

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Зав. кафедри

\_\_\_\_\_   
підпис, дата

**Кваліфікаційна робота бакалавра  
зі спеціальності 133 "Галузеве машинобудування"  
освітня програма "Обладнання нафто-  
та газопереробних виробництв"**

Тема роботи: Сушильна установка для сушіння сульфату амонію. Розробити сушарку киплячого шару / Drying unit for drying ammonium sulfate. The development of a fluidized bed dryer

Виконав:  
студент групи ХМ-81/3хо-0  
П'ятигор Ілля Миколайович

\_\_\_\_\_   
підпис

Залікова книжка  
№ \_\_\_\_\_

Кваліфікаційна робота бакалавра  
захищена на засіданні ЕК

з оцінкою \_\_\_\_\_

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ р.

**Підпис голови**  
(заступника голови) комісії

Керівник:

канд. техн. наук, доцент

Юхименко Микола Петрович

\_\_\_\_\_   
підпис, дата

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

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

Курс 4 Група ХМ-81/3хо-0 Семестр 8

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

Студенту П'ятигору Іллі Миколайовичу

1 Тема роботи: Сушильна установка для сушіння сульфату амонію. Розробити сушарку киплячого шару / Drying unit for drying ammonium sulfate. The development of a fluidized bed dryer

2 Вихідні дані: Розробити сушарку киплячого шару для сушіння кристалів сульфату амонію продуктивністю за вологим матеріалом 5000 кг/год. Вологість матеріалу (% мас.): початкова – 3,0; кінцева – 0,2. Температура матеріалу (°C): початкова – 20; кінцева – 60. Теплоносій – повітря з початковою температурою 110°C. Розмір частинок матеріалу (мм): максимальний – 1,0; мінімальний – 0,1; середньозважений – 0,5. Теплові втрати прийняти на рівні 10 %.

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

1. Схема технологічна виробництва сульфату амонію – 1,0 арк.
2. Складальне креслення сушарки киплячого шару – 1,0 арк.
3. Складальне креслення кришки апарата – 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. Петренко Д. С. Производство сульфата аммония / Д. С. Петренко. – Москва : Металлургия, 1966. – 143 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 проекту \_\_\_\_\_

підпис

к.т.н., доц. Юхименко М.П.

## Зміст

	С.
ВСТУП	5
1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	7
1.1 Опис технологічної схеми виробництва сульфату амонію	7
1.2 Теоретичні основи процесу сушіння. Обґрунтування вибору конструкційних матеріалів	9
1.3 Пристрій і принцип роботи сушарки з киплячим шаром	21
2 ТЕХНОЛОГІЧНІ І ПРОЕКТНІ РОЗРАХУНКИ	24
2.1 Технологічні і теплові розрахунки	24
2.2 Конструктивні розрахунки	28
2.3 Визначення висоти киплячого шару	32
2.4 Гідравлічний опір апарата	34
2.5 Вибір допоміжного обладнання	35
3 РОЗРАХУНКИ АПАРАТА НА МІЦНІСТЬ	38
3.1 Розрахунок на міцність корпусу сушарки	38
3.2 Розрахунок на міцність корпусу газорозподільного пристрою	40
3.3 Розрахунок і вибір опори апарата	41
4 МОНТАЖ І РЕМОНТ АПАРАТА КИПЛЯЧОГО ШАРУ	48
4.1 Монтаж апарата	48
4.2 Ремонт апарата	50
5 ОХОРОНА ПРАЦІ	52
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	58
ДОДАТКИ – Специфікації до графічної частини	

Подп. и дата						<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>												
Инов.№ дубл.						Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Виробництво сульфату амонію. Сушарка киплячого шару <i>Пояснювальна записка</i>			Лит.	Лист	Листов		
Взам. инв.№						Разраб.	П'ятигор							к	р	б	4	59
Подп. и дата						Пров.	Юхименко							СумДУ, ХМ-81/3хо-0				
Инов.№ подл						Т.контр.												
						Н. контр.												
						Утв.	Склабінський											

## ВСТУП

Сульфат амонію або амоній сірчаноокислий  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  – неорганічна бінарна сполука, амонійна сіль сірчаної кислоти. Це прозорі безбарвні кристали (або білий порошок) без запаху. Отримують сульфат амонію дією сірчаної кислоти на розчин аміаку та обмінними реакціями з іншими солями. Застосовується у якості добрива, при виробництві віскози, у харчовій промисловості, при очищенні білків у біохімії, як добавка при хлорванні водопровідної води. Токсичність сульфату амонію дуже низька [1].

Серед основних способів одержання сульфату амонію, які найчастіше використовуються у хімічній промисловості, є наступні [2]:

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

Разом із тим є інші способи виробництва сульфату амонію, наприклад, отримання цієї речовини з димових газів електростанцій і сірчаноокислотних заводів. Для цього в гарячі гази вводять газоподібний аміак, який пов'язує оксиди сірки, що містяться в газі, в різні солі амонію, у тому числі і в сульфат амонію [1].

Сушарки киплячого шару застосовуються для сушіння дисперсних матеріалів у харчовій, хімічній, вугільній промисловості, сушки будівельних матеріалів та ін. Сушарки киплячого шару прості як в конструктивному виконанні, так і в експлуатації, мають високі експлуатаційні показники, легко піддаються автоматизації. Корпус сушарок киплячого шару нерухомий, що значно спрощує вимоги до монтажу та експлуатації. Питомий вологоз'єм на сушарках киплячого шару, в окремих випадках, досягає до 1000 кг вологи з 1 м<sup>2</sup> площі газорозподільної решітки.

Инд.№подл	Подп. и дата
Изм	Инд.№ дубл.
Лист	Взам. инв.№
№ докум.	Подп. и дата
Подп.	
Дата	

XI.C.00.00.00 ПЗ					Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	5

У даній кваліфікаційній роботі запроєктована сушарка киплячого шару, яка призначена для сушіння кристалів сульфату амонію. Загалом кваліфікаційну роботу бакалавра виконано у відповідності із методичними вказівками [3].

