

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 калію.  
Розробити барабанну сушарку

Виконала:  
студентка групи ХМз – 81с  
Кондратенко Таїсія Анатоліївна

\_\_\_\_\_  
підпис

Залікова книжка  
№ 18510191

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 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 Кондратенко Таїсії Анатоліївни

1 Тема проекту: Установка виробництва хлориду калію. Розробити барабанну сушарку

2 Вихідні дані: Розробити барабанну сушарку для сушіння кристалів хлориду калію продуктивністю 7000 кг/год. Вологість матеріалу (% на загальну масу): початкова – 7,5; кінцева – 2,0. Температура матеріалу (°C): початкова – 15; кінцева – 90. Теплоносій – топкові гази з початковою температурою 750 °C. Розмір частинок матеріалу (мм): максимальний – 4,5; мінімальний – 1,0.

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

- |   |            |
|---|------------|
| 1. <u>Технологічна схема виробництва</u>          | – 1,5 арк. |
| 2. <u>Складальне креслення сушарки барабанної</u> | – 1,0 арк. |
| 3. <u>Складальне креслення ролика упорного</u>    | – 0,5 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

\_\_\_\_\_  
підпис

доцент Юхименко М.П.

## Зміст

	С.
Вступ	5
1 Технологічна частина	6
1.1 Опис технологічної схеми виробництва хлориду калію	6
1.2 Теоретичні основи процесу сушіння	11
1.3 Опис об'єкта розроблення та вибір основних конструктивних матеріалів	14
2 Технологічні розрахунки процесу і апарата	17
2.1 Технологічні розрахунки	17
2.2 Конструктивні розрахунки	25
2.3 Гідравлічний опір апарата	27
2.4 Вибір допоміжного обладнання	28
3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність	32
4 Монтаж та ремонт апарата	40
4.1 Монтаж розробленого апарата	40
4.2 Ремонт апарата	42
5 Охорона праці	45
Список використаних джерел	53
Додаток – Специфікації до графічної частини	

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Кондратенко			Лім.	Лист	Листів
Перевір.		Юхименко				4	54
Реценз.					<b>СумДУ, ХМз – 81с</b>		
Н. Контр.							
Затверд.		Склабінський					
<b>Барабанна сушарка для сушіння кристалів KCl</b>							
<b>Пояснювальна записка</b>							

## Вступ

Сушінням (сушкою) називають процес видалення вологи з твердих вологих, пастоподібних або рідких матеріалів (суспензій) шляхом випаровування і відведення пари, що утворилася. Це складний тепломасообмінний процес, швидкість якого в багатьох випадках визначається швидкістю дифузійного перенесення вологи в середині твердого тіла [1].

Калієва сіль соляної кислоти (хлорид калію, KCl) – це біла кристалічна речовина з температурою плавлення 776°C, температурою кипіння 1407°C. Відноситься до структурного типу NaCl. У природі зустрічається у вигляді мінералу сильвіна. Широко застосовується в сільському господарстві як калійне добриво. Окрім того, служить сировиною для одержання гідроксиду калію та інших сполук калію. Іноді застосовується як добавка до кухонної солі (так звана «сіль із пониженим вмістом натрію») [2].

Хлорид калію не горючий, пожежо- і вибухобезпечний. За ступенем впливу на організм людини відноситься до речовин 3-го класу небезпеки. Пилоподібні частинки, потрапляючи на шкіряні рани, погіршують їх загоєння. На неушкоджену шкіру хлорид калію шкідливої дії не виявляє. Не утворює токсичних сполук у повітряному середовищі. Не відноситься до корозійних речовин, швидкість корозії сталевोї та алюмінієвої поверхні становить менше 0,35 мм на рік [2].

У виробництві KCl сушіння є обов'язковою технологічною операцією і являє собою досить енергоємну технологічну стадію даного процесу. Від апаратурно-технологічного оформлення та режиму сушіння у значній мірі залежить якість кінцевого продукту.

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

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		5

# 1 Технологічна частина

## 1.1 Опис технологічної схеми виробництва хлориду калію [4]

Сильвінітові руди з вмістом корисного компонента 22–25% не можуть використовуватися як ефективне добриво. Для отримання концентрованих добрив сильвінітові руди збагачують різними методами. Головне місце серед них займають механічний (флотація) і хімічний (галургія). Прогресивним методом, який отримав широке застосування, є флотація сильвінітових руд.

Збагачення руд флотацією засноване на різній здатності мінералів, що входять до складу руди, змочуватися рідинами.

Сутність флотаційного способу полягає в поділі хлоридів калію і натрію з попереднім виділенням глинистого шламу. Попередньо подрібнену руду змочують у воді або водному розчині і через пульпу пропускають повітря, яке розподіляється у вигляді дрібних бульбашок. Гідрофобні мінерали прилипають до бульбашок повітря і виносяться на поверхню пульпи у вигляді піни, яка потім видаляється і фільтрується для виділення твердих частинок. Гідрофільні мінерали залишаються на дні флотаційного машини і виводяться через зливний отвір.

Безперервний процес флотації здійснюється за участю наступних видів флотаційних реагентів специфічної дії: збирачі (колектори), активатори, піноутворювачі, депресори, регулятори.

Флотаційне збагачення сильвінітових руд включає наступні операції:

- 1) дроблення і подрібнення руди;
- 2) попереднє видалення глинистого шламу;
- 3) основна флотація з виділенням хлориду калію в пінний продукт;
- 4) переочищення отриманого концентрату;
- 5) переочищення глинистого шламу з метою зниження втрат хлориду калію;
- 6) зневоднення хвостів, шламу і концентрату з поверненням у цикл оборотного розчину.

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		6

Технологічні схеми отримання хлористого калію флотаційним методом залежать від вмісту нерозчинного залишку в початкових сильвінітових рудах, а також від ступеня їх подрібнення. Практичним прикладом однієї з таких схем є технологічна схема флотаційного збагачення сильвініту з попередньою флотацією глинистих шламів, яку наведено на рис. 1.1.

Руду подрібнюють в стрижневому млині мокрого помелу, що працює в замкнутому циклі з дуговими ситами. Після подрібнення і класифікації на ситі частки руди мають розмір не більше 0,75 мм. Глинистий шлам флотірують на машині. У якості збирача глинистих шламів в пульпу вводять реагент ФР-2 (продукт окислення уайт-спіриту) з додаванням гасу для поліпшення властивостей піни і 0,25%-вого розчину поліакриламідру для зниження витрати реагентів. Тривалість шламової флотації складає 10 хвилин.

Пінний продукт шламової флотації піддають перечищенню у флотаційній машині 6 без додаткової подачі реагентів. Для згущення пінний продукт перечищення піддають освітленню в згущувачі. Згущений шлам після протитечійного промивання викидають у відвал, а освітлений насичений розчин повертають у цикл. За допомогою шламової флотації з сильвініту вдається витягти до 85 % нерозчинного залишку.

Пульпа сильвініту після обезшламлювання надходить на основну флотацію в машину. Як збирачу сюди подають підігрітий до 40°C 1%-вий водний розчин хлоргідрату амінів. Тривалість основної флотації складає 5 хвилин.

Пінний продукт, після перечищення у флотаційній машині, являє собою концентрат хлориду калію. Його зневоднюють на центрифугі, вологість продукту після центрифугування становить 5 %. Далі продукт надходить на осушення в барабанну сушарку, а потім його направляють споживачеві. Хлорид калію, отриманий флотаційним методом, містить достатню кількість амінів, тому він не злежується.

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		7

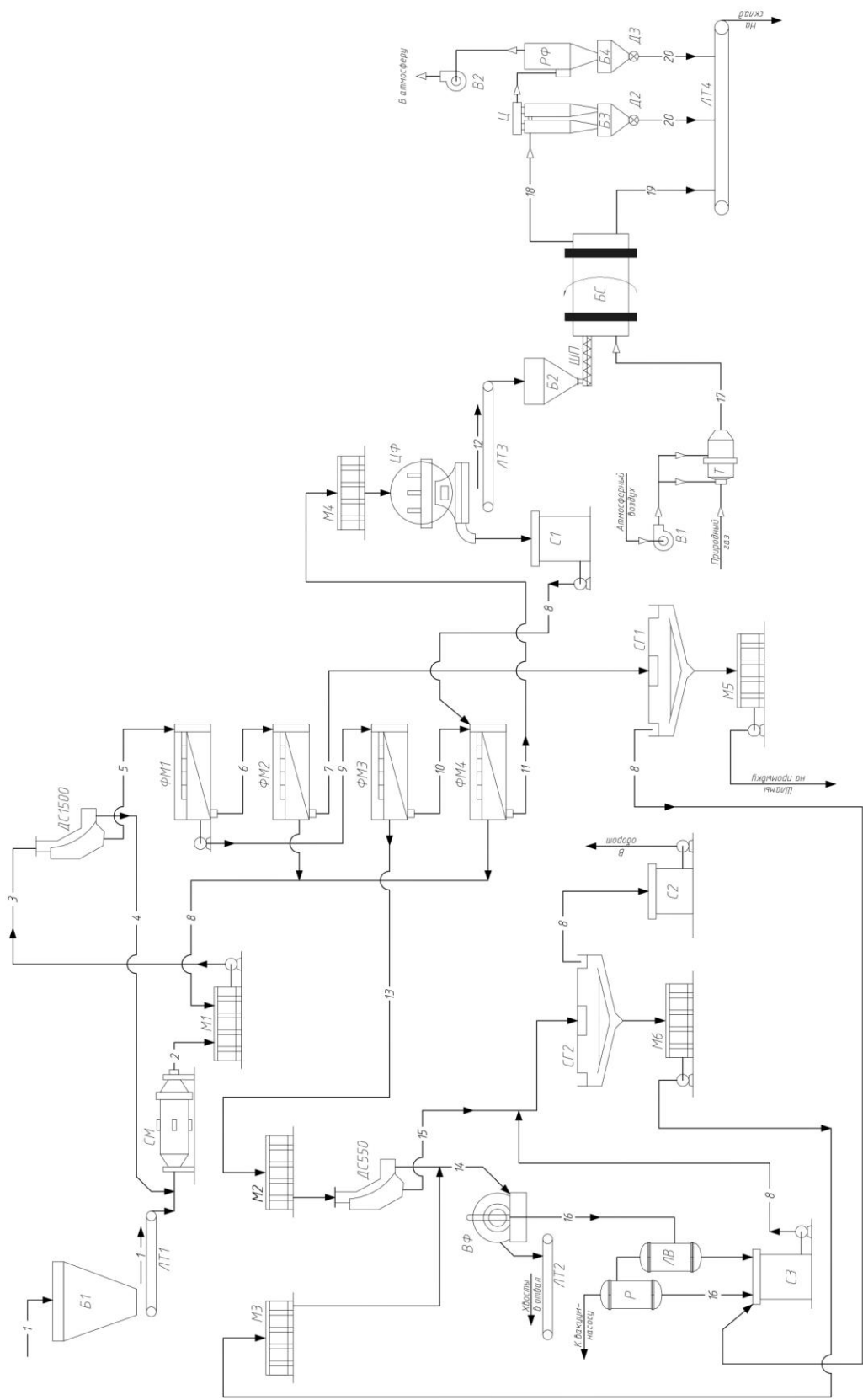


Рисунок 1.1 – Схема флотажного збагачення сільвініту з попередньою флотацією глинистих шламів

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>		Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			8

Галітові хвости (ж:  $t = 2,4-2,8$ ) флотації поділяють за допомогою сита на дві фракції – великі частки (понад 0,2 мм) фільтрують на барабанному вакуум-фільтрі, а дрібні (менше 0,2 мм) – попередньо згущують в згущувачі до ж:  $t = 0,8-1,2$  а потім фільтрують на вакуум-фільтрі. Фільтрат і злив згущувача повертають в цикл виробництва. Для зниження втрат хлориду калію кристали галіту промивають на фільтрі водою при температурі 30–40 °С. Галітові хвости, після промивання, містять близько 14 % вологи. Очищені від глинистих домішок хвости можуть бути використані у виробництві кальцинованої соди або технічного хлориду натрію. Готовий продукт містить 93–95 % КСl при ступеню вилучення КСl з руди 90–92 %.

