$$

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

Тоді  $\varepsilon_{CP}$  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]:

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

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

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







## 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 висушеного матеріалу [8].

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

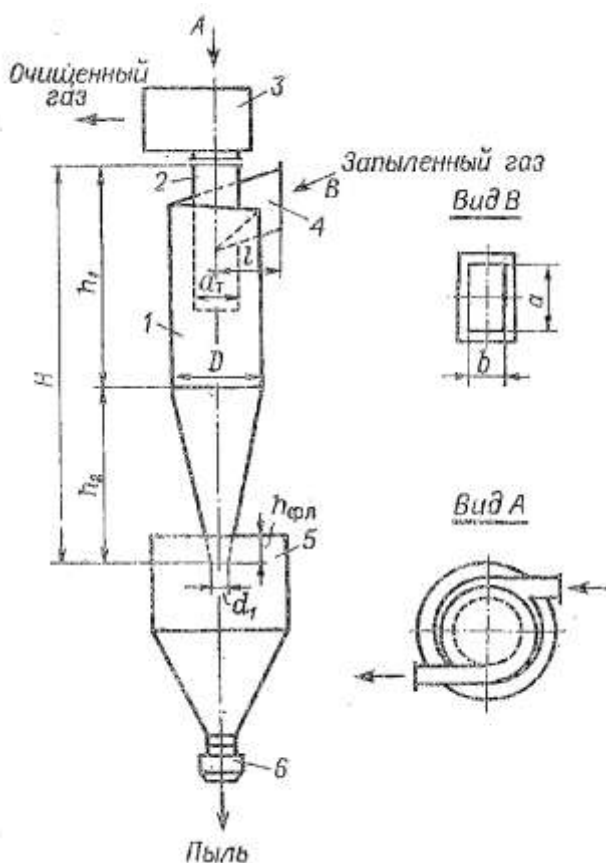


Рисунок 2.3 – Схема циклону ЦН-15

При розрахунку циклону визначають його діаметр:





### 3 Розрахунки апарату на міцність та герметичність

#### 3.1 Розрахунок на міцність корпусу сушарки

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

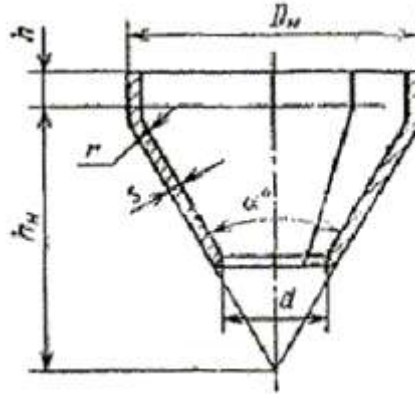


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема корпусу сушарки

Визначаємо відношення визначальних параметрів:

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

Товщину стінки знаходимо за формулою [13]:

$$S_{к\ p} = \frac{pD}{2 \cos \alpha [\sigma] \varphi}, \quad (3.2)$$

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

$P=0,1$  МПа – тиск гріючої пари;

$[\sigma]=134$  МН/м<sup>2</sup> – допустима напруга для сталі ВСт3.

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

Виконавча товщина стінки корпусу:

$$S = S_{к\ R} + c; \quad (3.3)$$







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

$$M = 1071 + 890 = 1960 \text{ кг}.$$

Вага апарату складе:

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

Тоді:

$$G = 1960 \cdot 9,81 = 19237 \text{ Н} \approx 19,2 \text{ кН}.$$

Навантаження на одну опору визначимо за формулою:

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

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

$f_{\max}, b$  – 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,  $Z=3$ ;

$\lambda_1, \lambda_2$  – 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


Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

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

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

Тоді:

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

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

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

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:

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

Приймаємо з урахуванням на збільшення і корозію товщину ребра  $s = 6 \text{ мм}$ .

Ребра приварюються до корпусу суцільним круговим швом з катетом  $h_{ш} = 3 \text{ мм}$ .

