

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
"Обладнання нафто- та газопереробних виробництв"

Тема роботи: Виробництво хлориду натрію. Розробити барабанну сушарку

Виконала:
студентка групи ХМ-71/2хо
Петренко Світлана Володимирівна

підпис

Залікова книжка

№ _____

Кваліфікаційна робота бакалавра
захищена на засіданні ЕК

з оцінкою _____

" ____ " _____ 20__ р.

Підпис голови
(заступника голови) комісії

Керівник:

канд. техн. наук, ст. викладач

Острога Руслан Олексійович

підпис, дата

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

Спеціальність 133 "Галузеве машинобудування"
Освітня програма "Обладнання нафто- та газопереробних виробництв"

Курс 4 Група ХМ-71/2хо Семестр 8

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Студентці Петренко Світлані Володимирівні

1 Тема роботи: Виробництво хлориду натрію. Розробити барабанну сушарку

2 Вихідні дані: Розробити барабанну сушарку для сушіння кристалів хлориду натрію. Продуктивність за вологим матеріалом 60 000 т/рік. Вологість матеріалу (% на загальну масу): початкова – 5,5; кінцева – 0,5. Температура матеріалу (°C): початкова – 20; кінцева – 80. Теплоносій – повітря з початковою температурою 180°C. Усереднений розмір частинок матеріалу 1 мм.

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

- | | |
|--|------------|
| 1. <u>Технологічна схема виробництва</u> | – 1,0 арк. |
| 2. <u>Складальне креслення барабанної сушарки</u> | – 1,0 арк. |
| 3. <u>Складальне креслення упорного ролика та фланця</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. Чернобыльский И.И. Машины и аппараты химических производств / И.И. Чернобыльский, А.Г. Бондарь, Б.А. Гаевский [и др.]. – М. : Машиностроение, 1974. – 456 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 2020 р.

Керівник

підпис

ст. викл. Острога Р.О.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 47 с., 9 рис., 2 табл., 2 додатки, 19 джерел.

Графічні матеріали: технологічна схема виробництва хлориду натрію, складальне креслення барабанної сушарки, складальне креслення упорного ролика, креслення фланця – усього 3 аркуша формату А1.

Тема кваліфікаційної роботи «Виробництво хлориду натрію. Розробити барабанну сушарку».

У роботі наведено теоретичні основи і особливості процесу сушіння, виконані технологічні розрахунки процесу, визначені габаритні розміри апарата, обґрунтований вибір конструкції апарата та матеріалів для виготовлення основних його елементів. Виконано розрахунок та проведено підбір допоміжного обладнання. Розрахунками на міцність та герметичність показана надійність роботи запроєктованого апарата. Окремим розділом представлена організація монтажних і ремонтних робіт барабанної сушарки. У розділі «Охорона праці» розглянуто фактори, що визначають наслідки ураження електричним струмом людини, а також види уражень.

Ключові слова: ВИРОБНИЦТВО, ХЛОРИД НАТРІЮ, БАРАБАННА СУШАРКА, МОНТАЖ, РЕМОНТ, ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ, УРАЖЕННЯ.

Зміст

	С.
Вступ	5
1 Технологічна частина	7
1.1 Опис технологічної схеми виробництва	7
1.2 Теоретичні основи процесу сушіння	9
1.3 Опис конструкції барабанної сушарки та вибір основних конструкційних матеріалів	11
2 Технологічні розрахунки процесу і апарата	16
2.1 Технологічні розрахунки	16
2.2 Конструктивні розрахунки	19
2.3 Гідравлічні розрахунки	21
2.4 Вибір допоміжного обладнання	22
3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність	25
4 Монтаж та ремонт апарата	33
4.1 Монтаж апарата	33
4.2 Ремонт апарата	35
5 Охорона праці	38
Список використаних джерел	46
Додаток А – Зображення процесу сушіння на діаграмі Рамзина	
Додаток Б – Специфікації до графічної частини проекту	

					XI.C.00.00.00 ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Барабанна сушарка Пояснювальна записка	<i>Лім.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Розроб.</i>	Петренко						4	47
<i>Перевір.</i>	Острога							
<i>Реценз.</i>								
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>	Склабінський				СумДУ, ХМ-71/2хо			

Вступ

Хлорид натрію становить основу кухонної солі, яка є найпопулярнішою приправою до їжі. У природі хлористий натрій зустрічається в морській воді, солоних озерах, в соляних підземних водах, в викопному вигляді (галіт, кам'яна сіль). Галіт – це мінеральна форма NaCl. Кам'яна сіль – це осадова порода, що містить 90 % галіту і домішки заліза, гіпсу, магнезиту, тальку, бітумів, з'єднань калію, кальцію, магнію, йоду, бромю, бору. Кожне родовище кам'яної солі має свій унікальний склад [1].

Відомі різні методи утилізації та переробки галітових відходів. Галітові відходи є побічним продуктом основної стадії виробництва. Кількість хлориду натрію в природному сильвініті дуже велике (до 90 %). При переробці хлорид натрію йде у відвал. Склад галітових відходів наступний (мас. %): NaCl – 80– 92; KCl – 1,2–5,5; CaSO₄ – 0,3–2; MgCl₂ – 0,05–0,2; нерозчинний осад – 1–2, вологість – 6–10 %. Деяка кількість галітових відходів без додаткової обробки може бути використана в дорожньому та комунальному господарстві, а також гірничорудній промисловості. Однак потреба в цих галузях не перевищує 30–35 % від загальної кількості вироблених відходів. Інша їх частина повинна бути перероблена або утилізована. Однією із перспективних галузей використання галітових відходів є переробка їх на технічну або харчову поварену сіль. Труднощі отримання харчової кухонної солі полягає в тому, що при флотаційному методі переробки сильвініту у відходах залишаються флотореагенти. Тому необхідно вводити додаткові операції для очищення кухонної солі від органічних речовин [1].

Видалення вологи з твердих і пастоподібних матеріалів здешевлює їх транспортування і надає їм певні фізико-хімічні властивості, а також зменшує корозію апаратури. Вологу можна видаляти механічними способами: віджимання, центрифугування, відстоювання – цими способами волога видаляється частково. Більш ретельне видалення вологи здійснюється шляхом теплового сушіння: випаровування вологи та видалення парів.

Під сушінням розуміють сукупність термічних і масообмінних процесів у поверхні (зовнішня задача) і всередині (внутрішня задача) вологого матеріалу, що

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

сприяють його зневодненню. Зневоднення матеріалів, у тому числі і сушіння, призначається для поліпшення їх якості і довговічності. Тому в ряді випадків сушіння супроводжується структурно-механічними, хімічними, біохімічними, реологічними змінами. Швидкість протікання цих процесів і ступінь їх завершеності залежить не тільки від способу підведення теплоти до матеріалу, а й від режиму сушіння [2].

Дана кваліфікаційна робота являє собою комплексний навчально-дослідний та практичний проект, який виконано у відповідності до методичних вказівок [3] із представленням усіх регламентованих розділів.

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

1 Технологічна частина

1.1 Опис технологічної схеми виробництва

Технологічну схему отримання хлориду натрію представлено на рис. 1. У даний спосіб кухонну сіль отримують у результаті безпосередньої переробки неочищеного розсолу, отриманого при підземному розчиненні кам'яної солі та забрудненого домішками. При цьому виключене хімічне очищення розсолу від домішок, а також термічна обробка розсолу для осадження з нього домішок перед виділенням кухонної солі.