Для сильвінітових руд, що містять не більше 2,5 % нерозчинного залишку, застосовується схема з попередньою флотацією глинистого шламу. Руда подрібнюється в стрижневому млині мокрого помелу, що працює в замкнутому циклі з дуговими ситами. Глинистий шлам флотується із застосуванням в якості збирача реагенту ФР-2 (продукт окислення уайт-спіриту) з додаванням гасу для поліпшення властивостей піни і розчину поліакриламід (знижує витрати реагентів). Після перечищення пінного продукту він освітлюється в згущувачі.

Сильвінітова пульпа, після шламової флотації, піддається основній флотації. Пінний продукт після перечищення є концентратом хлориду калію, який зневоднюється на центрифuzі і надходить на сушку. Галітові хвости флотації поділяються на ситі на дві фракції: великі частки (понад 0,2 мм) фільтруються на барабанному вакуум-фільтрі, а дрібні (менше 0,2 мм) – попередньо згущуються і надходять в вакуум-фільтр. Фільтрат і злив згущувача повертаються в цикл виробництва. Кристали галіту на фільтрі відмиваються теплою водою від хлориду калію. Оскільки хлорид натрію в цій схемі не містить глинистих домішок, то продукт може бути використаний для виробництва кальцинованої соди і технічної солі.

Для більш повного вилучення хлориду калію галітові хвости з деяким вмістом сільвіна нагрівають до 60–70°C. При цьому розчинність хлориду

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
						9
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		



калію підвищується і кристалічний КСІ переходить в розчин. Після зневоднення галітової пульпи матковий розчин охолоджують з виділенням в осад хлориду калію. Вміст КСІ в отриманому продукті становить 93–95 %.

Метод з депресією шламів застосовують для руд, що містять до 5–6 % нерозчинного осаду.

Флотаційне збагачення сильвініту з депресією глинистих домішок відбувається наступним чином. Попередньо подрібнений сильвініт з бункера через живильник поступає в стрижневий млин, де в середовищі насиченого сольового розчину здійснюється його тонкий помел. Далі сильвініт у вигляді суспензії в розчині (пульпи) подається через збірник за допомогою насоса на дугові сита, де розділяється на дві фракції: зерна розміром більше 0,8 мм направляються знову в млин, менше 0,8 мм – в мішалку, куди надходить депресор глинистих домішок – тілоза. Після обробки тілозою глинисті домішки втрачають активність і не перешкоджають флотації хлористого калію. З мішалки руда надходить у флотаційну машину, де в присутності флотореагента (високоосновних амінів – солянокислого октадециламіну) розділяється на концентрат і флотаційні хвости. Концентрат у вигляді піни направляється на повторну флотацію (перечищення), а потім на згущення в вакуум-фільтрі. З фільтра сира сіль надходить на сушку. Флотаційні хвости основної флотації згущуються в гідроциклонах, згущувачах, вакуум-фільтрах і направляються у відвал. У хвостах після перечищення вміст хлористого калію ще значний, і вони повертаються на повторну обробку через збірник і дугові сита.

У вихідному концентраті вміст КСІ складає 92–95 %; флотаційні хвости складаються в основному з NaCl, глинистих шламів і КСІ (до 2 %). Відходи процесів збагачення сильвініту видаляють у відвали і вироблений простір калійних рудників.

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		10

## 1.2 Теоретичні основи процесу сушіння

Теоретичний огляд, що наведено у данному розділі, виконано на підставі літературних джерел [1, 5–7].

Кількість вологи  $W$ , яка видаляється з матеріалу в процесі сушіння при зміні вмісту вологи матеріалу (вважаючи на суху речовину) від  $\omega_H$  до  $\omega_K$ ,

$$W = G \cdot (\omega_H - \omega_K), \quad (1.1)$$

де  $G$  – продуктивність сушарки за сухим продуктом, кг/с.

Якщо в якості сушильного агента використовується повітря, то його витрата розраховується по залежності:

$$G_C = \frac{W}{x_K - x_H}, \quad (1.2)$$

де  $x_K$  і  $x_H$  – кінцевий і початковий вологовміст повітря в дійсній сушарці, кг/кг.

Питомий об'єм вологого повітря (віднесений до 1 кг сухого повітря)  $\nu_{уд}$  (м<sup>3</sup>/кг) розраховується за формулою:

$$\nu_{уд} = \frac{R_B \cdot T}{P - \phi_B \cdot P_{НАС}}, \quad (1.3)$$

де  $R_B$  – газова постійна; для повітря  $R_B = 287$  Дж/(кг·К);

$T$  – температура повітря, К;

$P$  – загальний тиск пароповітряної суміші, Па;

$\phi_B$  – відносна вологість повітря, частки;

$P_{НАС}$  – тиск насиченої водяної пари, Па.

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						11
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Різниця питомих витрат теплоти в дійсній і в теоретичній сушарках:

$$\Delta q = q - q_T = \frac{(I_H - I_K)}{(x_K - x_H)}, \quad (1.4)$$

де  $q$  і  $q_T$  – питома теплота в дійсній і теоретичній сушарках відповідно, Дж/кг;

$I_H$  і  $I_K$  – ентальпія повітря на вході і виході з сушарки відповідно, Дж/кг.

При відсутності додаткового підігріву повітря в сушильній камері маємо:

$$\Delta q = q_{MAT} + q_{TP} + q_{ПОТ} - c_{\omega} \cdot \theta_H, \quad (1.5)$$

де  $q_{MAT}$  – питома теплота, що витрачається на нагрівання матеріалу від температури  $\theta_H$  до температури  $\theta_K$ , Дж/кг

$$q_{MAT} = \frac{G \cdot c_M \cdot (\theta_K - \theta_H)}{W}, \quad (1.6)$$

де  $c_M$  – питома теплоємність сухого матеріалу, Дж/кг·К;

$q_{TP}$  – питома теплота на нагрівання транспортних пристроїв, Дж/кг;

$$q_{TP} = \frac{G_{TP} \cdot c_{TP} \cdot (t_{TP.K} - t_{TP.H})}{W};$$

$q_{ПОТ}$  – питомі втрати теплоти, Дж/кг. Для попередніх розрахунків зазвичай приймають

$$q_{ПОТ} = (0,05 \div 0,10) \cdot q_T.$$

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		12

Вибір способу сушіння, а відповідно і типу сушарки, залежить від хімічних властивостей матеріалу. Для сушіння органічних і неорганічних речовин найбільш часто застосовуються барабанні сушарки [1, 7].

Барабанні сушарки (рис. 1.2) являють собою зварний циліндр – барабан, на зовнішній поверхні якого закріплені бандажні опори, кільця жорсткості і приводний зубчастий вінець; вісь барабана може бути нахилена до горизонту до  $4^\circ$ . Барабанні атмосферні сушарки – це апарати безперервної дії, які призначені для сушіння сипучих матеріалів топковими газами або нагрітим повітрям. Різновидом барабанних атмосферних сушарок є апарати з контактним підведенням тепла через спеціальну трубчасту насадку. На кінцях циліндричного корпусу барабанної сушарки є розподільні камери. Вони служать для подачі в барабан і відведення з нього теплоносія.

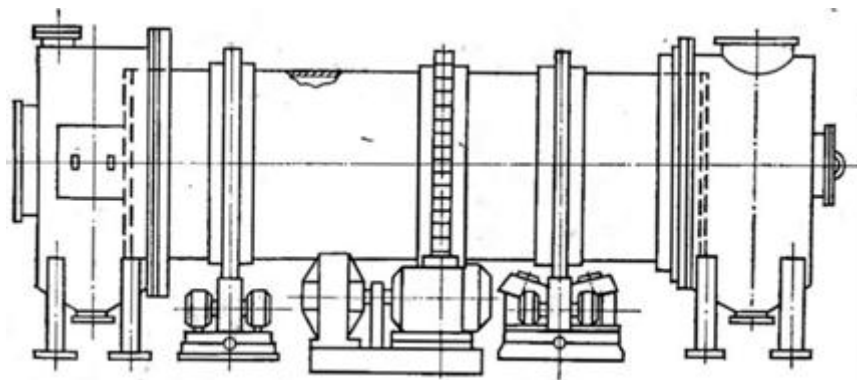


Рисунок 1.2 – Барабанна атмосферна сушарка

Усередині барабана встановлена спеціальна насадка, конструкція якої залежить від властивостей матеріалу, що висушується. З боку завантажувальної камери розташована багатозапірна гвинтова насадка з числом спіральних лопатей від 6 до 16 в залежності від діаметра барабана. При сушінні матеріалів з великою адгезією до поверхні барабана на початковій ділянці останнього закріплюють ланцюги, за допомогою яких руйнуються грудки і очищаються стінки барабана. Для цієї ж мети можуть використовуватися ударні пристосування, розташовані із зовнішнього боку барабана.

На рис. 1.3 представлені різні типи внутрішніх насадок барабанів.

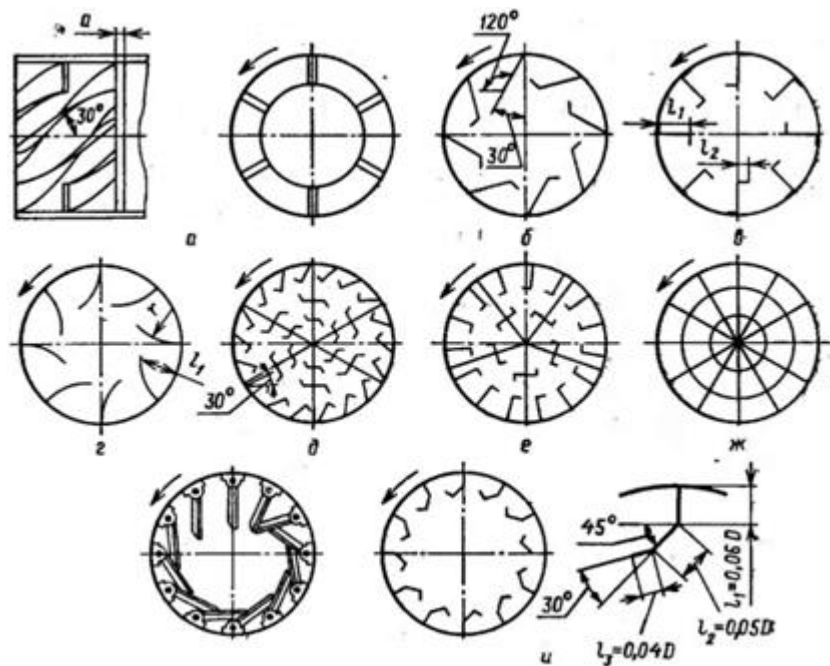


Рисунок 1.3 – Типи внутрішніх насадок барабана:

а – гвинтова розподільна; б, в, г, и – периферійні підйомно-лопатеві з лопатками різних видів; д, е – секторні, ж – для добре сипучих матеріалів

У сушарках діаметром 1000–1600 мм, для матеріалів з гарною сипучістю і середнім розміром частинок до 8 мм встановлюють секторну насадку. У тих же сушарках для матеріалів, які мають підвищену адгезію, або сипучих матеріалів із середнім розміром частинок більше 8 мм – лопатеву. У сушарках діаметром 1000–3500 мм для матеріалів, схильних до налипання, але які відновлюють сипучі властивості в процесі сушіння – лопатеву, а після неї – секторну.