Инв.№подл	Подп. и дата		Инв.№ дубл.	Подп. и дата	
	Взам. инв.№				
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист

**XI.C.00.00.00 ПЗ**

# РОЗДІЛ 1

## ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 1.1 Опис технологічної схеми виробництва сульфату амонію

Технологічна схема установки виробництва сульфату амонію приведена на рис. 1.1.

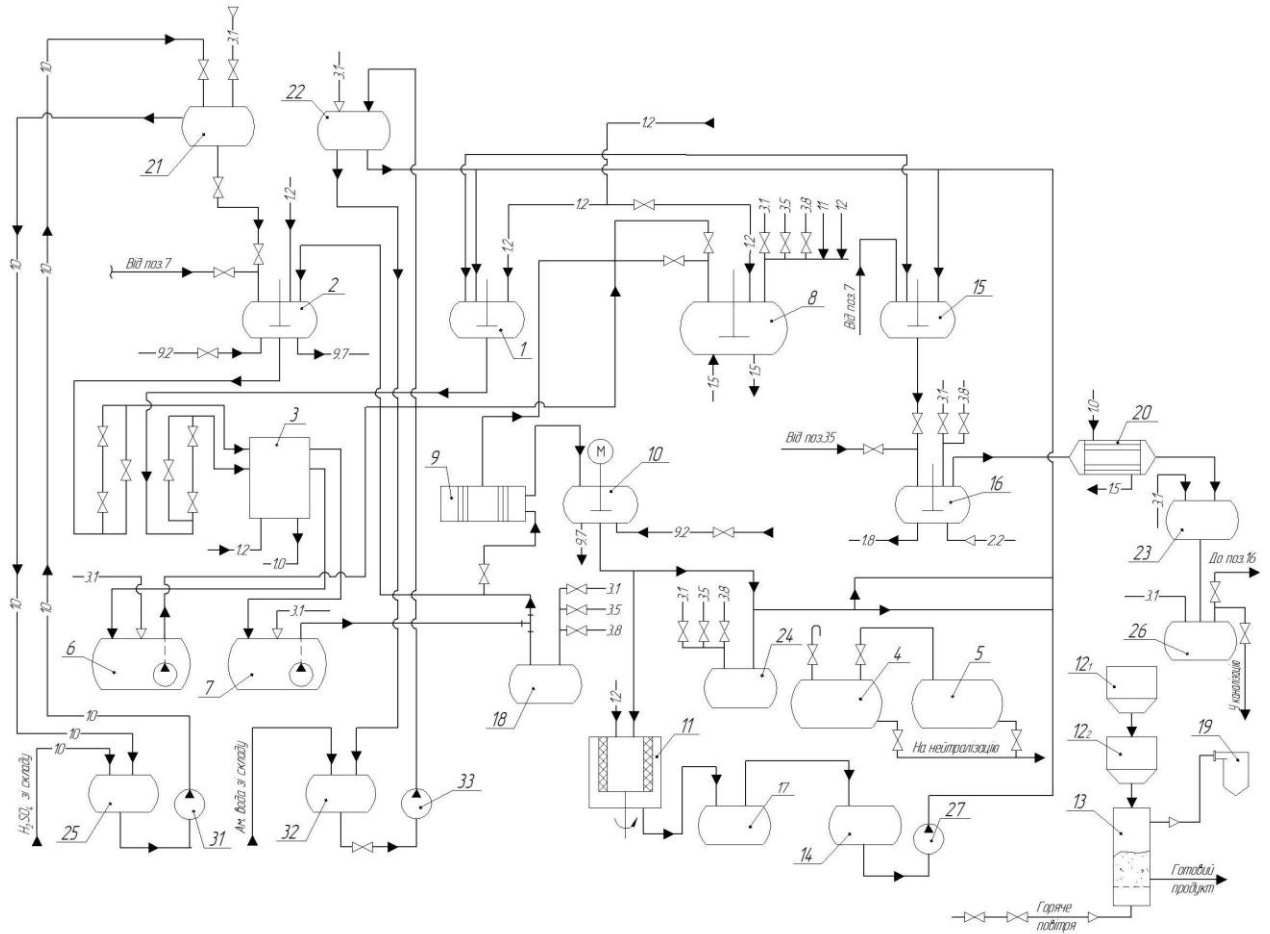


Рисунок 1.1 – Технологічна схема установки виробництва сульфату амонію

Принцип роботи даної установки полягає у наступному [2]. В апарат 8 завантажують з лінії 2500 л артезіанської води. Сюди ж із мішків завантажуються 1400–1500 кг (35–39 мішків) кристалічного сульфату амонію. Вмістиме апарату нагрівають до температури 30–35°C і при включеній мішалці ведуть розчи-

Ив.№подл	Подп. и дата
Изм	Лист
№ докум.	Подп.
Дата	

<b>ХІ.С.00.00.00 ПЗ</b>				Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

нення сульфату амонію. При досягненні вмісту сульфату амонію в розчині 430–460 г/л розчин з апарату 8 за допомогою стиснутого повітря подають на фільтрацію від механічних домішок на рамний фільтр 9, звідки розчин спрямовується в один із кристалізаторів 10.

Із кристалізаторів розчин зливають у збірник 14, а потім відцентровим насосом 27 подають у мірники аналіту 1 або ж у проміжну ємність 24, а потім за допомогою стиснутого повітря – в мірники католіту 2.

У розчин сульфату амонію (апарат 2) завантажують із мірника 21 сірчану кислоту в кількості 60–65 л на 1 м<sup>3</sup> розчину. Розчин перемішують мішалкою протягом 30 хв. і перевіряють в ньому вміст кислоти, яке повинно бути 110–120 г/л. Таким чином, готується католітний розчин у кількості 8,5–9 м<sup>3</sup> для заповнення системи і пуску електролізерів. Робота електролізерів здійснюється в безперервному режимі, при цьому циклові розчини аноліту і католіту циркулюють у загальній технологічній схемі окремо.