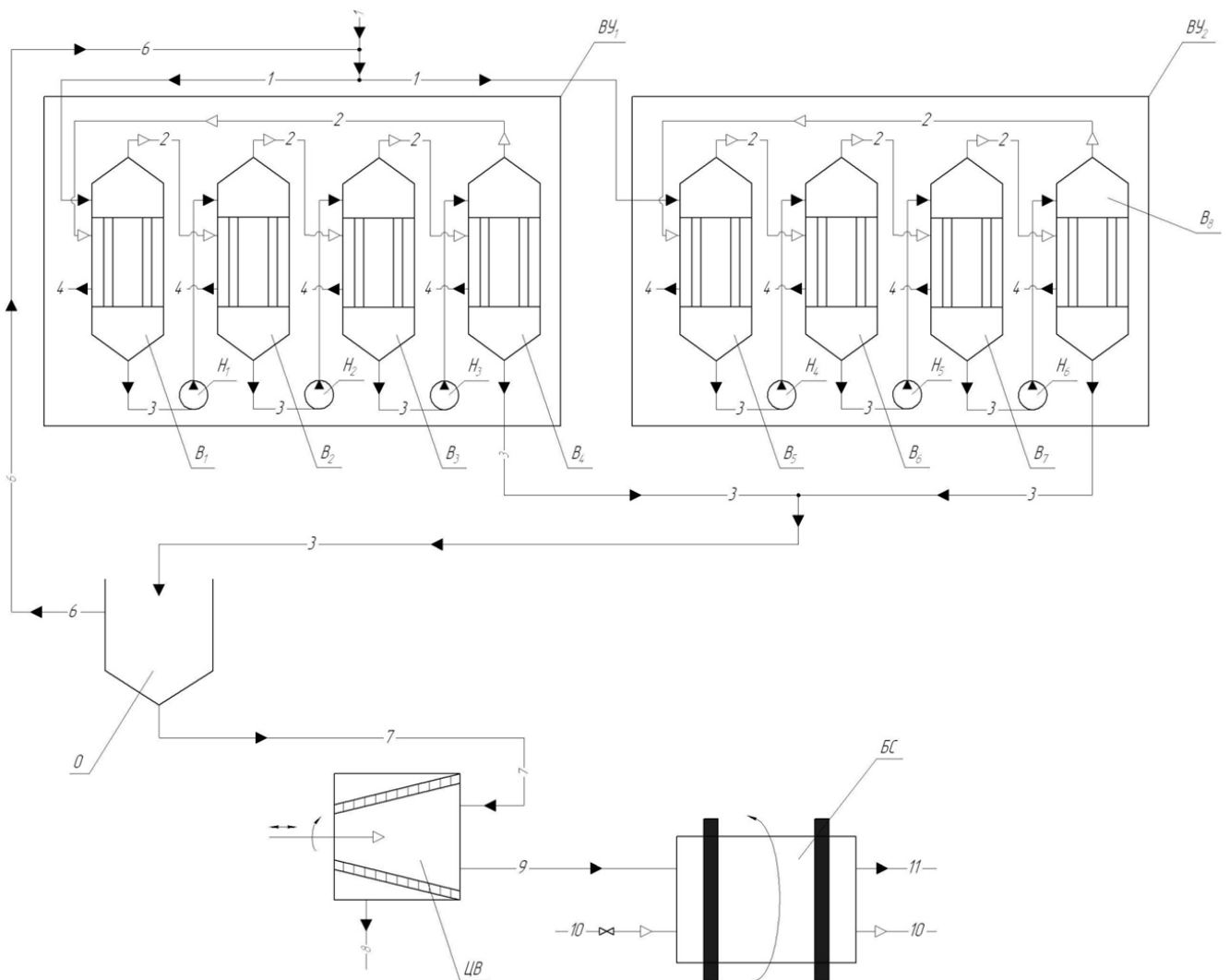


Рисунок 1 – Технологічна схема виробництва хлориду натрію:

$ВУ_{1-2}$ – випарна установка; $В_{1-8}$ – випарний апарат; $О$ – відстійник;

$ЦВ$ – центрифуга; $БС$ – барабанна сушарка; $Н_{1-6}$ – насос

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

XI.C.00.00.00 ПЗ

Лист

7

Принцип роботи даної установки полягає у наступному. Неочищений розсіл, що містить домішки, подається на багатокорпусні випарні установки BV_1 та BV_2 , що складаються з чотирьох корпусів ($B_1 - B_4$ та $B_5 - B_8$). У процесі випарювання з розсолу кристалізується кухонна сіль, а також накипформуючі домішки, головним чином сульфат і карбонат кальцію. Однак з огляду на те, що при випарюванні підтримується спеціальний технологічний режим, забезпечується відсутність відкладень накипу на теплопередавальних поверхнях і забивання сіллю теплообмінних труб випарних апаратів. Це досягається тим, що в упареній суспензії підтримують концентрацію твердої кристалічної солі, що дорівнює 30–40 %. При цьому в ній містяться кристали накипформуючих домішок, що відіграють роль затравки, на яких осідають виділені домішки. Підтримання зазначеного технологічного режиму дозволяє випарній установці працювати без зниження продуктивності безперервно протягом 15–30 діб. Застосування багатокорпусної випарної установки для отримання кухонної солі дає можливість істотно знизити енерговитрати і зменшити собівартість солі.

Упарену суспензію, яка містить кристали кухонної солі і домішок, згущують у відстійнику O . При цьому в освітленому розчині знаходяться кристали домішок набагато менші за кристали кухонної солі і тому йдуть із освітленим розчином. Освітлений розчин разом із кристалами домішок змішується з вихідним неочищеним розсолом і знову подається на випарювання, а сіль спрямовується у центрифугу $ЦВ$ на зневоднення.

Після зневоднення вологість солі складає 5,5 % мас. Заключною технологічною стадією отримання товарної солі $NaCl$ є її сушіння. Видалення зайвої вологи відбувається в барабанній сушарці $БС$ внаслідок пропускання потоку гарячого повітря, яке має початкову температуру $180^\circ C$. Процес сушіння закінчується, коли вологість продукту становить не більше 0,5 % мас.

Після барабанної сушарки передбачений циклон (на схемі не показано). У циклоні відбувається уловлювання винесених з апарату частинок. Після циклону повітря очищається від пилу в патронному фільтрі (на схемі не показано). Очищене повітря викидається в атмосферу.

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

1.2 Теоретичні основи процесу сушіння

Теоретичні основи досліджуваного процесу, які подано у цьому підрозділі, виконано на підставі аналізу літературних джерел [2, 4, 5].

Кількість вологи W , яка видаляється з матеріалу в процесі сушіння при зміні вмісту вологи матеріалу (вважаючи на суху речовину) від ω_H до ω_K ,

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

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

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

$$G_C = \frac{W}{x_K - x_H},$$

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) $\nu_{вд}$ (м³/кг) розраховується за формулою:

$$\nu_{вд} = \frac{R_B \cdot T}{P - \varphi_B \cdot P_{нас}}$$

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

T – температура повітря, К;

P – загальний тиск пароповітряної суміші, Па;

φ_B – відносна вологість повітря, частки;

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

Різниця питомих витрат теплоти в дійсній і в теоретичній сушарках:

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
						9
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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:

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

де q_{MAT} – питома теплота, що витрачається на нагрівання матеріалу від температури θ_H до температури θ_K , Дж/кг;

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

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

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

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

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

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

Вибір способу сушіння, а відповідно і типу сушарки, залежить від хімічних властивостей матеріалу. Для сушіння як органічних, так і неорганічних речовин найбільш часто застосовуються барабанні сушарки.

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
						10
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Барабанні сушарки 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 градусів.

Барабанні атмосферні сушарки (рис. 2) – 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.

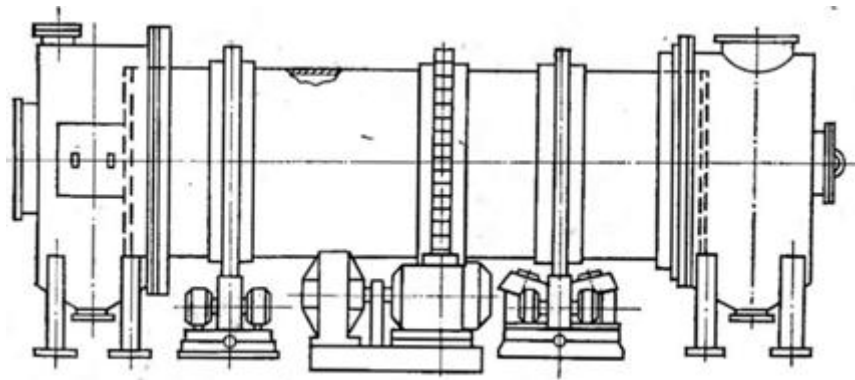


Рисунок 2 – Барабанна атмосферна сушарка

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, із жаростійких сталей спеціальних марок. Барабанні сушарки випускаються серійно [6–7].

1.3 Опис конструкції барабанної сушарки та вибір основних конструкційних матеріалів

На рис. 3 представлено схему проектованої барабанної сушарки з основними потоками.