### 1.3 Опис об'єкта розроблення та вибір основних конструктивних матеріалів

Проектована барабанна атмосферна сушарка (рис. 1.4) конструктивно складається із суцільнозварного барабану, який встановлено під кутом 4–6° до горизонту.

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		14

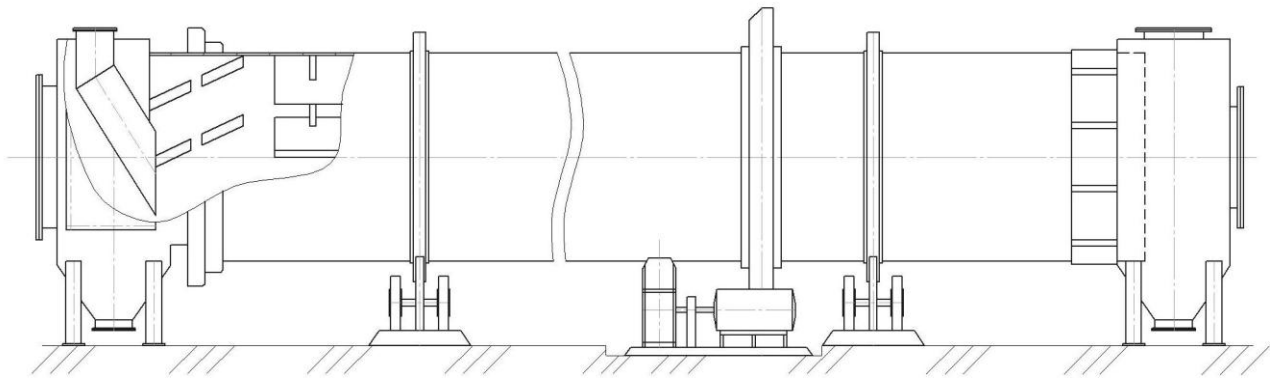


Рисунок 1.4 – Схема проектованої барабанної сушарки

Безпосередньо обертання барабану відбувається через зубчасту передачу і редуктор за допомогою електричного двигуна. Кількість обертів барабану за хвилину не більше 5–8. Положення його в осьовому напрямку фіксується опорно-упорними роликами, які і попереджають його рух по осі.

Основний матеріал для виготовлення барабанів сушарок, завантажувальних і розвантажувальних камер – вуглецеві сталі. У технічно обґрунтованих випадках допускається виготовлення барабанів, а також завантажувальних і розвантажувальних камер частково або повністю з жаростійких сталей спеціальних марок [8, 9].

Таким чином, для виготовлення основних частин апарата застосовуємо матеріал – сталь 20. На користь цієї сталі говорить її порівняно низька вартість, вона добре обробляється і має достатньо високі фізико-механічні властивості.

Механічні властивості і хімічний склад сталі 20 наведено відповідно в табл. 1.1 і 1.2.

Бандажі виготовляються зі сталі 40 чи 45Л, як правило, прямокутної форми в поперечному перерізі. Опорні ролики відливають із чавуну СЧ 18-36 або СЧ 21-40. Різна міцність роликів і бандажу призводить до більш прискореного зносу перших, які простіше і дешевше виготовити, аніж бандажі. Вінець або венцеву шестерню виготовляють зі сталі 35Л.

Таблиця 1.1 – Механічні властивості сталі 20 при температурі 20°C

Стан поставки	$\sigma_B$ (МПа)	$\delta_5$ (%)	$\Psi$ (%)	НВ (не більше)
Сталь калібрована:				
– гарячекатана, кована, другої категорії після нормалізації	410	25	55	
– п'ятої категорії після нагартування	490	7	40	
– п'ятої категорії після відпалення	390	21	50	
Сталь калібрована і калібрована зі спеціальною обробкою:				
– після відпалення	390–490	7	50	163
– після сфероїдізуючого відпалення	340–440		50	163
– загартування без термообробки	490		40	207
Смути нормалізовані або гарячекатані	410	25	55	
Лист тепло обробний першої та другої категорій	340–490	28		127

Таблиця 1.2 – Хімічний склад сталі 20

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	As	Fe
0,17–0,24	0,17–0,37	0,35–0,65	до 0,25	до 0,04	до 0,04	до 0,25	до 0,25	до 0,08	~98

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

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		16

## 2 Технологічні розрахунки процесу і апарата

### 2.1 Технологічні розрахунки

Технологічний розрахунок процесу сушіння КСІ проводимо у відповідності з методикою [10].

У якості палива використовуємо сухий природний газ.

Склад природного газу наступний:

- 92,0 % об. метану;
- 0,5 % об. етану;
- 5,0 % об. водню;
- 1,0 % об. монооксиду вуглецю;
- 1,5 % об. азоту.

Теоретична кількість сухого повітря  $L_0$ , що витрачається на спалювання 1 кг палива, за рівнянням:

$$L_0 = 138 \cdot \left[ 0,0179 \cdot CO + 0,248 \cdot H_2 + \sum \frac{(m + n / 4) \cdot C_m H_n}{(12m + n)} \right], \quad (2.1)$$

де склади горючих газів виражені в об'ємних частках.

Підставивши відповідні значення, отримаємо:

$$L_0 = 138 \cdot \left[ 0,0179 \cdot 0,01 + 0,248 \cdot 0,05 + \frac{(1 + 4 / 4)}{(12 \cdot 1 + 4)} \cdot 0,92 + \frac{(2 + 6 / 4)}{(12 \cdot 2 + 6)} \cdot 0,005 \right] =$$
$$= 17,686 \text{ кг} / \text{кг}$$

Для визначення теплоти згоряння палива скористаємося характеристиками горіння простих газів. Кількість тепла  $Q_v$ , що виділяється при спалюванні 1 м<sup>3</sup> газу, становить:

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

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		17



де  $\varphi_i$  – об’ємна частка компонентів газу;

$H_i$  – тепловий ефект реакції (кДж/м<sup>3</sup>).

Густина газоподібного палива  $\rho_T$  за рівнянням:

$$\rho_T = \frac{\sum C_m H_n M_i}{v_0} \cdot \frac{T_0}{T_0 + t_T}, \quad (2.2)$$

де  $M_i$  – молярна маса  $i$ -того компонента палива, кмоль / кг;

$t_T$  – температура палива; приймаємо 20 °С;

$v_0$  – молярний об’єм; становить 22,4 м<sup>3</sup>/кмоль.

Підставивши значення, отримаємо:

$$\rho_T = \frac{(0,92 \cdot 16 + 0,005 \cdot 30 + 0,05 \cdot 2 + 0,01 \cdot 28 + 0,015 \cdot 28) \cdot 273}{22,4(273 + 20)} = 0,652 \text{ кг} / \text{м}^3.$$

Кількість тепла, що виділяється при спалюванні 1 кг палива за рівнянням:

$$Q = \frac{Q_v}{\rho_T}; \quad (2.3)$$

$$Q = \frac{33868}{0,652} = 51945 \text{ кДж} / \text{кг}.$$

Маса сухого газу, який подається в сушарку, в розрахунку на 1 кг палива, що спалюється визначається загальним коефіцієнтом надлишку повітря  $\alpha$ , необхідного для спалювання палива та розведення топкових газів до температури суміші  $t_{\text{сум}} = 750^\circ\text{C}$ .

Значення  $\alpha$  знаходимо із рівнянь матеріального і теплового балансів.

Рівняння матеріального балансу:

$$1 + L_0 = L_{\text{с.з.}} + \sum \frac{9n}{12m + n} C_m H_n, \quad (2.4)$$

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		18

де  $L_{c.z.}$  – маса сухих газів, що утворюються при згорянні 1 кг палива;

$C_m H_n$  – масова частка компонентів, при згорянні яких утворюється вода, кг/кг.

Рівняння теплового балансу за формулою:

$$Q \cdot \eta + c_T \cdot t_T + \alpha \cdot L_0 \cdot I_0 = [L_{c.z.} + L_0 \cdot (\alpha - 1)] \cdot i_{c.z.} + \left[ \alpha \cdot L_0 \cdot x_0 + \sum \frac{9n}{12m+n} C_m H_n \right] \cdot i_n, \quad (2.5)$$

де  $\eta = 0,95$  – загальний коефіцієнт корисної дії, який враховує ефективність роботи топки і втрати тепла топкою в навколишнє середовище;

$c_T$  – теплоємність газоподібного палива при  $20^\circ\text{C}$ , дорівнює  $1,34 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ ;

$I_0$  – ентальпія свіжого повітря, що дорівнює  $41,9 \text{ кДж}/\text{кг}$ ;

$x_0$  – вологовміст свіжого повітря, ( $0,0092 \text{ кг}/\text{кг}$  сухого повітря), при температурі  $t_0 = 20^\circ\text{C}$  і відносній вологості  $72\%$  (за діаграмою Рамзина);

$i_{c.g.}$  – ентальпія сухих газів,  $\text{кДж}/\text{кг}$ ;

$$i_{c.g.} = c_{c.g.} \cdot t_{c.g.}; \quad (2.6)$$

$$i_{c.g.} = 1,15 \cdot 750 = 862,5 \text{ кДж}/\text{кг};$$

$c_{c.g.}$  і  $t_{c.g.}$  – відповідно теплоємність і температура сухих газів; теплоємність сухих газів приймаємо рівною теплоємності сухого повітря при  $750^\circ\text{C}$ .

$c_{c.g.} = 1,15 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ ;  $t_{c.g.} = 750^\circ\text{C}$ ;

$i_{II}$  – ентальпія водяної пари,  $\text{кДж}/\text{кг}$ ;

$$i_{II} = r_0 + c_{II} \cdot t_{II}; \quad (2.7)$$

$$i_{II} = 2500 + 1,97 \cdot 750 = 3977,5 \text{ кДж}/\text{кг},$$

$r_0$  – теплота випаровування води при температурі  $0^\circ\text{C}$ , дорівнює  $2500 \text{ кДж}/\text{кг}$ ;

$c_{II}$  – середня теплоємність водяної пари, що дорівнює  $1,97 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ ;

$t_{II}$  – температура водяної пари  $t_{II} = 750^\circ\text{C}$ .