Для пуску електролізерів необхідно подати охолоджуючу воду з колектора на охолодження анодів і катодів у кількості 30–35 м<sup>3</sup>/год. Далі, через ротаметри, треба подати проточну воду: для аноліту – 800–1000 л/год., для католіту – 800–900 л/год. У процесі роботи проточність регулюється в залежності від результатів аналізів на кислотність і вміст ПСА.

Вихід установки на стабільний режим відбувається за 2–3 години, при цьому навантаження повинно бути 4,5–5,0 кА при швидкості потоку 800–1000 л/год. Напруга має бути в межах 65–70 В. Температура аноліту, що надходить на електроліз, підтримується в межах 20–25°C. Температура католіту в процесі електролізу 30–35°C.

Технічний сульфат амонію часто забруднений сульфатом заліза. Вміст заліза не повинно перевищувати 60 мг/л [2]. Позбутися його простою перекристалізацією неможливо, оскільки солі заліза сокристалізуються з сульфатом амонію, утворюючи подвійну сіль Мора [1].

Инд. №подл	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инд. № дубл.	Подп. и дата

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						8





Вибір способу сушіння, а відповідно і типу сушарки, залежить від хімічних властивостей матеріалу. Для сушіння кристалів сульфату амонію можуть бути застосовані барабанна сушарка або сушарка киплячого шару.

Спочатку більш детально розглянемо конструкцію та принцип дії барабанної сушарки.

Апарати, виконані у вигляді горизонтальних барабанів, що обертаються, дуже поширені у промисловості і застосовуються як для проведення процесів, що не супроводжуються хімічними змінами речовин, наприклад, сушіння, так і для проведення реакцій, наприклад, кальцинування соди.

Час перебування матеріалу в гладкому порожньому барабані залежить від його довжини, діаметра і кута нахилу до горизонту, числа обертів, кута природного укосу матеріалу та динамічного напору газу, що протікає. Час контакту твердого матеріалу із газом становить лише частину повного часу перебування матеріалу в барабані. Іншу частину часу шматки залишаються під шаром іншого матеріалу і тому в процесі практично не беруть участь.

На підставі експериментальної перевірки та обробки дослідних даних **для гладких барабанів без насадок** запропоновано наступну формулу для визначення часу перебування матеріалу в барабані:

$$\tau = \frac{0,308L \cdot (\varphi + 24)}{Dni}, \text{ хв.} \quad (1.1)$$

Формула дана для барабана довжиною  $L$ , діаметром  $D$ , коефіцієнтом заповнення барабана  $\beta = 0,1 \dots 0,15$ , і нахилу барабана, що змінювався під час дослідів від  $1^\circ$  до  $6^\circ$ . Нахил барабана до горизонту  $i$  виражений у цій формулі у відсотках.  $\varphi$  позначає кут природного укосу матеріалу.

Час перебування матеріалу в барабанах з розподільною насадкою, виконаною у вигляді безперервної спіральної смуги шириною, що перевищує товщину шару матеріалу, і з кроком гвинтової лінії  $t$ , можна визначити за формулою:

Инд. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Инд. № дубл.
Подп. и дата	

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						10

$$\tau = \frac{L}{t \cdot n}, \text{ хв.}$$

А якщо насадка виконана з окремих лопатей розташованих по гвинтовій лінії з кроком  $t$ , то час перебування буде тим більшим, чим більше просвіти між лопатями. Якщо  $\Psi$  – кут займаний лопаткою, а  $\rho$  – кут просвіту між лопатями, то приймаючи  $\varphi = \frac{\rho}{\Psi + \rho}$ , отримаємо:

$$\tau \approx \frac{\varphi \cdot L}{t \cdot n}, \text{ хв.} \quad (1.2)$$

Необхідний час перебування диктується тривалістю технологічного процесу та визначається з технологічного розрахунку або задається технологіями. Для багатьох процесів тривалість їхнього перебігу знайдена експериментально. Наприклад, при проектуванні барабанних атмосферних сушарок необхідний час знаходиться на підставі, так званої, напруги барабана з вологи  $W$  в кг/год., що приходить на  $1 \text{ м}^3$  об'єму барабана.

Величина  $A$  залежить від типу сушарки, числа обертів, швидкості повітря і властивостей матеріалу, що висушується. Значення  $A$  за експериментальними даними наводиться в літературі.

Із виразу  $A$  знаходиться необхідний об'єм. З іншого боку, об'єм барабана  $V=L \cdot F$ . Поперечний переріз барабана  $F = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$  береться таким, щоб швидкість газу була занадто великою і спричинила надмірне винесення дрібного зернистого матеріалу.

При паралельному тоці швидкість газу, що виходить з барабана, не повинна бути більшою 2–3 м/с.

Инд. №подл	Подп. и дата
Взам. инв. №	Инд. № дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						11

Більш точно можна визначити гранично допустимі швидкості газу, який проходить через барабан, що обертається, поррахувавши швидкість витання частинок матеріалу, тобто ту швидкість, при якій сила тяжіння частинки врівноважується силою, що дорівнює добутку динамічного напору на площу перерізу частинки, перпендикулярну до напрямку потоку газів.

На підставі тривалості часу перебування матеріалу в барабані визначається його довжина, а по швидкості газу, що протікає через барабан, визначається площа, отже, діаметр апарату. Довжина сушарки, її нахил, конструкція насадки, кількість обертів і ступінь заповнення вибираються з таким розрахунком, щоб час перебування матеріалу в барабані був не меншим за тривалість технологічного процесу.

Для кращого обдування частинок матеріалу газом та приведення з ним у контакт найбільшої маси матеріалу всередині барабана встановлюють насадки, яким надають різну конструктивну форму залежно від сипкості та гранулометричного складу матеріалу (рис. 1.2).