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		11

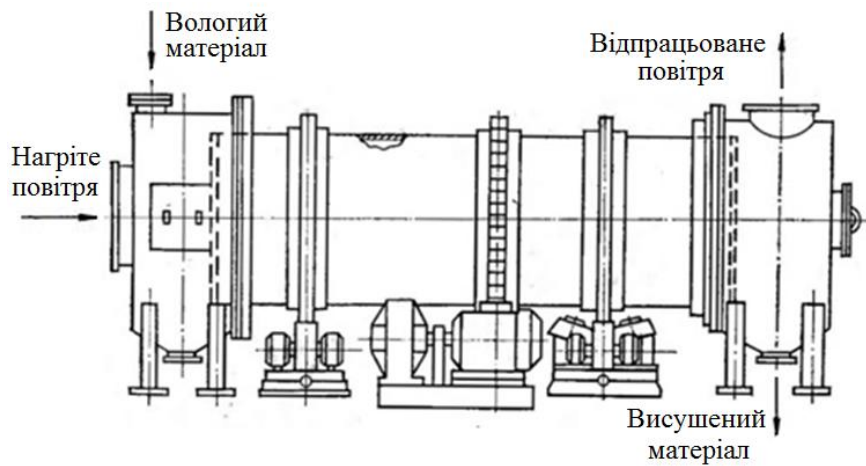


Рисунок 3 – Схема барабанної сушарки

Барабанна сушарка складається із циліндричного барабану. Для кращого перемішування матеріалу і переміщення його уздовж сушарки барабан встановлений із невеликим нахилом до горизонту (близько $2-3^\circ$) у сторону розвантажування, і спирається за допомогою бандажів на опорно-упорні ролики. Барабан приводиться в обертання за допомогою електродвигуна через зубчасту передачу венцової шестерні та редуктора. Число обертів барабану не перевищує 5–8 об/хв.

Принцип роботи даної сушарки полягає у наступному. Матеріал подається в барабан за допомогою живильника, попередньо підсушується. У середині барабана встановлена спеціальна насадка, конструкція якої залежить від властивостей матеріалу, що висушується. З боку завантажувальної камери розташована багатозапірна гвинтова насадка з кількістю спіральних лопатей від 6 до 16 (у залежності від діаметра барабана). Також на початковій ділянці поверхні барабана закріплені ланцюги, за допомогою яких руйнуються грудки і очищаються стінки барабана. Для цієї ж мети можуть використовуватися й ударні пристосування, розташовані із зовнішнього боку барабана.

Далі насадка забезпечує рівномірний розподіл і гарне перемішування матеріалу по усьому перетину барабану, а також сприяє тісному зіткненню при пересипанні із повітрям.

На рис. 4 представлені різні типи внутрішніх насадок барабанів.

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

та фасонного прокатів, труб, спеціальних поковок та відливків тощо. Матеріали повинні бути хімічно- та корозійно-стійкими в робочому середовищі, при відповідних робочих параметрах; володіти гарною зварюваністю; відповідними показниками міцності та пластичності; допускати холодну та гарячу механічну обробку, а також мати якомога нижчу вартість та не бути дефіцитними. Якість, хімічний склад та механічні властивості матеріалів повинні відповідати вимогам діючих стандартів [7].

Вибір конструкційних матеріалів проводиться на підставі аналізу умов експлуатації обладнання, параметрів процесу (таких як температура, тиск, концентрація робочих середовищ та їх агресивність). Також, обираючи матеріали заготовок, враховують: механічні властивості матеріалів, хімічну стійкість, теплопровідність, технологічність у виготовленні та вартість матеріалу. Одним із найважливіших показників при виборі матеріалу є здатність матеріалу добре зварюватися, адже більшість нероз'ємних з'єднань при виготовленні хімічних апаратів виконують зварюванням. Хімічна промисловість відрізняється застосуванням агресивних речовин, а тому корозійна стійкість матеріалів є ключовим фактором при виборі матеріалу обладнання та визначає довголіття хімічного обладнання [6–7].

Основний матеріал для виготовлення барабана, 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 [5].

Із огляду на вищезазначене, 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 і 2 [8].

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

Таблиця 1 – Механічні властивості сталі 20 при температурі 20°C

Стан поставки	σ_B (МПа)	δ_5 (%)	Ψ (%)	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 сфероїдизуючого відпалення	340–440		50	163
– загартування без термообробки	490		40	207
Смуги нормалізовані або гарячекатані	410	25	55	
Лист тепло обробний першої та другої категорій	340–490	28		127

Таблиця 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

Бандажі виготовляються зі сталі 40 або 45Л, як правило, прямокутної форми в поперечному перерізі. Опорні ролики будуть відлиті з 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.

У якості прокладкового матеріалу (для ущільнення з'єднань) використовуємо пароніт ПОН-1 – це листовий матеріал, виготовлений пресуванням азбокаучукової маси, яка складається із азбесту, каучуку і порошкових інгредієнтів.

					<i>XI.C.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		15

2 Технологічні розрахунки процесу і апарата

2.1 Технологічні розрахунки

Технологічний розрахунок проводимо відповідно до методики, викладеної в [9]. Для сушарки барабанного типу вибираємо прямотокову схему руху матеріалу і теплоносія (рис. 5).

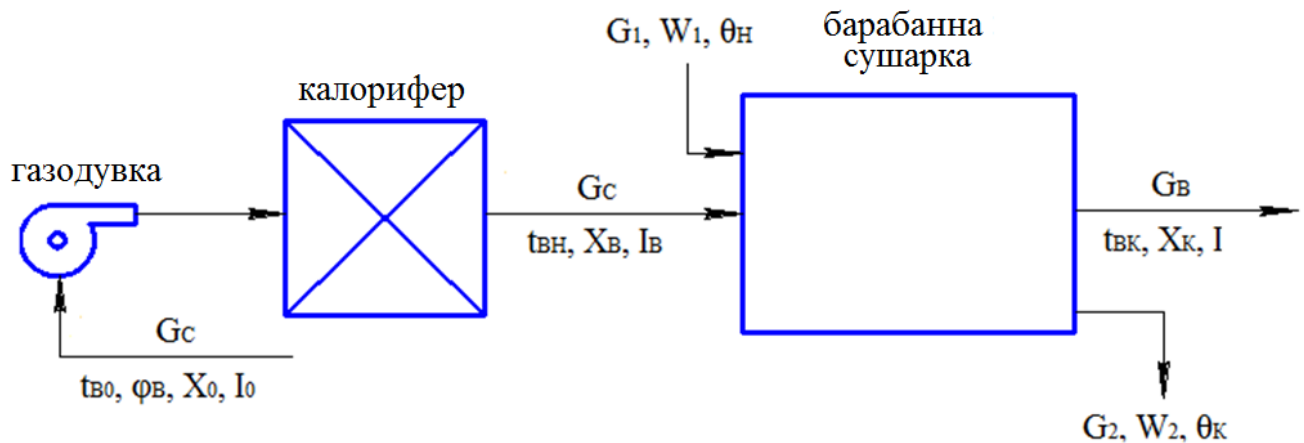


Рисунок 5 – Розрахункова схема сушильної установки

Для початку визначаємо середньорічні параметри повітря в місті Суми: у цілому клімат міста є помірно континентальним з прохолодною зимою і теплим літом. Середньорічна температура повітря становить $t_{в0} = 8^{\circ}\text{C}$, а відносна вологість повітря в середньому за рік становить $\phi_{в0} = 74\%$.

За рекомендаціями [9] приймаємо коефіцієнт заповнення барабана $\psi = 0,15$. За діаграмою Рамзина (див. Додаток А) параметри повітря перед калорифером складають: точка А на діаграмі ($X_0 = 0,005$ кг/кг; $I_0 = 20$ кДж/кг).

Тоді параметри повітря у калорифері: точка В ($t_{вн} = 180^{\circ}\text{C}$, $X_{в} = 0,005$ кг/кг, $I_{в} = 170$ кДж/кг).

Параметрами точки C_1 є: постійна ентальпія $I_{в} = 170$ кДж/кг і кінцева температура повітря, яку приймаємо за практичними даними $t_{вк} = 90^{\circ}\text{C}$ [9].

При теоретичному процесі сушіння питома теплота визначається з наступного рівняння:

$$q_T = \frac{I_B - I_0}{X_{ВИХ} - X_0}, \quad (1)$$

де $X_{ВИХ}$ – вміст вологи у повітрі на виході з сушарки при теоретичному процесі, кг/кг. За діаграмою Рамзина $X_{ВИХ} = 0,028$ кг/кг (точка C_1 , Додаток А).

$$q_T = \frac{170 \cdot 10^3 - 20 \cdot 10^3}{0,028 - 0,005} = 6,5 \cdot 10^6 \text{ (Дж/кг)}.$$

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

Із рівняння лінії реального процесу сушіння

$$I = I_B - \Delta q \cdot (X - X_0), \quad (2)$$

приймавши будь-яке значення X , менше $X_{ВИХ}$, визначаємо I , попередньо розрахувавши витрату вологи W , що випаровується, і поправку Δq для реального процесу сушіння.