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		19

Вирішуємо рівняння відносно коефіцієнта надлишку повітря  $\alpha$ :

$$\alpha = \frac{Q \cdot \eta + c_T \cdot t_T - i_{c.z.} \cdot \left(1 - \sum \frac{9n}{12m+n} C_m H_n\right) - i_n \cdot \sum \frac{9n}{12m+n} C_m H_n}{L_0 (i_{c.z.} + i_n \cdot x_0 - I_0)} \quad (2.8)$$

Перерахуємо компоненти палива із об'ємних часток в масові, при згорянні яких утворюється вода:

$$\omega_i = \frac{\phi_i \cdot M_i \cdot T_0}{22,4 \cdot \rho_T \cdot (T_0 + t_T)} \quad (2.9)$$

Підставивши відповідні значення, отримаємо:

$$\omega(\text{CH}_4) = 0,92 \cdot 16 \cdot 273 / [22,4 \cdot 0,652(273 + 20)] = 0,939;$$

$$\omega(\text{C}_2\text{H}_6) = 0,005 \cdot 30 \cdot 273 / [22,4 \cdot 0,652(273 + 20)] = 0,0096;$$

$$\omega(\text{H}_2) = 0,05 \cdot 2 \cdot 273 / [22,4 \cdot 0,652(273 + 20)] = 0,0064.$$

Кількість вологи, що виділяється при згорянні 1 кг палива:

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

Коефіцієнт надлишку повітря знаходимо за рівнянням:

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{Q \cdot \eta + c_T \cdot t_T - i_{c.z.} \cdot (1 - 2,19) - i_n \cdot 2,19}{L_0 \cdot (i_{c.z.} + i_n \cdot x_0 - I_0)} = \\ &= \frac{51945 \cdot 0,95 + 1,34 \cdot 20 - 862,5 \cdot (1 - 2,19) - 3977,5 \cdot 2,19}{17,686 \cdot (862,5 + 3977,5 \cdot 0,0092 - 41,9)} = 2,61 \end{aligned}$$

Загальна питома маса сухих газів, одержуваних при спалюванні 1 кг палива і розведенні топкових газів повітрям до температури суміші 750°C, дорівнює за рівнянням:

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		20

$$G_{c.z} = 1 + \alpha \cdot L_0 - \sum \frac{9n}{12m+n} C_m H_n ; \quad (2.10)$$

$$G_{c.z} = 1 + 2,61 \cdot 17,686 - 2,19 = 44,97 \text{ кг/кг.}$$

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

$$G_n = \sum \frac{9n}{12m+n} C_m H_n + \alpha \cdot x_0 \cdot L_0 ; \quad (2.11)$$

$$G_n = 2,19 + 2,61 \cdot 0,0092 \cdot 17,686 = 2,62 \text{ кг/кг.}$$

Вологовміст газів на вході в сушарку ( $x_I = x_{cym}$ ) на 1 кг сухого повітря:

$$x_I = \frac{G_n}{G_{c.z}} ; \quad (2.12)$$

$$x_I = 2,62 / 44,97 = 0,0583 \text{ кг/кг.}$$

Ентальпію газів на вході в сушарку знаходимо за рівнянням:

$$I_1 = 1000 \cdot t + (2493 + 1,97 \cdot t) \cdot 10^3 \cdot x_I ; \quad (2.13)$$

$$I_1 = 1000 \cdot 750 + (2493 + 1,97 \cdot 750) \cdot 10^3 \cdot 0,0583 = 982 \text{ кДж/кг.}$$

Оскільки коефіцієнт надлишку повітря  $\alpha > 1$ , фізичні властивості газової суміші, яку використовують у якості сушильного агента, практично не відрізняються від фізичних властивостей повітря. Це дає можливість використовувати в розрахунках діаграму стану вологого повітря I – х.

Визначимо витрату вологи, що видаляється з матеріалу:

$$W = G_k \cdot \frac{\omega_n - \omega_k}{100 - \omega_n} , \quad (2.14)$$

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		21

де  $G_k = 7000$  кг/год. – продуктивність сушарки.

$$W = \frac{7000}{3600} \cdot \frac{7,5 - 2,0}{100 - 7,5} = 0,116 \text{ кг/с.}$$

Температура розбавлених топкових газів, що надходять у сушарку, становить  $t_1 = 750^\circ\text{C}$ , а температуру вихідних газів приймаємо  $t_2 = 100^\circ\text{C}$ .

Складемо внутрішній тепловий баланс сушарки:

$$\Delta = c \cdot t_n + q_{\text{дон}} - (q_m + q_{\text{м}} + q_n), \quad (2.15)$$

де  $\Delta$  – різниця між питомим приходом і витратою тепла в сушильній камері;

$c = 4,19$  кДж/кг·К – теплоємність води у вологому матеріалі при температурі  $t_n = 15^\circ\text{C}$ ;

$q_{\text{дон}}$  – питоме додаткове підведення тепла в сушильну камеру, кДж/кг води; при роботі сушарки по нормальному сушильному варіанту  $q_{\text{дон}} = 0$ ;

$q_m$  – питоме підведення тепла в сушарку транспортними засобами, кДж/кг води; у даному випадку  $q_m = 0$ ;

$q_{\text{м}}$  – питоме підведення тепла з висушуваним матеріалом, кДж/кг води:

$$q_{\text{м}} = \frac{G_k c_m (t_k - t_n)}{W}, \quad (2.16)$$

де  $c_m = 0,712$  кДж/кг·К – теплоємність висушеного матеріалу;

$t_n = 15^\circ\text{C}$  – початкова температура матеріалу;

$t_k = 90^\circ\text{C}$  – кінцева температура матеріалу.

Підставивши чисельні значення у рівняння (2.16), отримаємо:

$$q_{\text{м}} = [7000/3600 \cdot 0,712 \cdot (90 - 15)]/0,116 = 895 \text{ кДж/кг води.}$$

$q_n$  – питомі втрати тепла в навколишнє середовище, кДж/кг води;

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		22

$q_n = 22,5$  кДж/кг води (що відповідає 1 % тепла, що витрачається на випаровування 1 кг води).

Підставивши чисельні значення у рівняння (2.15), отримаємо:

$$\Delta = 4,19 \cdot 15 - 895 - 22,5 = -855 \text{ кДж/кг води.}$$

Запишемо рівняння робочої лінії сушіння:

$$I = I_1 + \Delta(x - x_1). \quad (2.17)$$

Для побудови робочої лінії сушіння на діаграмі  $I - x$  необхідно задати координати ( $I$  і  $x$ ) мінімум двох точок.

Координати однієї точки відомі:  $I_1 = 982$  кДж/кг,  $x_1 = 0,0583$  кг/кг. Для знаходження координат другої точки задамося довільним значенням  $x$  і визначимо відповідне значення  $I$ . Приймаємо  $x = 0,1$  кг води/кг сухого повітря. Тоді отримуємо:

$$I = 982 - 855 \cdot (0,1 - 0,0583) = 946 \text{ кДж/кг.}$$

Далі проводимо лінію сушіння на діаграмі  $I - x$  через дві точки з координатами ( $x_1 = 0,0583$ ;  $I_1 = 982$ ) і ( $x = 0,1$ ;  $I = 946$ ) до перетину із заданим параметром відпрацьованого повітря  $t_2 = 100^\circ\text{C}$ . У точці перетину лінії сушіння і ізотерми  $100^\circ\text{C}$  знаходимо кінцевий вологовміст відпрацьованого повітря  $x_2 = 0,25$  кг/кг (рис. 2.1).

Витрата сухого газу на сушіння розраховуємо за рівнянням:

$$L_{\text{с.г.}} = \frac{W}{x_2 - x_1}; \quad (2.18)$$

$$L_{\text{с.г.}} = 0,116 / (0,25 - 0,0583) = 0,6 \text{ кг/с.}$$

Витрата сухого повітря на сушку розраховуємо за рівнянням:

$$L = \frac{W}{x_2 - x_0}; \quad (2.19)$$

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						23
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

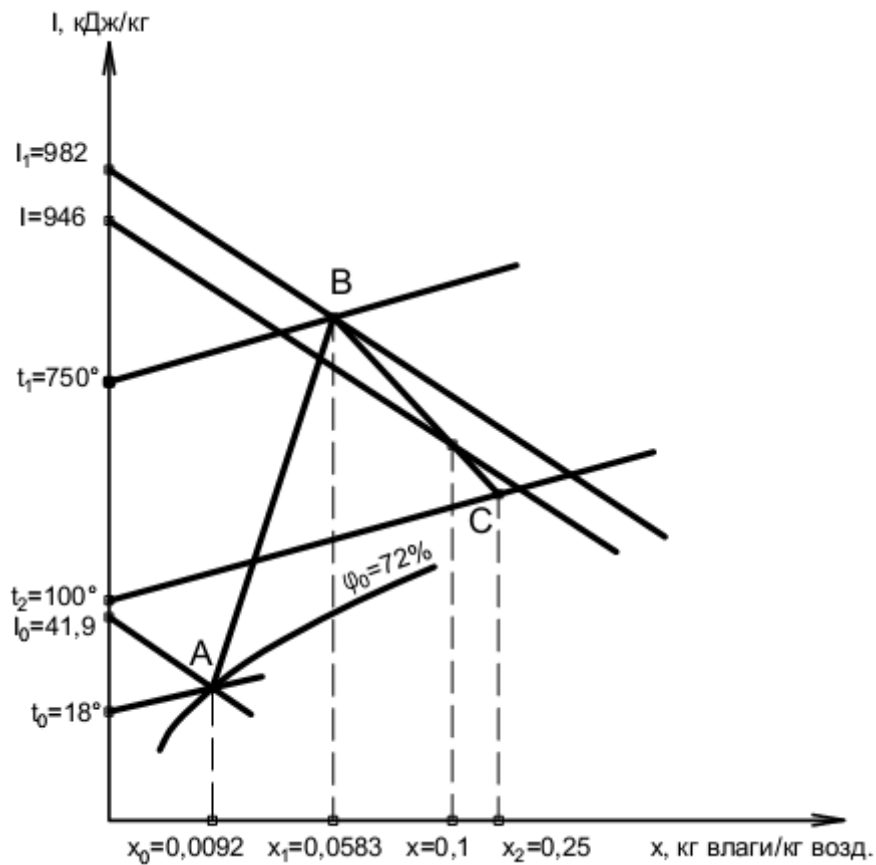


Рисунок 2.1 – Схема реального процесу сушіння топковими газами

$$L = 0,116 / (0,25 - 0,0092) = 0,48 \text{ кг/с.}$$

Середня температура повітря в сушарці:

$$t_{\text{сер}} = \frac{t_1 + t_2}{2}; \quad (2.20)$$

$$t_{\text{сер}} = (750 + 100)/2 = 425^\circ\text{C.}$$

Середній вологовміст повітря у сушарці:

$$x_{\text{сер}} = \frac{x_1 + x_2}{2}; \quad (2.21)$$

$$x_{\text{сер}} = \frac{0,0583 + 0,25}{2} = 0,154 \text{ кг вологи/кг сухого повітря}$$

Середня густина сухого повітря і водяної пари відповідно:

$$\rho_{c.n.} = \frac{M_{c.n.}}{\nu_0} \cdot \frac{T_0}{T_0 + t_{сеп}}; \quad (2.22)$$

$$\rho_{в.н.} = \frac{M_{в.н.}}{\nu_0} \cdot \frac{T_0}{T_0 + t_{сеп}}, \quad (2.23)$$

де  $M_{c.n.} = 29$  – молярна маса сухого повітря, кмоль/кг;

$M_{в.н.} = 18$  – молярна маса водяної пари, кмоль/кг;

$\nu_0$  – молярний об'єм;  $22,4 \text{ м}^3/\text{кмоль}$ .

$$\rho_{c.n.} = \frac{29}{22,4} \cdot \frac{273}{273 + 425} = 0,51 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_{в.н.} = \frac{18}{22,4} \cdot \frac{273}{273 + 425} = 0,31 \text{ кг/м}^3.$$

Середня об'ємна продуктивність за повітрям:

$$V = \frac{L}{\rho_{c.n.}} + \frac{x_{сеп} \cdot L}{\rho_{в.н.}}; \quad (2.24)$$

$$V = \frac{0,48}{0,51} + \frac{0,154 \cdot 0,48}{0,31} = 1,18 \text{ м}^3/\text{с}.$$

## 2.2 Конструктивні розрахунки

Приймаємо швидкість повітря на виході з сушарки за [6]:  $\omega_r = 0,8 \text{ м/с}$  при максимальному розмірі частинок  $\delta_{\max} = 4,5 \text{ мм}$  і насипній щільності матеріалу  $\rho_n = 1100 \text{ кг/м}^3$ .