Загальна довжина зварного шва становить:

$$L_{ш} = 4(h + s) = 4(0,22 + 0,006) = 0,904 \text{ м.} \quad (3.14)$$

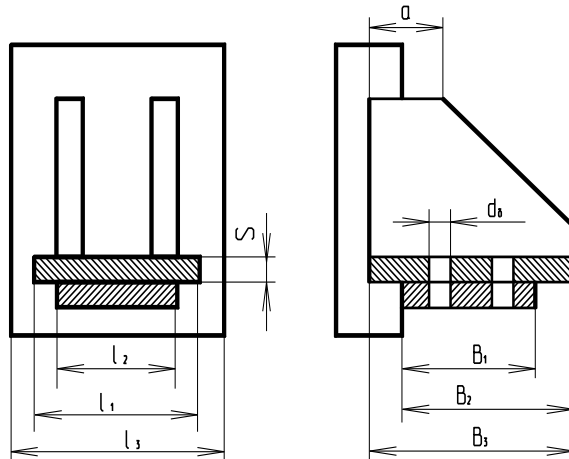
Міцність зварного шва при  $\tau_{сд} = 80 \text{ МН} / \text{м}^2$  перевіряємо за формулою:

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

*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*


Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

## **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 використуваних механізмів залежить від конструкції, маси і габаритів обладнання.*


Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

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

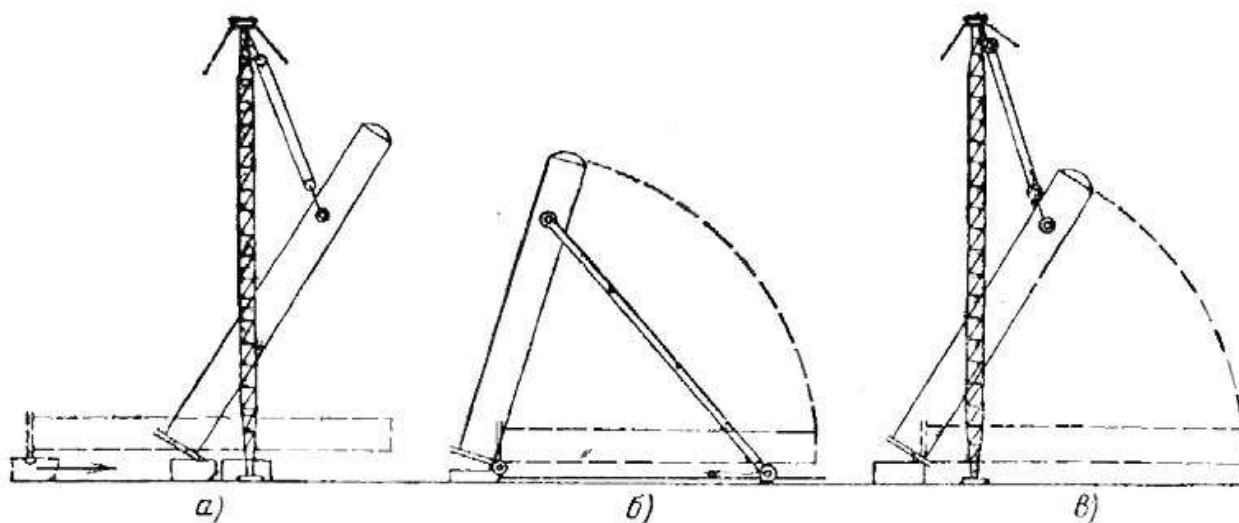


Рисунок 4.1 – Схеми монтажу: а – методом підйому і ковзання; б – методом витискання; в – методом повороту навколо шарніра

**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, випробування 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  $\pm 2$  мм для апаратів, що стоять групами, і  $\pm 5$  мм для окремо розташованих апаратів.

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


Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

**ПОХНВ.С.00.00.00 ПЗ**

Лист

38

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 ремонт 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.


Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

## **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 обв'язку. Випробовують апарат та здають його в експлуатацію, після заповнення відповідних ремонтних документів.


Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

**ПОХНВ.С.00.00.00 ПЗ**

Лист

42

## 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 середовища. 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.


Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата



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

*- особлива вологість. Особливо вологими 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 відноситися: 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));*


Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата





## Література

1. Вікіпедія. Хлорид натрію [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [https://uk.wikipedia.org/wiki/Хлорид\\_натрію](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.