Витрата вологи, що випаровується:

$$W = G_1 \cdot (\omega_H - \omega_K), \quad (3)$$

$$W = 60000 \cdot 1000 / (365 \cdot 24) \cdot (0,055 - 0,005) = 340 \text{ (кг/год.)}$$

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

$$q_{МАТ} = \frac{G_1 \cdot c_M \cdot (\theta_K - \theta_H)}{W}, \quad (4)$$

де c_M – питома теплоємність хлориду натрію, $c_M = 840$ Дж/(кг·К) [10].

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

$$q_{MAT} = \frac{6800 \cdot 840 \cdot (60 - 26)}{340} = 5,7 \cdot 10^5 \text{ (Дж / кг)}.$$

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

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

Різниця температур в теоретичній і реальній сушарках:

$$\Delta q = q_{MAT} + q_{ПОТ} - c_{\omega} \cdot t_{B0}, \quad (5)$$

$$\Delta q = 5,7 \cdot 10^5 + 6,5 \cdot 10^5 - 4190 \cdot 6,6 = 1,2 \cdot 10^6 \text{ (Дж/кг)}.$$

Прийнявши значення $X = 0,02$ кг/кг, за рівнянням (2) розраховуємо:

$$I = 170 \cdot 10^3 - 1,2 \cdot 10^6 \cdot (0,02 - 0,005) = 152 \cdot 10^3 \text{ (Дж/кг)}.$$

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

– точка В має координати ($X_B = 0,005$ кг/кг; $I_B = 170$ кДж/кг);

– точка D має координати ($X = 0,02$ кг/кг; $I = 152$ кДж/кг),

до перетину з ізотермою $t_{BK} = 90^\circ\text{C}$. Відповідно, знаходимо вміст вологи у повітрі, який залишає барабану сушарку: $X_K = 0,021$ кг/кг (точка С, Додаток А).

Витрата сухого теплоносія в сушарці:

$$G_C = \frac{W}{X_K - X_0}, \quad (6)$$

$$G_C = \frac{340}{0,021 - 0,005} = 21250 \text{ (кг/год.)}$$

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		18

Витрата вологого теплоносія на виході з сушарки:

$$V_B = V_{num} \cdot G_C, \quad (7)$$

$$\text{де } v_{num} = \frac{R_B \cdot T}{P - \phi_v p_{нас}} = \frac{287 \cdot (273 + 90)}{10^5 - 0,78 \cdot 3,22 \cdot 10^4} = 1,4 \text{ (м}^3/\text{кг)};$$

$$V_B = 1,4 \cdot 21250 = 29750 \text{ (м}^3/\text{кг)}.$$

2.2 Конструктивні розрахунки

Прийmemo швидкість повітря на виході з сушарки за [9]: $\omega_r = 4$ м/с при розмірі частинок $\delta_{ч} = 1$ мм і насипній щільності матеріалу $\rho_n = 950$ кг/м³.

Внутрішній діаметр сушильного барабана:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot V_B}{\pi \cdot (1 - \psi) \cdot \omega_r}}; \quad (8)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 29750}{\pi \cdot (1 - 0,15) \cdot 4 \cdot 3600}} = 1,76 \text{ (м)}.$$

Прийнявши товщину футерування $\delta_{\phi} = 0,15$ м [9], розрахуємо зовнішній діаметр сушарки:

$$D_H = D + 2 \cdot \delta_{\phi}; \quad (9)$$

$$D_H = 1,76 + 2 \cdot 0,15 = 2,06 \text{ (м)}.$$

Згідно [9] вибираємо сушильний барабанний апарат із зовнішнім діаметром 2200 мм.

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

Згідно [10], приймаємо напруженість барабана за вологою $A=6,5$ кг/(м³·год), тоді необхідний внутрішній об'єм барабана буде дорівнювати:

$$V_B = \frac{W}{A}; \quad (10)$$

$$V_B = \frac{340}{6,5} = 52,3 (\text{м}^3).$$

При цьому довжина барабана складе:

$$L = \frac{4 \cdot V_B}{\pi \cdot D_B^2}; \quad (11)$$

$$L = \frac{4 \cdot 52,3}{\pi \cdot 2,2^2} = 13,8 (\text{м}).$$

За [9] остаточно вибираємо сушарку СБ 2,2 – 14.

Попередня товщина стінки барабана δ , мм, знаходиться в межах:

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

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

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

Із можливого діапазону приймаємо $\delta = 14$ мм.

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

2.3 Гідравлічні розрахунки

У цьому підрозділі визначаємо гідравлічний опір сушильного барабана за методикою [11].

Густина і динамічна в'язкість повітря при усередненій температурі $t_{вср} = 120^{\circ}\text{C}$ відповідно дорівнюють: $\rho_{вср} = 0,9 \text{ кг/м}^3$; $\mu_{вср} = 22 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}$.

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

Еквівалентний діаметр барабана для секторної насадки:

$$D_E = \frac{\pi \cdot D \cdot \varphi}{\pi + Z}, \quad (12)$$

де Z – відношення довжини барабана до його внутрішнього діаметра;

$$Z = 14 / (2,2 - 2 \cdot 0,15) = 7,4;$$

$$D_E = \frac{\pi \cdot (2,2 - 2 \cdot 0,15) \cdot 0,85}{\pi + 7,4} = 0,48 \text{ (м)}.$$

Критерій Рейнольдса для частинок розміром $\delta_{ср} = 0,85 \text{ мм}$.

$$\text{Re} = \frac{\omega_{\Gamma} \cdot \delta_{ср} \cdot \rho_{вср}}{\mu_{вср}}, \quad (13)$$

$$\text{Re} = \frac{4 \cdot 0,85 \cdot 0,9}{22 \cdot 10^{-6}} = 139090.$$

За рисунком [11] визначаємо як для гладкої труби: $\lambda_{\text{Б}} = 2$.

Таким чином, опір барабана (без урахування транспортуючого матеріалу):

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
						21
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta P_B = \lambda_B \cdot \frac{L}{D_E} \cdot \omega_{\Gamma}^2 \cdot \rho_{\text{вср}}; \quad (14)$$

$$\Delta P_B = 2 \cdot \frac{14}{0,48} \cdot 4^2 \cdot 0,9 = 840 \text{ (Па)}.$$

Відносна масова концентрація матеріалу:

$$y = \frac{G_1 + (G_1 - W)}{2} \cdot G_C \cdot X_K, \quad (15)$$

$$y = \frac{6800 + (6800 - 340)}{2 \cdot 3600} \cdot \frac{21250}{3600} \cdot 0,021 = 0,228 \text{ (кг/кг)}.$$

Опір сушильного барабана при $k = 1,4$ [11]:

$$\Delta P = \Delta P_B \cdot (1 + k \cdot y); \quad (16)$$

$$\Delta P = 840 \cdot (1 + 1,4 \cdot 0,228) = 1108 \text{ (Па)}$$

За літературними даними [11] опір барабанної сушарки знаходиться у діапазоні 1000–1500 Па при швидкості сушильного агента 3–5 м/с і заповненні барабану до 20 %. Отже, наше отримане значення ($\Delta P = 1108$ Па) відповідає вказаному чисельному діапазону.

2.4 Вибір допоміжного обладнання

Розрахунок і вибір повітродувки [9].

Подача сушильного агента (повітря) в барабанну сушарку забезпечується за допомогою повітродувки.

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

Повітродувку підбирають у залежності від номінальної подачі і створеного тиску, необхідного для подолання опорів повітряного тракту з метою нормальної роботи сушарки. Загальний тиск, що розвивається повітродувкою (P , Па) визначається за формулою:

$$P = 1,05 \cdot (\Delta P_1 + \Delta P_2), \quad (17)$$

де $\Delta P_1 = 1108$ Па – опір барабанної сушарки;

$\Delta P_2 = 500$ Па – опір калорифера (приймається);

1,05 – коефіцієнт, який враховує втрати тиску в газопроводах (5 %).

$$P = 1,05 \cdot (1108 + 500) = 1688 \text{ (Па)}.$$

Потужність, споживана повітродувкою:

$$N = \frac{V \cdot P}{1000 \cdot \eta}, \quad (18)$$

де V – об'ємна витрата повітря, необхідного для висушування матеріалу;

η – загальний ККД повітродувки; приймаємо $\eta = 0,6$.