Внутрішній діаметр сушильного барабана розраховується за рівнянням:

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		25



$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot (1 - \psi) \cdot \omega_T}}; \quad (2.25)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,18}{3,14 \cdot (1 - 0,15) \cdot 0,8}} = 1,49 \text{ м.}$$

Прийнявши товщину футерування  $\delta_\Phi = 300$  мм [6], розраховуємо зовнішній діаметр барабанної сушарки:

$$D_3 = D + 2 \cdot \delta_\Phi; \quad (2.26)$$

$$D_3 = 1,49 + 2 \cdot 0,3 = 2,09 \text{ м.}$$

За [9] вибираємо сушильний барабанний апарат із зовнішнім діаметром 2,2 м.

Необхідний внутрішній об'єм барабана розраховуємо за рівнянням:

$$V_B = \frac{W}{A}, \quad (2.27)$$

де  $A = 2,3 \cdot 10^{-3}$  кг/(м<sup>3</sup>·с) – напруженість барабана за вологою.

$$V_B = \frac{0,116}{2,3 \cdot 10^{-3}} = 50,4 \text{ м}^3.$$

При цьому значенні довжина барабана буде становити:

$$L = \frac{4 \cdot V_B}{\pi \cdot D_B^2}; \quad (2.28)$$

$$L = \frac{4 \cdot 50,4}{3,14 \cdot 2,2^2} = 13,27 \text{ м.}$$

За [6] остаточно вибираємо барабанну сушарку СБ 2,2–14.

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						26
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Товщина стінки барабану знаходиться у межах [6]:

$$0,005 \cdot D_B \leq \delta \leq 0,01 \cdot D_B;$$

$$0,005 \cdot 2200 \leq \delta \leq 0,01 \cdot 2200;$$

$$11 \leq \delta \leq 22.$$

Із вищезазначеного діапазону товщин, приймаємо  $\delta = 14$  мм.

### 2.3 Гідравлічний опір апарата

У цьому підрозділі визначаємо гідравлічний опір сушильного барабану за методикою, що представлена у [11]. Густина і динамічна в'язкість газів при усередненій температурі відповідно дорівнюють:  $\rho_{Гсер} = 0,7$  кг/м<sup>3</sup>;  $\mu_{Гсер} = 1,4 \cdot 10^{-5}$  Па·с.

За прийнятим коефіцієнтом заповнення барабану  $\psi = 0,15$  відносний вільний перетин барабану складе  $\varphi = 0,85$ .

Еквівалентний діаметр барабану для секторної насадки:

$$D_E = \frac{\pi \cdot D \cdot \varphi}{\pi + Z}, \quad (2.29)$$

де  $Z$  – відношення довжини барабану до його внутрішнього діаметра;

$$Z = 14 / (2,2 - 2 \cdot 0,3) = 8,75;$$

$$D_E = \frac{3,14 \cdot (2,2 - 2 \cdot 0,3) \cdot 0,85}{3,14 + 8,75} = 0,36 \text{ м.}$$

Критерій Рейнольдса для частинок розміром  $\delta_{СЕР} = 2,5$  мм.

$$\text{Re} = \frac{\omega_{Г} \cdot \delta_{СЕР} \cdot \rho_{Гсер}}{\mu_{Гсер}}; \quad (2.30)$$

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		27

$$Re = \frac{4 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,7}{1,4 \cdot 10^{-5}} = 500.$$

За рисунком [11] визначаємо як для гладкої труби:  $\lambda_B = 2,0$ .

Таким чином, опір барабана (без урахування матеріалу):

$$\Delta P_B = \lambda_B \cdot \frac{L}{D_E} \cdot \omega_{\Gamma}^2 \cdot \rho_{\Gamma_{сер}}; \quad (2.31)$$

$$\Delta P_B = 2 \cdot \frac{14}{0,036} \cdot 1^2 \cdot 0,7 = 540 \text{ Па.}$$

Відносна масова концентрація матеріалу:

$$y = \frac{G_1 + (G_1 - W)}{2} \cdot G_C \cdot X_K; \quad (2.32)$$

$$y = \frac{7000 + (7000 - 417,6)}{2 \cdot 3600} \cdot 0,48 \cdot 0,25 = 0,226 \text{ кг/кг.}$$

Опір сушильного барабана при  $k = 1,5$  [11]:

$$\Delta P = \Delta P_B \cdot (1 + k \cdot y); \quad (2.33)$$

$$\Delta P = 540 \cdot (1 + 1,5 \cdot 0,226) = 723 \text{ Па.}$$

За літературними даними [11] опір барабанної сушарки знаходиться у діапазоні 500–1200 Па при швидкості сушильного агенту 1–5 м/с і заповненні барабану до 20 %.

## 2.4 Вибір допоміжного обладнання

**Розрахунок циклону [6].** У якості першого ступеня очищення приймаємо циклонний пиловловлювач (див. схему рис. 1.1). Із усього різноманіття конструкцій вибираємо найбільш ефективний тип циклонів ЦН-15.

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						28
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначаємо діаметр циклону за умовною швидкістю газу  $w_y$  за формулою:

$$D_u = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot w_y}}, \quad (2.34)$$

де  $V = 1,43 \text{ м}^3/\text{с}$  – об'ємна витрата газів.

Величину  $w_y$  визначимо, виходячи зі значення співвідношення перепаду тиску  $\Delta P$  (в  $\text{Н}/\text{м}^2$ ) до густини газу  $\rho_t$  (в  $\text{кг}/\text{м}^3$ ), яким попередньо задаємося. Для циклонів ЦН-15 це співвідношення знаходиться в межах 550–750 [6]. Прийmemo  $\Delta P / \rho_t = 750$ . Коефіцієнт опору циклону  $\xi = 160$  [10].

Тоді:

$$w_y = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\xi \cdot \rho_t}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 750}{160 \cdot 0,95}} = 3,14 \text{ м/с}. \quad (2.35)$$

де  $\rho_t$  – густина газів на виході з сушарки при  $t_2 = 100^\circ\text{C}$  за формулою:

$$\rho_t = \frac{29}{22,4} \cdot \frac{273}{273 + 100} = 0,95 \text{ кг/м}^3.$$

Діаметр циклону за формулою (2.34):

$$D_u = \sqrt{\frac{1,43}{0,785 \cdot 3,14}} = 0,76 \text{ м}.$$

Приймаємо стандартизований циклон із діаметром 800 мм.

Коефіцієнт гідравлічного опору циклону визначаємо за формулою:

$$\xi_u^{zp} = K_1 \cdot K_2 \cdot \xi_{800}^c, \quad (2.36)$$

де  $K_1 = 1$  – поправковий коефіцієнт на діаметр циклону;

$K_2 = 0,85$  – коефіцієнт на запиленість газу;

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		29

$\xi_{800}^c = 200$  – коефіцієнт гідравлічного опору одиночного циклону діаметром 800 мм.

$$\xi_u^{cp} = 1 \cdot 0,85 \cdot 200 = 170.$$

Опір вибраного циклону становить:

$$\Delta P = \frac{\xi_u^{cp} \cdot \rho_t \cdot w_y^2}{2}; \quad (2.37)$$

$$\Delta P = \frac{170 \cdot 0,95 \cdot 3,14^2}{2} = 796 \text{ Па.}$$

Приймаємо за каталогом циклон одиночного виконання ЦН-15-800×2УП з камерою очищеного газу у вигляді «равлика» і пірамідальним бункером. Продуктивність такого циклону 4800–8500 м<sup>3</sup>/год.

**Розрахунок рукавного фільтру [6].** Розрахунок рукавного фільтру зводиться до визначення мінімальної поверхні фільтрації за рівнянням:

$$F = \frac{V}{V_{num}^0}, \quad (2.38)$$

де  $V = 1,43 \text{ м}^3/\text{с}$  – об'ємна витрата газів;

$V_{num}^0$  – витрата запиленого газу за нормальних умов через 1 м<sup>2</sup> поверхні тканини; приймаємо  $V_{num}^0 = 50 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год.})$ .

Об'ємна витрата газу  $V_{num}$  при температурі 100°C становить:

$$V_{num} = \frac{V_{num}^0 \cdot \rho_0}{\rho_{100}}, \quad (2.39)$$

де  $\rho_0 = 1,293 \text{ кг/м}^3$  – густина повітря за нормальних умов;

$\rho_{100}$  – густина повітря на вході в рукавний фільтр.

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						30
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$V_{\text{уд.}} = \frac{V_{\text{уд.}}^0 \cdot \rho_0}{\rho_{95}} = \frac{50 \cdot 1,293}{0,95} = 68 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год.}).$$

Таким чином, використовуємо фільтр рукавний каркасний з імпульсною продувкою марки ФРКИ-360-П8-3-3 з активною поверхнею фільтрації до 360 м<sup>2</sup>: число рукавів – 288; висота рукава – 3 м; число секцій – 8; габаритні розміри 5750×4210×5355 мм.

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		31

### 3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність

Розрахунки барабанної сушарки на міцність виконуємо у відповідності до методики [13].

Маса матеріалу, який знаходиться в сушарці:

$$m_M = \frac{\psi \cdot \rho \cdot L \cdot \pi \cdot D_\phi^2}{4}, \quad (3.1)$$

де  $\rho$  – щільність хлориду калію;  $\rho = 2165 \text{ кг/м}^3$ ;

$$D_\phi = D - 2 \cdot \delta_\phi = 2172 - 2 \cdot 300 = 1572 \text{ мм};$$

$$m_M = \frac{0,15 \cdot 2165 \cdot 14 \cdot 3,14 \cdot 1,572^2}{4} = 8820 \text{ кг.}$$

Маса барабана з футеровкою:

$$m_B = \frac{\pi \cdot (D_H^2 - D^2)}{4} \cdot L \cdot \rho_M + \frac{\pi \cdot (D^2 - D_\phi^2)}{4} \cdot L \cdot \rho_\phi, \quad (3.2)$$

де  $D = D_H - 2 \cdot \delta = 2200 - 2 \cdot 14 = 2172 \text{ мм}$ ;

$\rho_\phi = 2200 \text{ кг/м}^3$  – щільність матеріалу футеровки;

$\rho_M = 7850 \text{ кг/м}^3$  – щільність сталі.

$$m_B = \frac{3,14 \cdot (2,2^2 - 2,172^2)}{4} \cdot 14 \cdot 7850 + \frac{3,14 \cdot (2,172^2 - 1,572^2)}{4} \cdot 14 \cdot 2200 = 64875 \text{ кг.}$$

Сумарна маса барабана і матеріалу:

$$m = m_B + m_M; \quad (3.3)$$

$$m = 64875 + 8820 = 73695 \text{ кг.}$$

Лінійна напруга (рис. 3.1):

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		32

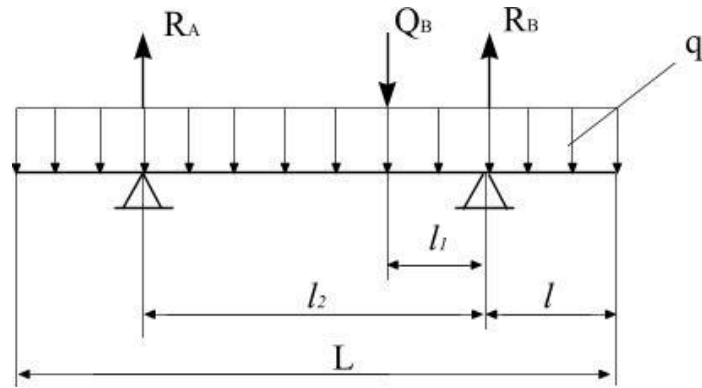


Рисунок 3.1 – Схема до визначення товщини стінки бандажа

$$q = \frac{m \cdot g}{L} = \frac{73695 \cdot 9,81}{14} = 51639 \text{ Н/м.} \quad (3.4)$$