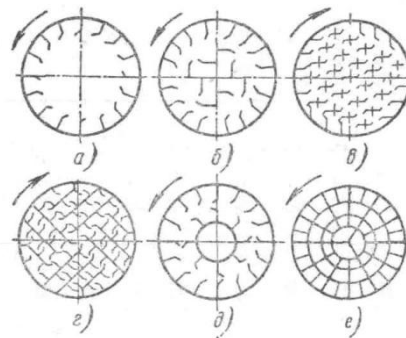


Рисунок 1.2 – Конструкції насадок:

а – лопатева; б – секторна; в, г, д – розподільні; е – перевалочні

Для кускових або вологих матеріалів, не схильних до утворення пилу і які не бояться розколювання під час падіння, встановлюється лопатева система (рис. 1.2а), що забезпечує підйом матеріалу і падіння його вниз з висоти, близької до діаметра барабана.

Инд. №подл	Подп. и дата
Взам. инв. №	Инд. № дубл.
Подп. и дата	

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>

Для кускових, але тендітних матеріалів застосовують секторні насадки (рис. 1.2б). У них падіння відбувається з меншою висоти і небезпека розколювання шматків зменшується.

Для зернистих матеріалів без великої кількості дрібниць та пилу застосовуються розподільні системи насадок (рис 1.2в,г,д).

Нарешті, для дрібних, пилячих матеріалів використовують перевальну насадку, що складається з ізолюваних один від одного осередків малого перерізу, в яких перевалювання матеріалу відбувається з малої висоти (рис. 1.2е).

Нерідко на перших 1–1,5 м барабана встановлюють гвинтову насадку для подачі матеріалу в барабан і кращого його розподілу по поперечному перерізу.

Максимальний діаметр барабанів можна приймати: що перевозяться залізницею до 3,2 м, що збираються на місці до 5 м. Довжину обертових барабанів загального призначення, що встановлюються на двох опорах, можна приймати до 32–35 м. Відношення довжини до діаметру для апаратів загального призначення береться рівним від 4 до 8, а число обертів береться в межах від 2 до 8 об/хв.

Число обертів можна орієнтовно приймати за формулою

$$n \approx \frac{4}{\sqrt{D}} \div \frac{8}{\sqrt{D}} \text{ , об / хв.} \quad (1.3)$$

де  $D$  – діаметр барабана, м.

Кільцева швидкість барабанів зазвичай не перевищує 1 м/с. Кут нахилу до горизонту залежить від його довжини. Для довгих барабанів цей кут дорівнює 2,5–3°, для коротких – до 6°. Коефіцієнт заповнення становить від 0,1 до 0,25.

Наведені цифри не є обов'язковими для керівництва. Вони просто характеризують стан сучасної техніки в цій галузі машинобудування та наведені як

Инд. №подл	Подп. и дата	Инд. № дубл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инд. № дубл.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						13

порівняльні вихідні дані, що полегшують підхід до проектування. Від цих даних можливі великі відступи, якщо вони викликані необхідністю та підтверджені розрахунком.

**Визначення величини сили, що діє на ролик.** Якщо  $G$  – сила тяжіння, яка приходить на бандаж, а кут між роликками –  $2\varphi$ , то реакція опори дорівнюватиме (рис. 1.3)

$$T = \frac{G}{2 \cdot \cos \varphi}, H \quad (1.4)$$

Сила, що зсуває ролик по горизонталі:

$$S = T \cdot \sin \varphi = \frac{G}{2} \cdot \operatorname{tg} \varphi, H \quad (1.5)$$

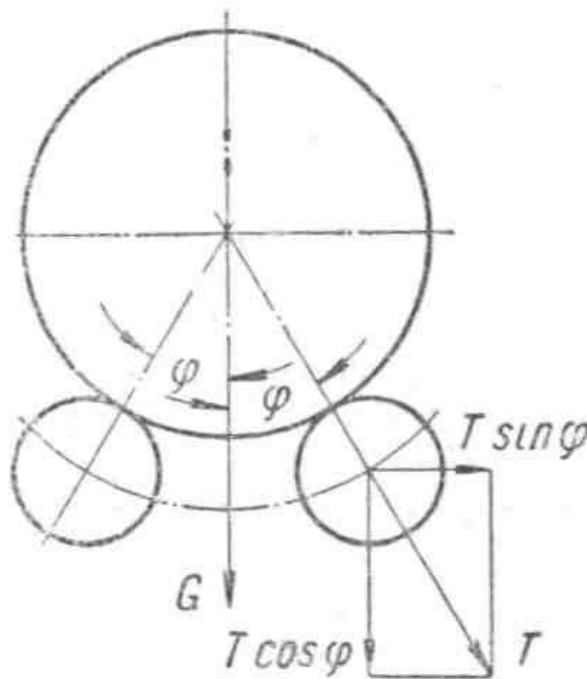


Рисунок 1.3 – Ескіз для визначення зусиль, що діють на ролик

Инов.№подл	Подп. и дата
Изм	Инов.№ дубл.
Лист	Взам. инв.№
№ докум.	Подп. и дата
Подп.	
Дата	

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

Кут  $2\varphi$  зазвичай дорівнює  $60^\circ$ . Це забезпечує необхідну стійкість барабана та не викликає надмірної сили реакції  $T$ . Під час роботи в матеріалі бандажів та роликів виникають контактні напруги. Ці напруги визначають необхідну ширину бандажу та роликів.

Ширина бандажа  $b$  визначається залежно від допустимого навантаження на 1 погонний метр довжини майданчика торкання.

$$b = \frac{T}{P}, \quad \text{м} \quad (1.6)$$

Значення  $P = \frac{T}{b}$  на підставі практики рекомендується брати від 1 МН/м для швидкообертальних апаратів, і до 2,4 МН/м для повільнообертальних апаратів, що роблять 3–4 об/хв.