Визначаємо об'ємну подачу повітря вентилятором:

$$V = \frac{G_C \cdot (t_{B0} + 273)}{3600 \cdot \rho_B \cdot 273} = \frac{21250 \cdot (6,6 + 273)}{3600 \cdot 1,25 \cdot 273} = 4,84 \text{ (м}^3\text{/с)}. \quad (19)$$

$$N = \frac{4,84 \cdot 1688}{1000 \cdot 0,6} = 13,6 \text{ (кВт)}.$$

Із запасом 30 % вибираємо повітродувку марки ВР-225 з наступними характеристиками: продуктивність – 377 м³/хв.; максимальний перепад тиску – 70 кПа; електродвигун типу АО1-160-2 потужністю 160 кВт.

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

Розрахунок і вибір циклону [9].

Циклонні апарати внаслідок дешевизни і простоти пристрою і експлуатації, відносно невеликого опору і високої продуктивності є найбільш поширеним типом механічних пиловловлювачів.

Розраховуємо площу перетину циклону:

$$F = \frac{V}{v_0}, \quad (20)$$

де v_0 – оптимальна швидкість газового потоку в циклоні, приймаємо $v_0 = 4,5$ м/с.

$$F = \frac{4,84}{4,5} = 1,08 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Визначаємо діаметр циклону:

$$D = 1,13 \cdot \sqrt{F} = 1,13 \cdot \sqrt{1,08} = 1,17 \text{ (м)}. \quad (21)$$

Із ряду типорозмірів вибираємо циклон ЦН-24 діаметром 1,2 м.

Розраховуємо дійсну швидкість повітря в циклоні:

$$v_0' = \frac{1,27 \cdot V}{D^2} = \frac{1,27 \cdot 4,84}{1,2^2} = 4,27 \text{ (м/с)}. \quad (22)$$

Розраховуємо відхилення дійсної швидкості газу в циклоні від оптимальної:

$$\frac{v_0 - v_0'}{v_0} \cdot 100 \% = \frac{4,5 - 4,27}{4,5} \cdot 100 \% = 5,1 \% . \quad (23)$$

					<i>XI.C.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		24

3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність

Маса матеріалу, який знаходиться в сушарці:

$$m_M = \frac{\psi \cdot \rho \cdot L \cdot \pi \cdot D_\phi^2}{4}, \quad (24)$$

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

$$m_M = \frac{0,15 \cdot 2165 \cdot 14 \cdot \pi \cdot 1,872^2}{4} = 12500 \text{ (кг)}.$$

Маса барабана з футеровкою:

$$m_B = \frac{\pi \cdot (D_H^2 - D^2)}{4} \cdot L \cdot \rho_M + \frac{\pi \cdot (D^2 - D_\phi^2)}{4} \cdot L \cdot \rho_\phi, \quad (25)$$

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

$D_\phi = D - 2 \cdot \delta_\phi = 2172 - 2 \cdot 150 = 1872 \text{ мм}$;

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

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

$$m_B = \frac{\pi \cdot (2,2^2 - 2,172^2)}{4} \cdot 14 \cdot 7850 + \frac{\pi \cdot (2,172^2 - 1,872^2)}{4} \cdot 14 \cdot 2200 = 39900 \text{ (кг)}.$$

Сумарна маса барабана і матеріалу:

$$m = m_B + m_M, \quad (26)$$

$$m = 39900 + 12500 = 52400 \text{ (кг)}.$$

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		25

Лінійна напруга (див. рис. 6):

$$q = \frac{m \cdot g}{L} = \frac{52400 \cdot 9,81}{14} = 36700 \text{ (Н/м)}. \quad (27)$$

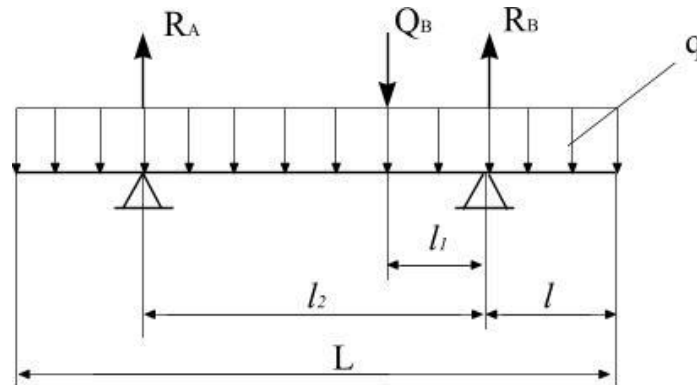


Рисунок 6 – Розрахункова схема для визначення товщини стінки бандажа

Реакція на опорах:

$$R_A = \frac{q \cdot L}{2} + \frac{Q_B \cdot l_1}{l_2}, \quad (28)$$

де $l_2 = 0,585 \cdot L = 0,585 \cdot 14 = 8,19 \text{ м}$;

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

$l_1 = 0,09 \cdot L = 0,09 \cdot 14 = 1,26 \text{ м}$;

$Q_B = 20900 \text{ Н}$ – навантаження від венцової шестерні [9].

$$R_A = \frac{36700 \cdot 14}{2} + \frac{20900 \cdot 1,26}{8,19} = 260000 \text{ Н};$$

$$R_B = \frac{q \cdot L}{2} + \frac{Q_B \cdot (l_2 - l_1)}{l_2} = \frac{36700 \cdot 14}{2} + \frac{20900 \cdot (8,19 - 1,26)}{8,19} = 274600 \text{ Н}. \quad (29)$$

Максимальний згинальний момент, що діє на барабан:

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

$$M_{\max} = q \cdot L \cdot \frac{(2 \cdot \ell_2 - L)}{8} + Q_B \cdot \frac{(\ell_2 - \ell_1) \cdot \ell_1}{\ell_2}; \quad (30)$$

$$M_{\max} = 36700 \cdot 14 \cdot \frac{(2 \cdot 8,19 - 14)}{8} + 20900 \cdot \frac{(8,19 - 1,26) \cdot 1,26}{8,19} = 175100 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Момент опору перетину корпусу барабана:

$$W = \frac{\delta \cdot \pi \cdot D_{CP}^2}{4} = \frac{14 \cdot 10^{-3} \cdot \pi \cdot 2,036^2}{4} = 0,046 \text{ м}^3, \quad (31)$$

$$\text{де } D_{CP} = \frac{(D_H + D_\phi)}{2} = \frac{(2200 + 1872)}{2} = 2036 \text{ мм}.$$

Напруга в корпусі барабана:

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{175100}{0,046} = 3,8 \text{ МПа}. \quad (32)$$

Допустима напруга для апаратів з футеровкою $[\sigma] = 20 \text{ МПа}$.

Умова міцності виконується: $\sigma \leq [\sigma]$ ($3,8 \text{ МПа} < 20 \text{ МПа}$).

Виконуємо розрахунок барабана на жорсткість (визначаємо прогин).

Лінійне навантаження від маси оброблюваного матеріалу:

$$q_1 = \frac{g \cdot m_M}{L} = \frac{9,81 \cdot 12500}{14} = 8760 \text{ (Н/м)}. \quad (33)$$

Лінійне навантаження від маси барабана:

$$q_2 = \frac{g \cdot m_B}{L} = \frac{9,81 \cdot 39900}{14} = 28000 \text{ (Н/м)}. \quad (34)$$

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
						27
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Момент інерції одиночного кільця барабана:

$$I_x = \frac{\delta^3}{12} = \frac{(14 \cdot 10^{-3})^3}{12} = 2,3 \cdot 10^{-7} \text{ (м}^3\text{)}. \quad (35)$$

Сумарний прогин від чинного напруги:

$$y_{\max} = \frac{D_{CP}^3}{8 \cdot E \cdot I_x} \cdot (0,04 \cdot q_1 + 0,002 \cdot q_2), \quad (36)$$

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

$$y_{\max} = \frac{2,036^3}{8 \cdot 1,87 \cdot 10^{11} \cdot 2,3 \cdot 10^{-7}} \cdot (0,04 \cdot 8760 + 0,002 \cdot 28000) = 4,9 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Відносний прогин:

$$\varepsilon = \frac{y_{\max}}{D_{CP}} = \frac{4,9 \cdot 10^{-3}}{2,036} = 2,4 \cdot 10^{-3} = 1/416. \quad (37)$$

Умова жорсткості виконано, тобто:

$$\varepsilon \leq [\varepsilon] \quad (1/416 < 1/300).$$

Визначаємо геометричні розміри бандажа, вільно насунутих на корпус сушарки.