Реакція на опорах:

$$R_A = \frac{q \cdot L}{2} + \frac{Q_B \cdot \ell_1}{\ell_2}, \quad (3.5)$$

$$\text{де } \ell_2 = 0,585 \cdot L = 0,585 \cdot 14 = 8,19 \text{ м};$$

$$\ell = 0,205 \cdot L = 0,205 \cdot 14 = 2,87 \text{ м};$$

$$\ell_1 = 0,09 \cdot L = 0,09 \cdot 14 = 1,26 \text{ м};$$

$Q_B = 20900 \text{ Н}$  – навантаження від венцової шестерні [13].

$$R_A = \frac{51639 \cdot 14}{2} + \frac{20900 \cdot 1,26}{8,19} = 364690 \text{ Н};$$

$$R_B = \frac{q \cdot L}{2} + \frac{Q_B \cdot (\ell_2 - \ell_1)}{\ell_2} = \frac{51639 \cdot 14}{2} + \frac{20900 \cdot (8,19 - 1,26)}{8,19} = 379158 \text{ Н.} \quad (3.6)$$

Максимальний згинальний момент, що діє на барабан:

$$M_{\max} = q \cdot L \cdot \frac{(2 \cdot \ell_2 - L)}{8} + Q_B \cdot \frac{(\ell_2 - \ell_1) \cdot \ell_1}{\ell_2}; \quad (3.7)$$

$$M_{\max} = 51639 \cdot 14 \cdot \frac{(2 \cdot 8,19 - 14)}{8} + 20900 \cdot \frac{(8,19 - 1,26) \cdot 1,26}{8,19} = 237360 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		33



Момент опору перетину корпусу барабана:

$$W = \frac{\delta \cdot \pi \cdot D_{СЕР}^2}{4}, \quad (3.8)$$

$$\text{де } D_{СЕР} = \frac{(D_H + D_\phi)}{2} = \frac{(2200 + 1572)}{2} = 1886 \text{ мм.}$$

$$W = \frac{\delta \cdot \pi \cdot D_{СЕР}^2}{4} = \frac{14 \cdot 10^{-3} \cdot 3,14 \cdot 1,886^2}{4} = 0,04 \text{ м}^3.$$

Напруження в корпусі барабану:

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{237360}{0,04} = 5,9 \text{ МПа.} \quad (3.9)$$

Допустиме напруження для апаратів з футеровкою  $[\sigma] = 20 \text{ МПа}$  [13].

$$\sigma \leq [\sigma] \quad (5,9 \text{ МПа} < 20 \text{ МПа}) \text{ – умова міцності виконується.}$$

### **Розрахунок барабана на жорсткість.**

Лінійне навантаження від маси оброблюваного матеріалу:

$$q_1 = \frac{g \cdot m_M}{L} = \frac{9,81 \cdot 8820}{14} = 6180 \text{ Н/м.} \quad (3.10)$$

Лінійне навантаження від маси барабана:

$$q_2 = \frac{g \cdot m_B}{L} = \frac{9,81 \cdot 64875}{14} = 45459 \text{ Н/м.} \quad (3.11)$$

Момент інерції одиночного кільця барабана:

$$I_x = \frac{\delta^3}{12} = \frac{(14 \cdot 10^{-3})^3}{12} = 2,3 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3. \quad (3.12)$$

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		34

Сумарний прогин від чинного напруги:

$$y_{\max} = \frac{D_{\text{СЕР}}^3}{8 \cdot E \cdot I_x} \cdot (0,04 \cdot q_1 + 0,002 \cdot q_2), \quad (3.13)$$

де  $E = 1,87 \cdot 10^5$  МПа – модуль пружності.

$$y_{\max} = \frac{1,886^3}{8 \cdot 1,87 \cdot 10^{11} \cdot 2,3 \cdot 10^{-7}} \cdot (0,04 \cdot 6180 + 0,002 \cdot 45459) = 6,6 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Відносний прогин:

$$\varepsilon = \frac{y_{\max}}{D_{\text{СЕР}}} = \frac{6,6 \cdot 10^{-3}}{1,886} = 3,5 \cdot 10^{-3} = 1/286. \quad (3.14)$$

$\varepsilon \leq [\varepsilon]$  ( $1/286 < 1/250$ ) – умова жорсткості виконується.

**Геометричні розміри бандажа (рис. 3.2).**

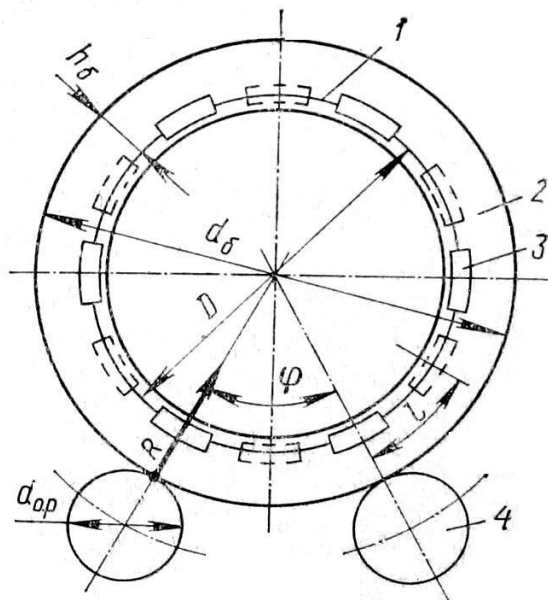


Рисунок 3.2 – Схема до розрахунку бандажа і опорних роликів

Ширину бандажа визначаємо за рівнянням:

$$b_{\phi} = \frac{R}{q_H}, \quad (3.15)$$

де  $q_H = (1,0 \div 2,4) \text{ МН/м}$  – допустиме навантаження, яке приходить на одиницю довжини майданчика торкання ролика і бандажа [13];

$R$  – реакція опори ролика, МН.

$$R = \frac{m \cdot g \cdot \cos \alpha}{2 \cdot z \cdot \cos(\phi/2)}, \quad (3.16)$$

де  $\alpha = 3^\circ$  – кут нахилу барабана [13];

$\phi = 41^\circ$  – кут між опорними роликами [13];

$z = 1$  – кількість бандажів.

$$R = \frac{73695 \cdot 9,81 \cdot \cos 3^\circ}{2 \cdot 1 \cdot \cos(41^\circ/2)} = 385384 \text{ Н} = 0,385 \text{ МН};$$

$$b_{\phi} = \frac{0,385}{2,2} = 0,175 \text{ м.}$$

Ширина опорного ролика  $b_{o.p.}$  повинна бути більша за ширину бандажа на 30 мм.

$$b_{o.p.} = b_{\phi} + 0,03 = 0,175 + 0,03 = 0,205 \text{ м.} \quad (3.17)$$

Діаметр опорних роликів  $d_{o.p.}$  беруть в 3–4 рази меншим за зовнішній діаметр барабана:

$$d_{o.p.} = \frac{D_3}{4} = \frac{2,2}{4} = 0,55 \text{ м.} \quad (3.18)$$

Умова контактної міцності на зминання в місці торкання ролика і бандажа:

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						36
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sigma_{3M} = 0,0418 \cdot \sqrt{\frac{R}{b_{\sigma}} \cdot E \cdot \frac{r_{\sigma} + r_{o.p.}}{r_{\sigma} \cdot r_{o.p.}}} \leq [\sigma]_{3M}, \quad (3.19)$$

де  $r_{\sigma}$  – зовнішній радіус бандажа:

$$r_{\sigma} = \frac{D_H + 2 \cdot h_{\sigma}}{2} = \frac{2,2 + 2 \cdot 0,1}{2} = 1,2 \text{ м}; \quad (3.20)$$

$r_{o.p.}$  – зовнішній радіус опорного ролика.

$$\sigma_{3M} = 0,0418 \cdot \sqrt{\frac{0,385}{0,175} \cdot 1,87 \cdot 10^5 \cdot \frac{1,2 + 0,275}{1,2 \cdot 0,275}} = 56,7 \text{ МН/м}^2;$$

$$\sigma_{3M} < [\sigma]_{3M} \quad (56,7 \text{ МПа} < 300 \text{ МПа}) \text{ – умова виконується.}$$

Далі виконаємо перевірку контактної міцності на зминання в місці зіткнення упорного ролика і бандажа.

Осьова сила, яку сприймають упорні ролики:

$$T = \frac{m \cdot g \cdot \sin \alpha}{10^6}; \quad (3.21)$$

$$T = \frac{73695 \cdot 9,81 \cdot \sin 3^{\circ}}{10^6} = 0,038 \text{ МН.}$$

Умова контактної міцності на зминання в місці зіткнення упорного конічного ролика і бандажа:

$$\sigma_3 = 0,0418 \cdot \sqrt{\frac{T \cdot E}{b_{y.p.} \cdot r_{\sigma} \cdot \sin(\frac{\gamma}{2})}} \leq [\sigma]_3, \quad (3.22)$$

де  $b_{y.p.}$  – ширина упорного ролика, м;  $b_{y.p.} = b_{o.p.} = 0,205$  м;

$\gamma = 17^{\circ}$  – кут конусності упорного ролика.

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						37
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sigma_3 = 0,0418 \cdot \sqrt{\frac{0,038 \cdot 1,87 \cdot 10^5}{0,205 \cdot 1,2 \cdot \sin\left(\frac{17^\circ}{2}\right)}} = 18,4 \text{ МПа} < 30 \text{ МПа}.$$

Умова виконується.

### Перевірка міцності бандажа на вигин.

$$\sigma_{32} = \frac{M_{\delta}}{W_{\delta}} \leq [\sigma]_{32}, \quad (3.23)$$

де  $M_{\delta} = R \cdot \ell / 4$  – максимальний згинальний момент в місці контакту опорного ролика і бандажа, МН·м;

$\ell$  – відстань між сусідніми башмаками:

$$\ell = \frac{\pi \cdot D_3}{m}, \quad (3.24)$$

де  $m = 16$  – загальна кількість башмаків [13].

$$\ell = \frac{\pi \cdot D_B}{m} = \frac{3,14 \cdot 2,2}{16} = 0,432 \text{ м};$$

$$M_{\delta} = \frac{0,385 \cdot 10^6 \cdot 0,432}{4} = 41556 \text{ Н}.$$

$W_{\delta}$  – момент опору перерізу бандажа:

$$W_{\delta} = \frac{b_{\delta} \cdot h_{\delta}^2}{6}, \quad (3.25)$$

де  $h_{\delta} = 0,1$  м – висота бандажа.

$$W_{\delta} = \frac{0,175 \cdot 0,1^2}{6} = 2,92 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3.$$

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		38

Тоді:

$$\sigma_{32} = \frac{41556}{2,92 \cdot 10^{-4}} = 142,5 \text{ МПа};$$

$\sigma_{32} \leq [\sigma]_{32}$  (142,5 МПа < 150 МПа) – умова виконується.

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		39

## 4 Монтаж та ремонт апарата

### 4.1 Монтаж розробленого апарата [14, 15]

Вантажопідйомні машини є істотною складовою частиною більшості виробництв, оскільки вони відіграють дуже важливу роль в механізації технологічних процесів.

Сучасне кранобудування характеризується:

- вдосконаленням конструкцій;
- застосуванням нових матеріалів, методів і засобів виготовлення та контролю;
- впровадженням більш досконалих методів розрахунку;
- підвищенням надійності.

Пневматичні катки, дорожні крани, бульдозери та ін. із кожним роком усе більше застосовуються на будівництві. Їх головна перевага полягає у великій швидкості переміщення (до 60 км/год.). Особливо зручні пневмоколісні крани для роботи в міських умовах і на невеликих об'єктах, що віддалені один від одного.

Під час монтажу крупногабаритних об'єктів, а також для підйому великої кількості обладнання та металоконструкцій на значну висоту застосовують баштові крани марок КБ-100, С-981Б, МСК-5-20А та інші.