Після визначення ширини бандажа знаходять інші розміри з умови міцності на вигин. Момент, що згинає бандаж, визначається за формулою:

$$M = A \cdot Q \cdot R, \quad \text{Н} \cdot \text{м} \quad (1.7)$$

де  $Q$  – навантаження, що діє на бандаж, Н;

$R$  – внутрішній радіус бандажу, м;

$A$  – коефіцієнт, що залежить від характеру навантаження та роду кріплення бандажа. Зазвичай  $A = 0,07$ – $0,09$ .

Далі знаходять максимальну напругу вигину:

$$\sigma_{\text{взг}} = \frac{M}{W}, \quad \text{Па}$$

де  $W$  – момент опору, рівний прямокутного перерізу:

Инд. №подл	Подп. и дата	Взам. инв. №	Индв. № дубл.	Подп. и дата

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						15

$$W = \frac{bh^2}{6}, \quad m^3$$

Відношення  $h/b$  для цільнокованих бандажів приймають від 1/1 до 1/2,6.

Діаметр опорних роликів береться в 3–4 рази менше від зовнішнього діаметра бандажа, тобто:

$$d = \frac{D_6}{4} \div \frac{D_6}{3}, \quad m$$

Ролики виготовляються з менш міцного матеріалу, ніж бандаж. У відповідальних випадках ролики роблять сталевими, а зазвичай їх відливають із сірого чавуну і потім обточують.

Апарати з псевдозрідженим шаром зернистого матеріалу відрізняються великою різноманітністю, як по конструкції, так і по гідродинамічним і тепловим режимам роботи. Ефективність сушки в киплячому шарі, в значній мірі, залежить від правильного визначення конструктивних і технологічних параметрів сушарки, правильного вибору апаратного оформлення. Як правило, параметри сушарок киплячого шару визначаються для сушки конкретного матеріалу і враховують початкову і кінцеву вологість матеріалу, його фізико-механічні властивості, вимоги до температурного режиму, мінімізації або максимізації виносу дрібних фракцій і інші вимоги, що пред'являються до матеріалу і процесу сушіння.

Ці сушарки є одним із найбільш ефективних типів сушарок, які останнім часом набувають усе більшого поширення. Процес в киплячому шарі дозволяє значно збільшити поверхню контакту між частинками матеріалу і сушильним агентом, інтенсифікувати випаровування вологи з матеріалу і скоротити (до декількох хвилин) тривалість процесу сушіння.

Инд. №подл	Подп. и дата
Взам. инв. №	Инд. № дубл.
Подп. и дата	

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						16

Сушіння різних матеріалів у киплячому шарі набуло широкого поширення завдяки специфіці процесу:

– по-перше, цим методом можна висушувати зернисті, сипкі, пастоподібні і навіть рідкі матеріали;

– по-друге, процес протікає дуже інтенсивно. Об'ємний коефіцієнт теплообміну, віднесений до шару матеріалу, дорівнює від 5 до 10 тис. ккал/м<sup>3</sup>·г·град, тоді як для барабанних сушарок він складає на увесь об'єм не більше 500 ккал/м<sup>3</sup>·г·град. Знімання вологи з 1 м<sup>2</sup> решітки залежно від дисперсності матеріалу і температурного режиму сушіння складає від 60 до 3000 кг/м<sup>2</sup>·г. Навіть при сушінні матеріалів, які комкуються та мають погану сипкість, не виникало порушень роботи установки, оскільки шар є своєрідним ретуром заздалегідь підсушеного продукту.

Саме тому сушарки з киплячим шаром нині успішно застосовуються в хімічній технології не лише для сушіння сипких зернистих матеріалів (наприклад, мінеральних і органічних солей), а також для матеріалів, схильних до комкоутворення (наприклад, сульфату амонію), пастоподібних матеріалів (пігментів, анілінових барвників, розплавів і суспензій).

В установках з киплячим шаром можна одночасно проводити декілька процесів: сушіння і випалення, сушіння і класифікацію частинок за розмірами, сушіння і гранулювання.

Проте, сушки киплячого шару мають і недоліки: підвищена витрата електроенергії, невисока інтенсивність процесу при сушінні тонкодисперсних продуктів.

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

$$W = G \cdot (\omega_H - \omega_K), \quad (1.8)$$

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

Инд. №подл	Подп. и дата
Взам. инв. №	Инд. № дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						17



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

$$G_C = \frac{W}{x_K - x_H}, \quad (1.9)$$

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)  $v_{вд}$  (м<sup>3</sup>/кг) розраховується за формулою:

$$v_{вд} = \frac{R_B \cdot T}{P - \phi_B \cdot P_{НАС}}, \quad (1.10)$$

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.

Різниця питомих витрат теплоти в дійсній і в теоретичній сушарках:

$$\Delta q = q - q_T = \frac{(I_H - I_K)}{(x_K - x_H)}, \quad (1.11)$$

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.

Инд. №подл	Подп. и дата
Взам. инв. №	Инд. № дубл.
Подп. и дата	

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						18

При відсутності додаткового підігріву повітря в сушильній камері має-  
мо:

$$\Delta q = q_{MAT} + q_{TP} + q_{ПОТ} - c_w \cdot \theta_H, \quad (1.12)$$

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

$$q_{MAT} = \frac{G \cdot c_M \cdot (\theta_K - \theta_H)}{W}, \quad (1.13)$$

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

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

**Тривалість перебування матеріалу в шарі.** Для киплячого шару характерний несталий гідродинамічний режим з нерівномірністю полів тиску і температур, циклічним виникненням і руйнуванням газових пазирів, неоднаковою локальною порозністю і таке інше. Тому в шарі псевдокиплячого матеріалу спостерігається рух часток у всіх напрямках. Для киплячого шару характерно також перемішування газу і матеріалу, причому обидві фази перемішуються в осьовому (по напрямку потоку газу) і подовжньому (чи поперечному)

Ив.№подл	Подп. и дата
Изм	Ив.№ дубл.
Лист	Взам. инв.№
№ докум.	Подп. и дата
Подп.	
Дата	

напрямах. Частки при зворотньо-поступальному русі захоплюють газ і переносять його в глибину шару, тобто відбувається осьове перемішування газу.