Визначаємо ширину бандажа:

$$b_{\delta} = \frac{R}{q_H}, \quad (38)$$

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

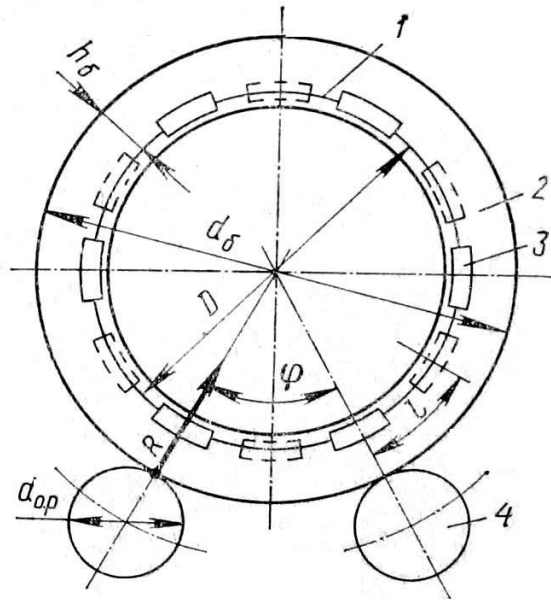


Рисунок 7 – Схема для розрахунку бандажа і опорних роликів

де $q_n = (1,0 \div 2,4) \text{ МН} / \text{м}$ – допустиме навантаження, яке приходить на одиницю довжини майданчика торкання ролика і бандажа (із досвіду експлуатації);
 R – реакція опори ролика, МН.

$$R = \frac{m \cdot g \cdot \cos \alpha}{2 \cdot z \cdot \cos(\phi / 2)}, \quad (39)$$

де $\alpha = 3^\circ$ – кут нахилу барабана [9];
 $\phi = 41^\circ$ – кут між опорними роликами [9];
 z – кількість бандажів (візьмемо $z = 1$ шт.).

$$R = \frac{52400 \cdot 9,81 \cdot \cos 3^\circ}{2 \cdot 1 \cdot \cos(41^\circ / 2)} = 274000 \text{ Н} = 0,274 \text{ МН}.$$

$$b_o = \frac{0,274}{2,0} = 0,135 \text{ м}.$$

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

$$b_{o.p.} = b_{\delta} + 0,03 = 0,135 + 0,03 = 0,165 \text{ м.}$$

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

$$d_{o.p.} = \frac{D_H}{4} = \frac{2,2}{4} = 0,55 \text{ м.}$$

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

$$\sigma_{CM} = 0,0418 \cdot \sqrt{\frac{R}{b_{\delta}} \cdot E \cdot \frac{r_{\delta} + r_{o.p.}}{r_{\delta} \cdot r_{o.p.}}} \leq [\sigma]_{CM}, \quad (40)$$

де r_{δ} – зовнішній радіус бандажа;

$$r_{\delta} = \frac{D_H + 2 \cdot h_{\delta}}{2} = \frac{2,2 + 2 \cdot 0,1}{2} = 1,2 \text{ м;}$$

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

$$\sigma_{CM} = 0,0418 \cdot \sqrt{\frac{0,274}{0,135} \cdot 1,87 \cdot 10^5 \cdot \frac{1,2 + 0,275}{1,2 \cdot 0,275}} = 54,4 \text{ МН / м}^2.$$

$[\sigma]_{CM} = 300 \div 500 \text{ МПа}$ (для сталевого лиття) – допустиме напруження матеріалу ролика і бандажа на зминання.

Остаточно маємо:

$$\sigma_{CM} < [\sigma]_{CM} \quad (54,4 \text{ МПа} < 300 \text{ МПа}),$$

тобто умова виконується.

					<i>ХІ.С.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
						30
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Осьова сила, яку сприймають упорні ролики:

$$T = \frac{m \cdot g \cdot \sin \alpha}{10^6}; \quad (41)$$

$$T = \frac{52400 \cdot 9,81 \cdot \sin 3^\circ}{10^6} = 0,027 \text{ (МН)}.$$

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

$$\sigma_c = 0,0418 \cdot \sqrt{\frac{T \cdot E}{b_{y.p.} \cdot r_{\delta} \cdot \sin\left(\frac{\gamma}{2}\right)}} \leq [\sigma]_c, \quad (42)$$

де $b_{y.p.}$ – ширина упорного ролика, м; $b_{y.p.} = b_{o.p.} = 0,165$ м;

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

$$\sigma_c = 0,0418 \cdot \sqrt{\frac{0,027 \cdot 1,87 \cdot 10^5}{0,165 \cdot 1,25 \cdot \sin\left(\frac{17^\circ}{2}\right)}} = 17,0 \text{ МПа} < 300 \text{ МПа}.$$

Умови виконуються.

Перевірка міцності бандажа на вигин.

$$\sigma_{изг} = \frac{M_{\delta}}{W_{\delta}} \leq [\sigma]_{изг}, \quad (43)$$

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

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
						31
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ℓ – відстань між сусідніми башмаками

$$\ell = \frac{\pi \cdot D_B}{m}, \quad (44)$$

де $m = 16$ – загальна кількість башмаків [9].

$$\ell = \frac{\pi \cdot D_B}{m} = \frac{3,14 \cdot 2,2}{16} = 0,43 \text{ м.}$$

$$M_{\bar{o}} = \frac{0,274 \cdot 10^6 \cdot 0,43}{4} = 29 \text{ кН.}$$

$W_{\bar{o}}$ – момент опору перерізу бандажа, м^3 .

$$W_{\bar{o}} = \frac{b_{\bar{o}} \cdot h_{\bar{o}}^2}{6}, \quad (45)$$

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

$$W_{\bar{o}} = \frac{0,135 \cdot 0,1^2}{6} = 2,25 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3.$$

Тоді:

$$\sigma_{изг} = \frac{29 \cdot 10^3}{2,25 \cdot 10^{-4}} = 128,9 \text{ МПа.}$$

$$\sigma_{изг} \leq [\sigma]_{изг} \quad (128,9 \text{ МПа} < 130 \text{ МПа}).$$

Отже, умова виконується.

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

4 Монтаж та ремонт апарата

4.1 Монтаж 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, КБ-160.2, КБК-250, БК-180, КБ-573, МСК-250, КБ-674, БК-1000 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 вологого матеріалу, а в іншій – розванта-

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

ження 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 монтажною організацією.

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

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 (рис. 8).

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

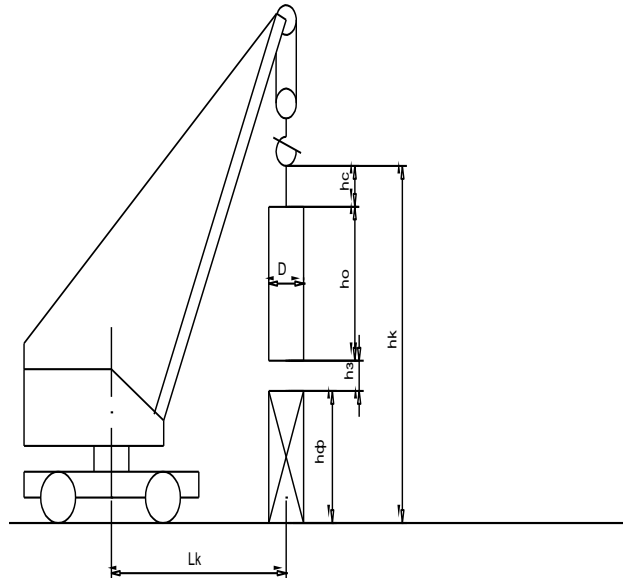


Рисунок 8 – Розрахункова схема підйому горизонтального апарата стріловидними кранами методом ковзання з відривом від землі

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 [14, 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 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.

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

При підготовці апарата до ремонту проводяться наступні роботи:

1. Готуються шляхи під'їзду і засоби доставки вузлів.
2. Встановлюються вантажопідйомні і підтримуючі пристрої.
3. Виконується укрупнена збірка вузлів.

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 ремонттованими 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 ремонттованим вузлом вважається венцова пара.

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

5 Охорона праці

Фактори, що визначають наслідки ураження електричним струмом людини. Види уражень [16–19].