Більшість кранів може працювати як на виносних опорах, так і без них. Деякі можуть пересуватися з піднятим вантажем, що значно розширює сферу їх застосування.

На підставі проведених конструктивних розрахунків (розділ 2.2), ми монтуємо барабанну сушарку діаметром 2,2 м, довжиною барабана 14 м і загальною масою приблизно 40 тонн. Тобто нам необхідно похило встановити обертовий барабан, на який надіти два бандажа і зубчастий вінець. Бандажами барабан спирається на чотири ролика, які змонтовано на рамах. Два опорних ролика обмежують осьове зміщення корпусу барабана. На обох кінцях барабана є камери: в одній передбачено введення газів і завантаження

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		40

вологого матеріалу, а в іншій – розвантаження підсушеного продукту і відведення газів. Між камерами і барабаном роблять спеціальні ущільнення для запобігання підсосу повітря ззовні.

Перед монтажем апарат необхідно ретельно очистити від антикорозійного покриття. Для горизонтального обладнання, як в нашому випадку, що буде розміщено на нульовій позначці, фундаменти виконують у вигляді двох залізобетонних стовпів з анкерними болтами під опори. Сушарка встановлюється на бетонний фундамент. Глибина залягання фундаменту не повинна бути менше 436 мм. Монтаж слід проводити по рамному рівню. Необхідна точність установки барабанної сушарки в обох напрямках 0,5 / 1000.

Після вивірки апарата фундаментні болти заливаються бетоном. Після затвердіння бетону слід затягнути гайки фундаментних болтів, перевіряючи стан апарата рівнем. Затягування гайок повинно проводитися рівномірно і плавно. Потім під раму барабана підливається цементний розчин і ведеться остаточна обробка фундаменту.

При обробці фундаменту необхідно передбачити закладання труб для підведення електроживлення до автоматичного вимикача і від автоматичного вимикача до барабану. Місце установки автоматичного вимикача вибирається таким чином, щоб він не заважав проведенню ремонтних робіт. Заземляють апарат до загальної системи заземлення.

Барабанна сушарка доставляється на монтажний майданчик у розібраному вигляді за допомогою тягача. Для приймання призначається відповідальна особа з числа ІТП, якій здійснює приймання деталей, що надійшли на об'єкт, і записує в журнал «Прийому і огляду обладнання». Готовність апарата під монтаж оформляють актом, підписаним представниками замовника монтажної організації.

Після перевірки стану конструкції підписується акт «приймання – здачі обладнання». Після підписання акту, відповідальність за обладнання несе монтажна організація.

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		41



Одним із найбільш поширених способів монтажу для масивного горизонтального обладнання є підйом пневмоколісними стріловидними самохідними кранами. Цей спосіб активно використовують, оскільки він не вимагає тривалих підготовчих робіт, а також є безпечним і зручним.

Монтаж починають із підйому апарата з вихідного горизонтального положення без відриву його від землі. Коли установка одного з кранів із зовнішньої сторони фундаментів неможлива, монтаж апарата виконують тільки маневруванням стріли крана. У тих випадках, коли при підйомі апаратів неможливо розташувати крани із зовнішньої сторони фундаментів і проїхати між фундаментами, збільшують виліт стріли кранів або переміщують крани з піднятим апаратом в межах їх вантажної характеристики.

Після установки і вивірки апарата перевіряють надійність зачеплення зубчастої передачі. А після підключення барабанної сушарки до електромережі перевіряють коректність обертання барабана і можливість завантаження матеріалу в середину барабана.

## 4.2 Ремонт апарата [15]

Барабанна сушарка є дуже металомістким апаратом, а тому при його ремонті виконується великий обсяг монтажних робіт із застосуванням підйомно-транспортного обладнання, риштувань та помостів. Частина вузлів сушарки не може бути замінена за допомогою існуючих самохідних монтажних кранів через недостатню їх вантажопідйомність і закоротку довжину стріли. Це призводить до необхідності застосування при виконанні ремонтних робіт різноманітних такелажних пристроїв, щогл, порталів тощо. У той же час, застосування кранів замість щогл і порталів дозволяє підвищити продуктивність праці у 3–4 рази при одночасному значному скороченні термінів ремонту.

Зовнішній огляд корпусу дозволяє визначити місця прогарів, корозії, великих деформацій обичайок (вм'ятини, випучини), тріщини, порушення

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

**XI.C.00.00.00 ПЗ**

Лист

42

зварних і клепаних швів і т. ін. Викривлення корпусу апарата визначається за допомогою профілографа і геодезичним безконтактним методом. Останній спосіб найбільш прийнятний для визначення максимальних викривлень корпусу барабанної сушарки. На працюючій сушарці проводиться вимір биття гарячого і холодного кінців і визначається експлуатаційний стан ущільнень.

Нормальна робота приводу характеризується відсутністю вібрацій, шуму і поштовхів у зачепленні і універсальному шпинделі, безперебійним надходженням масла в усі точки змащування.

Результати комплексного обстеження апарата зводяться в єдину схему за якою складається відомість дефектів агрегату. Аналогічним чином визначаються дефекти і допоміжного обладнання.

Для скорочення тривалості простою барабанної сушарки на ремонті, підвищення якості та зниження вартості ремонту – основні роботи виконують за проектом організації ремонтних робіт (ПОР).

ПОР включає в себе:

- ескіз сушарки;
- перелік ремонтних операцій і їх зміст;
- технічні умови на виконання ремонтних операцій;
- визначення перевіркової бази і методи перевірки;
- перелік матеріальних ресурсів, допоміжних інструментів і пристосувань;
- допуски відхилень розмірів від зазначених у кресленнях.

При виконанні ремонту обертових вузлів обов'язковим є застосування вузлового методу, який передбачає заміну всіх зношених вузлів новими (заздалегідь підготовленими) або ж відремонтованими.

При підготовці апарата до ремонту проводяться наступні роботи:

- готуються шляхи під'їзду і засоби доставки вузлів.
- встановлюються вантажопідйомні і підтримуючі пристрої.
- виконується укрупнена збірка вузлів.

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		43

Підготовчі роботи дозволяють зменшити тривалість капітального ремонту і провести його протягом 18–28 діб.

Перед здачею в ремонт з барабанної сушарки необхідно видалити клінкер і футеровку, ретельно очистити всі підлягаючі ремонту і розбиранню вузли. Найбільш часто ремонтіваними вузлами барабанної сушарки є корпус, роликові опори, бандажі, венцові пари, приводи, вентилятори і димососи, теплообмінні пристрої, холодильники, масляні системи, системи водяного охолодження, аспіраційні пристрої.

Майже кожна зупинка барабанної сушарки на капітальний ремонт супроводжується заміною дефектних ділянок корпусу. Така заміна проводиться шляхом установки нових обичайок довжиною від 1 до 20–30 м, причому найбільш часто замінюються ділянки по 3–4 м. При цьому потрібна установка підпор під консолі корпусу для запобігання можливого викривлення осі апарата в місці установки нових обичайок. Стиковка їх зі старим корпусом – доволі трудомістка операція, а застосування існуючих методів перевірки стикувань нерідко призводить до значних неточностей.

Привід є найбільш відповідальним вузлом. Від надійності його роботи залежить нормальна експлуатація усього агрегату. Відповідно до кінематичної схеми приводу сушарки, яка містить: електродвигун, редуктор, універсальний шпindel і венцову пару – найменш надійним в експлуатації і найбільш часто ремонтіваним вузлом вважається венцова пара.

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		44

## 5 Охорона праці

### Основні ізолювальні електрозахисні засоби для роботи на електроустановках. Правила користування та терміни випробувань.

Електрозахисні засоби – це технічні вироби, що не є конструктивними елементами електроустановок і використовуються при виконанні робіт в електроустановках з метою запобігання електротравм.

ДНАОП 1.1.10-1.07-01 "Правила експлуатації електрозахисних засобів" (в подальшому Правила) - чинний нормативний документ, в якому наведено перелік засобів захисту, вимоги до їх конструкції, обсягів і норм випробувань, порядку застосування і зберігання, комплектування засобами захисту електроустановок та виробничих бригад. Засоби захисту, що використовуються в електроустановках, повинні відповідати вимогам чинних державних стандартів, технічних умов щодо їх конструкції.

Електрозахисні засоби поділяються на ізолювальні (ізолюючі штанги, кліщі, накладки, діелектричні рукавиці тощо), огорожу-вальні (огороження, щитки, ширми, плакати) та запобіжні (окуляри, каски, запобіжні пояси, рукавиці для захисту рук).

Ізолюючі електрозахисні засоби поділяються на основні і додаткові.

Основні ізолюючі електрозахисні засоби розраховані на напругу установки і при дотриманні вимог безпеки щодо користування ними забезпечують захист працівників.

Додаткові електрозахисні засоби навіть у разі дотримання функціонального їх призначення не забезпечують надійного захисту працюючих і застосовуються одночасно з основними для підвищення рівня безпеки. У разі застосування основних електрозахисних засобів достатньо використовувати один додатковий засіб. Для захисту працівників від напруги кроку достатньо використовувати діелектричне взуття без застосування основних засобів.

У табл. 5.1 і 5.2 наведено перелік деяких основних і додаткових електрозахисних засобів залежно від величини напруги електроустановки.

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		45

Таблиця 5.1 – Основні електрозахисні засоби для роботи в електроустановках

До 1000 В включно	Понад 1000 В
Ізолюючі штанги	Ізолюючі штанги всіх видів
Ізолюючі кліщі	Ізолюючі кліщі
Електровимірювальні кліщі	Електровимірювальні кліщі
Показчики напруги	Показчики напруги
Діелектричні рукавиці	Пристрої для створення безпечних умов праці
Інструмент з ізолюючим покриттям	під час проведення випробувань і вимірювань в електроустановках (показчики напруги для фазування, показчики пошкодження кабелів тощо)

Таблиця 5.2 – Додаткові електрозахисні засоби для роботи в електроустановках

До 1000 В включно	Понад 1000 В
Діелектричне взуття	Діелектричні рукавиці
Діелектричні килими	Діелектричне взуття
Ізолюючі підставки	Діелектричні килими
Ізолюючі накладки	Ізолюючі підставки
Ізолюючі ковпаки	Ізолюючі накладки
Сигналізатори напруги	Ізолюючі ковпаки
Захисні огороження (щити, ширми)	Штанги для перенесення і вирівнювання потенціалу
Переносні заземлення	Сигналізатори напруги
Плакати і знаки безпеки	Захисні огороження (щити, ширми)
Інші засоби захисту	Переносні заземлення
	Плакати і знаки безпеки
	Інші засоби захисту

Для захисту працівників при виконанні робіт в умовах електричного поля, параметри якого перевищують допустимі, застосовуються індивідуальні екрану вальні комплекти одягу та екранувальні пристрої.

Вимоги щодо комплектування електроустановок електрозахисними засобами регламентуються Правилами, Положенням про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту (ДНАОП 0.00-4.26-96), галузевими чинними нормативами тощо [16].

В електроустановках для виконання оперативних вмикань (вимикань) роз'єднувачів, відокремлювачів, вимикачів напругою понад 1000 В з ручним приводом, установлення деталей розрядників тощо необхідно використовувати ізолювальні оперативні штанги; для виконання різних операцій (наприклад, для замінювання запобіжників) слід застосовувати універсальні ізолювальні оперативні штанги зі знімними головками (робочими частинами); у разі установлення на струмовідних частинах електроустановок переносних заземлень слід застосовувати штанги переносних заземлень; в електроустановках 110 кВ і більше для складених штанг переносних захисних заземлень допускається застосовувати металеві струмопровідні частини за наявності ізолювальної частини (з рукояткою).