По гідродинаміці газової фази апарати з киплячим шаром займають проміжне положення між апаратами ідеального витіснення і ідеального змішення. Частки твердої фази також перемішуються в осьовому і подовжньому напрямках, причому інтенсивність і область перемішування обумовлені гідродинамічним режимом кипіння, конструкцією розподільних решіток і камери, розмірами апарату. Тому по твердій фазі апарати з киплячим шаром відносяться до апаратів проміжного типу.

На практиці сушарки з киплячим шаром забезпечують досить рівномірну сушку продукту.

**Теплообмін.** У киплячому шарі кожна частка інтенсивно омивається потоком газу. Швидкість обмивання має змінний пульсуючий характер, що інтенсифікує тепло- і масообмінні процеси. У процесі теплообміну відбувається зіткнення часток і внаслідок цього турбулізація пограничного шару. У одиниці об'єму апарату одночасно знаходиться велика кількість часток, поверхня яких бере участь в теплообміні. Сукупність високих теплообмінних коефіцієнтів і великих поверхонь розділу фаз в установках з киплячим шаром обумовлює інтенсивність процесів тепло- і масообміну, віднесена до 1 м<sup>3</sup> апарата.

Газ, що виходить в шар киплячого матеріалу з-під решітки, досить швидко переміщається в осьовому напрямі. Тому на висоті 10-25 мм від решітки відбувається різке зниження температури газів (майже до температури газів, що відходять).

**Конструктивні особливості сушарок з киплячим шаром більш детально розглянуто наступному підрозділі (підрозділ 1.3).**

Вибір конструкційного матеріалу виконується так, щоб при низькій вартості і не дефіцитності матеріалу забезпечити високу якість та ефективну технологію виготовлення апарата [9, 10]. Із огляду на температурні параметри процесу сушіння (до 110°C) тиск в апараті (до 0,1 МПа) та помірну аг-

Ив.№подл	Подп. и дата
Изм	Ив.№ дубл.
Лист	Взам. инв.№
№ докум.	Подп. и дата
Подп.	
Дата	

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>		Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			20

ресивність речовин, в якості основного матеріалу для виготовлення апарату киплячого шару обираємо низьколеговану (з вмістом легуючих елементів до 2,5 %) сталь, що поставляється у вигляді листового прокату товщиною (4–160 мм) згідно з ГОСТ 5520-79 та ГОСТ 19281-89.

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

Сталь 16ГС – сталь конструкційна низьколегована для зварних конструкцій. Використовується для виготовлення апаратів, фланців, днищ, обичайок, судів. Поставляється у вигляді сталевих листів. Характеризується гарною зварюваністю, високою міцністю та ударною в'язкістю, використовується в інтервалі температур від  $-70^{\circ}\text{C}$  до  $+775^{\circ}\text{C}$ . Добре деформується в гарячому і холодному стані, легко піддається обробці різанням, добре зварюється всіма видами зварювання.

Сталь Ст3 – конструкційна вуглецева сталь звичайної якості. Застосовується для виготовлення збірників, насосів, несучих елементів зварних і незварних конструкцій, що працюють при температурах від  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+725^{\circ}\text{C}$ . Добре зварюється усіма видами зварювання, не схильна до відпускнуї крихкості. Поставляється у вигляді листового та фасонного прокату.

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

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

### 1.3 Пристрій і принцип роботи сушарки з киплячим шаром

Об'єктом розробки є сушарка киплячого шару (див. рис. 1.4).

Ивн. №подл	Подп. и дата	Взам. инв. №	Ивн. № дубл.	Подп. и дата					Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>				

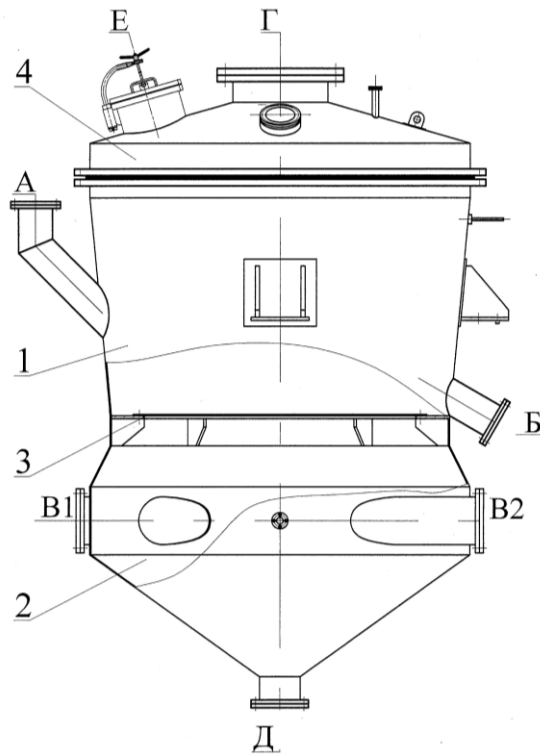


Рисунок 1.4 – Ескіз сушарки киплячого шару:

1 – корпус; 2 – газорозподільчий механізм; 3 – газорозподільна решітка; 4 – кришка; А – вхід вологого продукту; Б – вихід висушеного продукту; В1, В2 – вхід сушильного агента; Г – вихід відпрацьованого повітря; Д – вихід залишку продукту; Е – люк технологічний

Сушарка являє собою апарат, що складається з конічного корпусу 1, газорозподільного пристрою 2, газорозподільної решітки 3 і кришки 4. Газорозподільну решітку виготовляють зі штампованого сита з круглими отворами – така конструкція має живий перетин близько 15 %.

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

У киплячому шарі частки інтенсивно перемішуються у всьому об'ємі шару. Тому віднесення дрібних часток, швидкість витання яких менше швидкості газу, з їх суміші з більшими частками відбувається не миттєво. Віднесення часток з шару починається тоді, коли швидкість газу стає рівній швидкості ви-

Ивн.№подл	Подп. и дата
Взам. инв.№	Ивн.№ дубл.
Подп. и дата	

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

**XI.C.00.00.00 ПЗ**

Лист
22

тання. Ця умова є необхідною, але недостатньою. На віднесення часток впливають, крім того, розміри апарату.