Відповідно до ГОСТ 12.1.019-2009 «Електробезпека. Загальні вимоги і номенклатура видів захисту» ступінь небезпечного і шкідливого впливу на людину електричного струму, залежить від:

- роду і величини напруги і струму;
- частоти електричного струму;
- шляху струму через тіло людини;
- тривалості впливу електричного струму на організм людини;
- умов зовнішнього середовища.

Існує ще ряд важливих факторів не зазначених в ГОСТі: опір тіла людини, стан здоров'я і психічний стан людини, фактор уваги і т.д.

Значення струму. Одним із найважливіших факторів, що обумовлюють ступінь ураження людини, є значення струму. Для характеристики впливу електричного струму на людину встановлено три критерії (ГОСТ 12.1.009-76):

- пороговий відчутний струм (найменше значення сили електричного струму, що викликає при проходженні через організм людини відчутні подразнення);
- пороговий невідпускний ток (найменше значення сили електричного струму, що викликає при проходженні через організм судомні скорочення м'язів руки, в якій затиснутий провідник);
- пороговий фібриляційний ток (найменше значення сили електричного струму, що викликає при проходженні через організм фібриляцію серця).

Значення порогових струмів не нормуються, проте в деяких літературних джерелах можна зустріти їх орієнтовні значення.

Очевидно, що чим вище значення струму, який протікає через організм людини, тим більшу небезпеку він представляє. Тривалий час смертельним вважався ток значенням 100 мА. Малі значення струмів (у кілька міліампер) рідко призво-

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		38

струм не може викликати зупинку серця і дихання, однак зберігається небезпека опіків. Постійний струм безпечніше змінного, але це характерно тільки для значення напруги дотику менш 500 В, при великій напрузі небезпечніше стає постійний струм. Змінний і постійний струми по різному впливають на людину. При дотику до струмоведучих частин, що перебувають під напругою, змінний струм протікаючий через людину призводить до судомних скорочень м'язів руки, в якій затиснутий провідник, при цьому потерпілий самостійно не може звільнитися від дії струму. Постійний струм призводить до відкидання потерпілого від струмопровідних частин, що може привести до механічних пошкоджень (вивихи, забиті місця, переломи і т.п.).

Шлях протікання струму. Істотне значення має і шлях протікання струму через тіло людини. Найбільш часто зустрічаються шляхи протікання струму через організм людини: права рука – ноги, ліва рука – ноги, рука – рука, нога – нога.

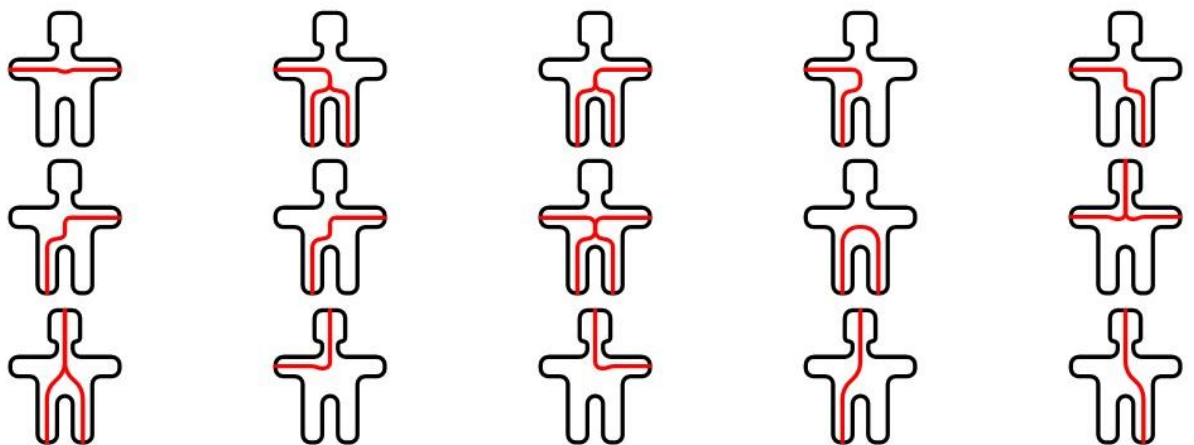


Рисунок 9 – Можливі шляхи протікання струму через тіло людини

Найбільша небезпека виникає при безпосередньому проходженні струму через життєво важливі органи (серце, легені, головний мозок). Тому найбільш небезпечними слід визнати шляхи протікання: ліва рука – ноги, рука – рука, а також голова – рука, голова – ноги. Найменш небезпечний шлях струму, що найбільш часто зустрічається, є шлях нога – нога, коли людина потрапляє під крокову напругу. Небезпека ураження електричним струмом залежить також від місця кон-

такту тіла людини зі струмоведучою частиною, тобто від місця «входу струму» в організм. Наприклад, при торканні людини струмоведучої частини рукою, струм може входити через долоню або тильну частину руки, через пальці або всю поверхню руки і т. д. Пояснюється вплив місця «входу струму» на результат ураження наступним. По-перше, в організмі людини існують так звані рефлексогенні зони, тобто зони з великим скупченням нервових закінчень, подразнення яких вельми небезпечно. По-друге, крім прямого впливу струму на різні органи людини (перш за все серце) існує ще рефлекторний (непрямий) вплив. При рефлекторній дії струму, він формує своєрідні нервові імпульси, отримуючи які, центральна нервова система може подати недоцільну виконавчу команду органам, у тому числі і не лежачим на шляху струму (наприклад, викликати фібриляцію серця). Найбільш небезпечними місцями входу струму є: тильна сторона долоні, шия, гомілка, віскі, груди. Слід зазначити, що дані місця на тілі людини мають підвищену електропровідність.

Тривалість протікання струму. Аналіз нещасних випадків із людьми від впливу електричного струму і дані дослідів над тваринами показують, що тривалість проходження струму через організм істотно впливає на результат ураження: чим триваліша дія струму, тим більша ймовірність важкого або смертельного результату. Із плином часу різко падає опір шкіри людини, більш імовірним стає ураження серця і накопичуються інші негативні наслідки.

Відомо, що величина струму, що проходить через тіло людини (мА), що не викликає фібриляцію серця у 99,5 % постраждалих, пов'язана із часом його впливу.

Відповідно до ГОСТ 12.1.038-82 усі гранично допустимі значення напруги і струму встановлені в функції часу. При збільшенні часу впливу значення напруг і струмів повинні бути зменшені. Як і для багатьох інших факторів можна назвати безпечно значення тривалості протікання струму через організм людини. Спостерігалися ураження з тяжким наслідком, навіть при невеликих токах і дуже малій тривалості існування електричного кола через тіло людини (частки секунди), з іншого боку фіксувалися сприятливі наслідки при тривалості ураження в кілька секунд і більше.

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

Умови зовнішнього середовища. До факторів навколишнього середовища, що впливають на результат ураження електричним струмом, відносяться: атмосферний тиск, температура, вологість, електричне або магнітне поля та ін. Підвищення температури повітря впливає на потовиділення у людини, в результаті падає електричний опір його тіла і зростає небезпека ураження електричним струмом. Така ж залежність опору тіла людини характерна і для вологості. Вплив зазначених факторів (температура і вологість) зафіксовано в ГОСТ 12.1.038-82: напруги дотику і струми для осіб, які виконують роботу в умовах високих температур (вище 25°C) і вологості (відносна вологість понад 75 %), повинні бути зменшені в три рази. При підвищенні атмосферного тиску небезпека ураження знижується і, навпаки, в гірській місцевості, де атмосферний тиск знижений, небезпека електричного струму для живих організмів підвищується.

Опір тіла людини. На результат ураження сильно впливає опір тіла людини, який змінюється в дуже великих межах. Найбільшим опором володіє верхній шар шкіри товщиною близько 0,2 мм, що складається з мертвих ороговілих клітин. Загальна електричний опір тіла людини в сухій, чистій і неушкодженій шкірі, виміряний при нарузі до 15–20 В, знаходиться приблизно в межах 3–1000 кОм і більше; опір внутрішніх тканин тіла – 300–500 Ом. Дослідження показали, що найменшим опором володіють поверхні обличчя (особливо чола), долонь, підшов і пахвових западин. Опір тіла людини залежить від ряду факторів: тривалості протікання струму через організм людини; величини напруги дотику і струму, що протікає через організм людини; ступеня зволоження шкіри і наявності її пошкоджень; стану нервової системи людини; статі; віку і т. д.