В електроустановках різних класів напруг необхідно використовувати ізолювальні кліщі:

- в електроустановках напругою до 10 кВ – для замінювання запобіжників;
- в електроустановках напругою до 35 кВ – для знімання огорожень, накладок та для виконання інших аналогічних робіт.

Замість ізолювальних кліщів, у разі необхідності, допускається застосування ізолювальних штанг з універсальною головкою.

В електричних колах напругою до 10 кВ включно для вимірювання струму, напруги і потужності без порушення цілісності цих кіл необхідно застосовувати електровимірювальні кліщі, принцип дії яких полягає в тому,

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		47

що струм вимірюють приладом, увімкненим у вторинну обмотку трансформатора струму, а первинною обмоткою є шина або провід із струмом, що підлягає вимірюванню.

В електроустановках до і понад 1000 В для визначення наявності або відсутності напруги повинні застосовуватись показчики напруги контактного та безконтактного типів.

Показчики напруги повинні показувати режими «напруга наявна» або «напруга відсутня» змінюванням сигнального режиму. У цьому разі режим «напруга наявна» повинен забезпечуватись візуальною індикацією або (і) звуковою сигналізацією. Режим «напруга відсутня» повинен забезпечуватись відсутністю індикації та сигналізації.

У разі постійної автоматичної самоперевірки працездатності показчика напруги індикація і сигналізація справності повинні відрізнитись відчутним змінюванням тривалості (частоти або тембру – для звукової сигналізації або місцем розміщення – для світлової індикації) сигнального імпульсу і легко відрізнитись працівниками від показу режиму «напруга наявна».

Візуальна індикація та звуковий сигнал можуть бути неперервними, переривчастими або змінної інтенсивності.

Для показчиків напруги з неперервною візуальною індикацією та звуковою сигналізацією показом режиму «напруга наявна» потрібно вважати відчутне для працівника змінювання режиму відображення або звучання.

Для показчиків напруги з імпульсною візуальною індикацією та звуковою сигналізацією показом режиму «напруга наявна» потрібно вважати такий режим, коли інтервал між імпульсами візуальної індикації або звукової сигналізації не перевищує 2 с.

Під час визначення наявності напруги чіткий показ режиму «наявність напруги» повинен забезпечуватись:

– інтенсивністю візуальної індикації, яка повинна бути достатня для сприйняття в найнесприятливішому режимі за інтенсивністю освітлення

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		48

довкілля, коли має місце пряме попадання сонячних променів на покажчик напруги у робочому положенні;

– за умови орієнтування покажчика напруги рукояткою вниз (відхилення від вертикалі в ясну погоду повинно становити не менше 45°);

– звуковою сигналізацією достатньої інтенсивності сигналу, вимоги до якої наведено нижче.

Під «прямим попаданням сонячних променів» необхідно вважати, залежно від конструкції покажчика, попадання сонячних променів на корпус робочої частини покажчика напруги, затінювач або індикатор.

Для низьковольтних покажчиків напруги дозволяється штучне затінювання індикатора шляхом його відповідного орієнтування.

В електроустановках для пошуку пошкодженої ділянки розгалуженої кабельної або повітряно-кабельної мережі напругою 6, 10 кВ у разі будь-якого пошкодження ліній і обладнання, що призводить до замикання однієї або кількох фаз на землю, необхідно застосовувати світлосигнальні покажчики пошкодження кабелів, які за принципом дії є високовольтними випрямлячами змінного струму.

Світлосигнальні покажчики пошкодження кабелів повинні складатись з двох ізольованих корпусів, кожний з яких повинен мати робочу частину, в якій розміщуються елементи електричної схеми: газорозрядна індикаторна лампа, яка дозволяє визначати стан фази, що випробовується, за змінюванням висоти світлового стовпа; випрямні елементи, струмообмежувальні резистори; ізолювальну частину і рукоятку.

Окремі частини світлосигнальних покажчиків пошкодження кабелів повинні витримувати таку випробну напругу:

- 10 кВ протягом 60 с – робоча частина кожного корпусу покажчика;
- 40 кВ протягом 300 с – ізолювальні частини покажчика;
- 20 кВ протягом 60 с – ізоляція з'єднувального проводу.

Струм, що протікає через світлосигнальний покажчик пошкодження кабелів за робочої напруги, не повинен перевищувати 10 мА.

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		49



В електроустановках напругою до 1000 В включно як основний, а в електроустановках напругою понад 1000 В як додатковий електрозахисний засіб для захисту від торкання руками до частин електроустановки, що перебувають під напругою, необхідно застосовувати такі діелектричні рукавички: безшовні, виготовлені з натурального латексу (ревультексу), або із швом, виготовлені з листової гуми. Довжина діелектричних рукавичок повинна бути не менше 350 мм, а їхній розмір повинен давати змогу надягати під них вовняні або бавовняні рукавички – для захисту рук від холоду. Ширина діелектричних рукавичок по нижньому краю повинна дозволяти натягувати їх на рукава верхнього одягу [17].

Електрозахисні засоби повинні зберігатись у приміщеннях в спеціально відведених місцях сухими і чистими, в умовах, що виключають можливість їх механічних ушкоджень, шкідливої дії вологи, агресивного середовища, мастила тощо.

У встановлені нормативами терміни електрозахисні засоби повинні оглядатись із перевіркою їх наявності згідно з вимогами до комплектування; очищатись від пилу, забруднень тощо; періодично проходити спеціальні випробування на відповідність їх діелектричних, механічних та інших показників чинним вимогам.

Окрім того, електрозахисні засоби повинні оглядатись перед кожним їх застосуванням. При таких оглядах увага звертається на справність засобів захисту, відсутність тріщин, подряпин та деформації ізолюючих елементів, терміни чергової перевірки. У разі виявлення перерахованих дефектів чи простроченого терміну чергового випробування, користування електрозахисними засобами забороняється. При оглядах діелектричних рукавиць і діелектричного взуття увагу слід звертати на наявність вологи, забруднень, розривів, інших механічних пошкоджень. Відсутність розривів і проколів рукавичок перевіряється скручуванням їх від нарукавника в бік пальців.

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		50

Вимоги до термінів випробування електрозахисних засобів, методики і параметрів цих випробувань регламентуються Правилами залежно від типу електрозахисних засобів.

Електричні випробування електрозахисних засобів проводяться спеціально підготовленими працівниками. Кожний засіб захисту перед випробуваннями необхідно оглянути з метою перевірки розмірів, справності, комплектності, стану ізоляційної поверхні, наявності номера Випробування проводяться напругою змінного струму частотою 50 Гц при температурі повітря  $25 \pm 10^\circ\text{C}$  і регламентованій Правилами швидкості підвищення напруги. Результати випробувань оцінюються за величиною струму, що протікає через засоби захисту.

При позитивних результатах випробувань на засобах захисту проставляється штамп, що відповідає інвентарному номеру засобу захисту, даті наступного випробування та граничній напрузі застосування. Штамп на засобах захисту, застосування яких не залежить від напруги електроустановки (діелектричні рукавиці, ізолювальний інструмент), не містить величини напруги застосування. Результати випробувань засобів захисту оформляються протоколом встановленої форми [16].

Таблиця 5.3 – Норми і терміни електричних експлуатаційних випробувань засобів захисту [17]

Найменування засобів захисту	Номінальна напруга, для якої використовується електрозахисний засіб, кВ	Випробна напруга, кВ	Тривалість випробування, с	Струм, що протікає через виріб, мА, не більше	Періодичність випробувань
1	2	3	4	5	6
Штанги ізолювальні (крім вимірювальних)	До 1 До 35 включно 110 і більше	2-3-кратна лінійна, але не менше 40 3-кратна фазна	300 300 300	– – –	1 раз на 24 міс.

1	2	3	4	5	6
Ізолювальна частина штанг переносних заземлень з металевими ланками	110 – 220	50	300	–	1 раз на 24 міс.
	330 – 500	100	300	–	
	750	150	300	–	
Ізолювальні гнучкі елементи заземлення безштангової конструкції	500	100	300	–	1 раз на 24 міс.
	750	150	300	–	
Вимірювальні штанги	До 35 включно 110 і більше	3-кратна лінійна, але не менше 40	300	–	1 раз на 12 міс.
		3-кратна фазна	300	–	
Головки вимірювальних штанг	35 – 500	30	300	–	
Поздовжні і поперечні планки повзункових головок та ізолювальний капроновий канатик вимірювальних штанг	220 – 500	2,5 на 1 см	300	–	1 раз на 24 міс.
Показчики напруги понад 1000 В з газорозрядною лампою: – робоча частина (поздовжня ізоляція); – ізолювальна частина; – напруга індикації	До 10	12	60	–	1 раз на 12 міс.
	10 Б Г Б 20	24	60	–	
	20 Б Г Б 35	42	60	–	
	До 10	Не менше 40	60	–	
	10 Б Г Б 20	Не менше 60	60	–	
	20 Б Г Б 35	Не менше 105	60	–	
	110	Не менше 190	60	–	
	110 Б Г Б 220	Не менше 380	60	–	
	2 – 10	Не більше	–	–	
	6 – 10	0,55	–	–	
	10 Б Г Б 20	Не більше 1,5	–	–	
	20 Б Г Б 35	Не більше 2,5	–	–	
35 Б Г Б 220	Не більше 5,0	–	–		
Не більше 9,0		–	–		
Показчики напруги понад 1000 В безконтактного типу: – ізолювальна частина	6 – 35	105	300	–	1 раз на 12 міс.

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

**XI.C.00.00.00 ПЗ**

Лист

52

## Список використаних джерел

1. Лыков М. В. Сушка в химической промышленности / М. В. Лыков. – М. : Химия, 1970. – 432 с.
2. Вікіпедія. Хлорид калію [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [https://uk.wikipedia.org/wiki/Хлорид\\_калію](https://uk.wikipedia.org/wiki/Хлорид_калію)
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. Получение хлорида калия методом флотации [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://studfile.net/preview/2278246/page:10/>
5. Основные процессы и аппараты химической технологии : Пособие по проектированию / Под ред. Дытнерского Ю. И. – М. : Химия, 1983. – 272 с.
6. 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.
7. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М. : Химия, 1973. – 752 с.
8. Лазинский А. А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / А. А. Лазинский, А. Р. Толчинский. – Л. : Машиностроение, 1970. – 752 с.
9. Лазинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов : Справочник / А. А. Лазинский. – Л. : Машиностроение, 1981. – 382 с.
10. Лебедев П. Д. Расчет и проектирование сушильных установок / П. Д. Лебедев. – М.–Л. : Госэнергоиздат, 1963. – 320 с.
11. Машины и аппараты химических производств. Примеры и задачи / Под общ. ред. В. Н. Соколова. – Л. : Машиностроение, 1982. – 384 с.

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		53

12. Основные процессы и аппараты химической технологии : Пособие по проектированию / Под ред. Дытнерского Ю. И. – М. : Химия, 1983. – 272 с.
13. Методичні вказівки до вивчення дисципліни «Машини та апарати хімічних виробництв» зі спеціальності 7.090220 «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів» : для студ. денної та заочної форм навчання / С. І. Якушко. – Суми : СумДУ, 2007. – 57 с.
14. 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.
15. Ермаков В.И. Ремонт и монтаж химического оборудования / В.И. Ермаков, В.С. Шейн. – Л. : Химия, 1981. – 368 с.
16. Система електрозахисних засобів [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://westudents.com.ua/glavy/3276-sistema-elektrozahisnih-zasobv.html>
17. Основні ізолювальні електрозахисті засоби для роботи в електроустановках. Правила користування та терміни випробувань [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.kazedu.kz/referat/169461/2>

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
						<b>54</b>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		