Механізм гідродинаміки полідисперсного шару можна представити так. Спочатку шар частково розділяється на фракції, при цьому дрібні частки виносяться на поверхню шару і далі підхоплюються газом. Віднесення часток зростає із збільшенням швидкості кипіння, зменшенням діаметру апарату і розміру часток, і зменшується із збільшенням висоти шару, нерівномірності часток за формою і із зростанням до певного значення висоти зони сепарації.

В основу роботи сушарок киплячого шару покладений принцип протитечійної стислої взаємодії дисперсної твердої фази з висхідним потоком нагрітого теплоносія. При такій взаємодії частки розділені між собою прошарком газу, швидко нагріваються до температури теплоносія, і при цьому відбувається інтенсивне випаровування вологи як поверхневої, так і внутрішньої. Інтенсивність випарювання вологи в сушарках киплячого шару на порядок вища, ніж у сушарках інших типів. Залежно від властивостей матеріалу, що висушується, кінцевої вологості й гранулометричного складу готового продукту, гідродинамічного й теплового режиму сушіння застосовують різні типи й конструкції сушарок киплячого шару.

Існує два типи псевдозрідженого шару:

– у псевдозрідженому шарі зі зворотним змішуванням вологий вихідний матеріал безперервно подається в шар зрідженого матеріалу для змішування по всьому об'єму; окремі частки широко розрізняються по часу їх перебування у шарі. Режими температури у шарі дорівнюють режимам відпрацьованих газів;

– у псевдозрідженому шарі з поршнеvim потоком продукт рухається уздовж довгого вузького перебігу через шар. Це сприяє кращій економії тепла і м'яким режимам сушки. Умови випуску сухого продукту дорівнюють відповідним умовам вхідним сушильним газам.

Инд. №подл	Подп. и дата
Взам. инв. №	Инд. № дубл.
Подп. и дата	

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						23

## РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНІ І ПРОЕКТНІ РОЗРАХУНКИ

### 2.1 Технологічні і теплові розрахунки

Розрахунок ведемо згідно методики, що наведена у [11].

Вихідні дані для розрахунків приведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані

Параметр	Значення
Продуктивність по вологому матеріалу, кг/год.	$G_1 = 5000$
Вологість матеріалу, % на загальну масу: - початкова - кінцева	$\omega_H = 3,0$ $\omega_K = 0,2$
Температура матеріалу (сульфат амонію), °C - початкова - кінцева	$\theta_H = 20$ $\theta_K = 60$
Температура теплоносія (повітря), °C - початкова	$t_{BH} = 110$
Розмір частинок, мм - мінімальний - максимальний	$\delta_{min} = 0,1$ $\delta_{max} = 1,0$
Теплові втрати, %	$q_{пот} = 10$

Для початку визначимо середньорічні параметри повітря. Приймаємо умови, що в цілому клімат є помірно континентальним із середньорічною температурою  $t_{B0} = 7^\circ\text{C}$ , а відносна вологість повітря в середньому за рік становить  $\varphi_{B0} = 78\%$ .