У МЕК 60479-1 вказані наступні фактори: тип джерела енергії (змінний або постійний струм), значення напруги дотику, шлях струму через тіло, область контакту зі шкірою (ГОСТ Р 55629-2013), стан шкіри в області контакту (волога солона, волога, суха). Наприклад, опір тіла людини становить при струмі 0,1 мА близько 500 кОм, знижується при струмі 10 мА до 8 кОм. При значеннях напруги дотику приблизно 50 В і більше починає проявлятися явище пробою верхнього шару шкіри, що призводить до різкого зниження опору тіла людини, і при значеннях напруги 250 В і вище загальний опір людини наближається до опору його

					<i>XI.C.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						42
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

внутрішніх тканин. Опір внутрішніх тканин не залежить від напруги дотику, а визначається температурою тіла. При різних розрахунках, пов'язаних із забезпеченням електробезпеки і розслідуванням електротравм, опір тіла людини в електричному ланцюзі при частоті 50 Гц (відповідно до ГОСТ 12.1.038) моделюється резистором опору значенням від 0,85 до 6,7 кОм, у залежності від умов ураження електричним струмом. Наприклад, при аварійному режимі виробничих електроустановок з частотою струму 50 Гц, напругою вище 1000 В, із глухим заземленням нейтралі опір тіла людини приймається рівним 1 кОм.

Стан здоров'я і психічний стан людини. Аналіз нещасних випадків при ураженні електричним струмом показує, що результат ураження пов'язаний з медико-біологічними особливостями людини, станом його здоров'я. Фізично здорові і міцні люди легше переносять електротравми, ніж хворі і слабкі. Деякі захворювання людини (хвороби шкіри, серцево-судинної системи, легенів, нервові хвороби та ін.) роблять його більш сприйнятливим до електричного струму. Тому до обслуговування електроустановок допускаються тільки особи, які пройшли спеціальний медичний огляд.

Фактор уваги. Численні досліді, проведені на тваринах показують, що результат ураження електричним струмом залежить від того очікує потерпілий електричний удар чи ні. Один із основоположників електробезпеки, австрійський дослідник С. Еллінек провів ряд дослідів на кішках. Ті що перебували в спокійному стані, гинули від напруги 220 В, а ті, яких дражнили палицею і при цьому подавали таку ж напругу, сприймали електричний удар, як удар палицею і кидалися на експериментатора.

Крім описаних вище, існують і інші чинники, що впливають на результат ураження людини електричним струмом. Вплив зазначених факторів окремо або спільно пояснює важкість ураження людини, в тому числі, і ураження зі смертельними наслідками, при здавалося б, на перший погляд, безпечних умовах ураження, а також випадки коли людина виживала при впливі на нього «смертельних» значень струмів і напруг.

Види уражень електричним струмом. Електричний опік – найпоширеніша електротравма. Як правило, опіки є наслідком випадкових коротких зами-

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

кань в електроустановках, при відключеннях роз'єднувачів і рубильників під навантаженням і т. п. Причому 85 % усіх опіків доводиться на електромонтерів, які обслуговують електроустановки.

Залежно від умов виникнення розрізняють три види опіків: *струмовий*, або контактний, що виникає при проходженні струму безпосередньо через тіло людини в результаті контакту людини зі струмоведучою частиною; *дуговий*, обумовлений впливом на тіло людини електричної дуги, але без проходження струму через тіло людини; *змішаний*, який є результатом дії одночасно обох зазначених факторів, тобто дії електричної дуги та проходження струму через тіло людини.

По тяжкості електричні опіки можуть бути будь-якого ступеня. В електроустановках щодо невеликої напруги – не вище 380 В – переважає виникнення опіків I та II ступенів, при напрузі вище 380 В виникають більш важкі опіки – III і IV ступенів.

Електричні знаки на тілі людини виникають у результаті хімічного або теплового (до 110–115°C), а також спільного хімічного і теплового впливу електричного струму. Зазвичай різко окреслені знаки сірого або блідо-жовтого кольору мають круглу або овальну форму. Зустрічаються також знаки у вигляді ліній і дрібнокрапкового татування. Іноді форма знака відповідає формі струмоведучих частини, якої торкнувся потерпілий. Уражена ділянка шкіри твердне, відбувається омертвіння верхнього шару шкіри.

Як правило, електричні знаки безболісні і лікування їх закінчується благополучно: із плином часу верхній шар шкіри сходить і уражене місце набуває первинного кольору, еластичності і чутливості.

Електричні знаки зустрічаються досить часто: вони виникають приблизно у п'ятої частини постраждалих від електричного струму.

Металізація шкіри – проникнення в шкіру найдрібніших частинок розплавленого під дією електричної дуги металу. Таке явище зустрічається при коротких замиканнях, відключеннях роз'єднувачів і рубильників під навантаженням і т. п. При цьому дрібні бризки розплавленого металу під дією виниклих динамічних сил і теплового потоку, розлітаючись в різні боки з великою швидкістю, проникають у верхні шари шкіри відкритих частин тіла – руки і обличчя. Зазвичай із

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

плином часу пошкоджена шкіра сходить і уражена ділянка набуває нормального вигляду. Разом із тим зникають і всі хворобливі відчуття, пов'язані з цією травмою. Лише при ураженні очей лікування може виявитися тривалим і складним, а в деяких випадках і безрезультатним.

Металізація шкіри спостерігається у 10 % постраждалих від електричного струму. Причому в більшості випадків одночасно з металізацією відбувається опік електричною дугою, який завжди викликає більш важкі ураження, ніж металізація.

Механічні ушкодження є, як правило, серйозними травмами, які вимагають тривалого лікування. Вони виникають при тривалому перебуванні людини під напругою в установках до 380 В. Механічні пошкодження зустрічаються рідко – приблизно у 3 % осіб, які постраждали від струму.

Механічні пошкодження супроводжуються електричним ударом, оскільки вони викликаються струмом, що проходить через тіло людини. Часто механічні пошкодження супроводжуються опіками тіла.

Електричний удар, як це вже визначено вище, – збудження живих тканин людини, викликане протіканням через нього електричного струму і супроводжується мимовільними судорожними скороченнями м'язів.

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

Список використаних джерел

1. Технология получения технического хлористого натрия из галитовых хвостов / Х. Б. Рахматов, Муроджон Абдусалимзода Самадий, А. Н. Ахмедов [и др.] // Молодой ученый. – 2015. – № 19 (99). – С. 60–63.
2. Чернобыльский И.И. Машины и аппараты химических производств / И.И. Чернобыльский, А.Г. Бондарь, Б.А. Гаевский [и др.]. – М. : Машиностроение, 1974. – 456 с.
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. Иоффе И.Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии / И.Л. Иоффе. – Л. : Химия, 1991. – 352 с.
5. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М. : Химия, 1973. – 752 с.
6. Лашинский А. А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / А. А. Лашинский, А. Р. Толчинский. – Л. : Машиностроение, 1970. – 752 с.
7. Лашинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов : Справочник / А. А. Лашинский. – Л. : Машиностроение, 1981. – 382 с.
8. Марочник сталей и сплавов / В. Г. Сорокин, А. В. Волосникова, С. А. Вяткин [и др.]. – Под общ. ред. Сорокина В. Г. – М. : Машиностроение, 1989. – 640 с.
9. 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.
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.

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		46

11. Машины и аппараты химических производств. Примеры и задачи / Под общ. ред. В. Н. Соколова. – Л. : Машиностроение, 1982. – 384 с.
12. Основные процессы и аппараты химической технологии : Пособие по проектированию / Под ред. Дытнерского Ю. И. – М. : Химия, 1983. – 272 с.
13. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. Примеры и задачи : Учеб. пособие для студентов вузов / М. Ф. Михалев, Н. П. Третьяков, А. И. Мильченко [и др.]. – Под общ. ред. Михалева М. Ф. – Л. : Машиностроение, 1984. – 301 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. Факторы, влияющие на исход поражения электрическим током [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://elektromontagnik.ru/?address=lectures/part7/&page=page2>
17. Факторы, влияющие на исход поражения электрическим током [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://delta-grup.ru/bibliot/16/45.htm>
18. Факторы, влияющие на исход поражения электрическим током [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.yaklass.ru/p/fizika/8-klass/izuchaem-elektricheskie-iavleniia-12351/korotkoe-zamykanie-elektrobezopasnost-plavkie-predokhraniteli-295276/re-0fa5384c-7bdb-4d2d-b363-283b86530f2f>
19. Виды поражений электрическим током [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://delta-grup.ru/bibliot/16/43.htm>

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