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

Инд.№подл	
Подп. и дата	
Взам. инв.№	
Инд.№ дубл.	
Подп. и дата	

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						24

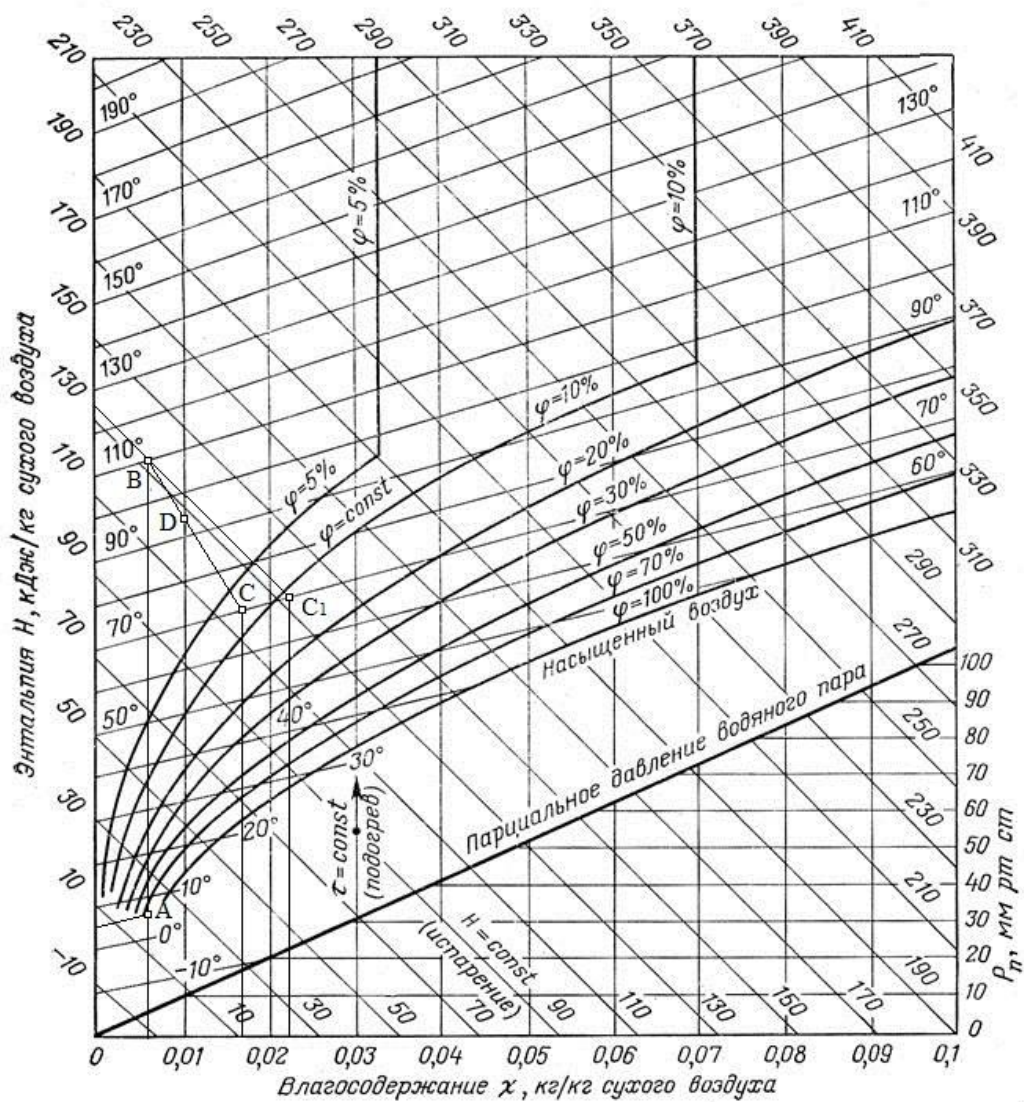


Рисунок 2.1 – Діаграма Рамзина (схема реального процесу сушіння)

Параметрами точки  $C_1$  є: постійна ентальпія  $I_B = 132$  кДж/кг і кінцева температура повітря, яку приймаємо по практичним даним  $t_{BK} = 70$  °С.

При теоретичному процесі сушіння питома теплота визначається з наступного рівняння:

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

де  $X_{\text{ВЫХ}}$  – вміст вологи в повітрі на виході з сушарки при теоретичному процесі, кг/кг. За діаграмою Рамзина  $X_{\text{ВЫХ}} = 0,022$  кг/кг (точка  $C_1$  на рис. 2.1).

Ивн.№подл	Подп. и дата
Взам. инв.№	Подп. и дата
Ивн.№ дубл.	Подп. и дата

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						25



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

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

З рівняння лінії реального процесу сушіння

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

приймавши будь-яке значення  $X$ , менше  $X_{\text{вих}}$ , визначаємо  $I$ , попередньо розраховавши вологу, що випаровується  $W$ , і поправку  $\Delta q$  для реального процесу.

Витрати вологи, що випаровується:

$$W = G_1 \cdot (\omega_H - \omega_K), \quad (2.3)$$

$$W = 5000 \cdot (0,03 - 0,002) = 140 \text{ (кг/год.)}.$$

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

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

де  $c_M$  – питома теплоємність сульфату амонію,  $c_M = 712 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$ .

$$q_{MAT} = \frac{5000 \cdot 712 \cdot (60 - 20)}{140} = 1,02 \cdot 10^6 \text{ (Дж/кг)}.$$

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

Инов.№подл	Подп. и дата	Инов.№ дубл.	Подп. и дата	Инов.№ дубл.	Взам. инв.№	Подп. и дата	Инов.№подл	Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
														26

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

Різниця температур в теоретичній і реальній сушарках:

$$\Delta q = q_{МАТ} + q_{ПОТ} - c_{\omega} \cdot t_{В0}, \quad (2.5)$$

$$\Delta q = 1,02 \cdot 10^6 + 7,0 \cdot 10^5 - 1007 \cdot 7 = 1,7 \cdot 10^6 \text{ (Дж/кг)}.$$

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

$$I = 132 \cdot 10^3 - 1,7 \cdot 10^6 \cdot (0,01 - 0,006) = 1,25 \cdot 10^5 \text{ (Дж/кг)}.$$

Виходячи з діаграми Рамзина (рис. 2.1), визначаємо вміст вологи в повітрі на виході з сушарки. Для цього проведемо лінію через дві точки: точка В має координати ( $X_B = 0,006$  кг/кг;  $I_B = 132$  кДж/кг); точка D має координати ( $X = 0,01$  кг/кг;  $I = 125$  кДж/кг), до перетину з ізотермою  $t_{ВК} = 70^\circ\text{C}$ . Відповідно знаходимо вміст вологи в повітрі, який залишає сушарку:  $X_K = 0,017$  кг/кг (точка С на рис. 2.1).

Витрати сухого теплоносія в сушарці:

$$G_c = \frac{W}{X_K - X_0}, \quad (2.6)$$

$$G_c = \frac{140}{0,017 - 0,006} = 12727 \text{ (кг/год.)}.$$

Витрати вологого теплоносія на виході з сушарки:

$$V_B = v_{уд} \cdot G_c, \quad (2.7)$$

Инд. №подл	Подп. и дата
Взам. инв. №	Инд. № дубл.
Подп. и дата	

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						27

$$\text{де } v_{\text{уд}} = \frac{R_B \cdot T}{P - \phi_b \cdot p_{\text{нас}}} = \frac{287 \cdot (273 + 70)}{10^5 - 0,78 \cdot 6,18 \cdot 10^4} = 1,90 \text{ (м}^3\text{/кг)}.$$

$$V_B = 1,90 \cdot 12727 = 24181 \text{ (м}^3\text{/год.)}.$$

## 2.2 Конструктивні розрахунки

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

Швидкість початку псевдозрідження (перша критична швидкість):

$$\omega_{\text{кр}} = \frac{\text{Re}_{\text{кр}} \cdot \mu_{\text{CP}}}{d_{\text{э}} \cdot \rho_{\text{CP}}}, \quad (2.8)$$

де  $\mu_{\text{CP}} = 2,2 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}$  – в'язкість повітря при середній температурі [11];

$\rho_{\text{CP}}$  – густина повітря при середній температурі [11];

$d_{\text{э}}$  – еквівалентний діаметр частинки,  $d_{\text{э}} = 0,5 \text{ мм} = 0,0005 \text{ м}$ .

Критерій Рейнольдса [13]:

$$\text{Re}_{\text{кр}} = \frac{\text{Ar}}{1400 + 5,22 \cdot \sqrt{\text{Ar}}}, \quad (2.9)$$

де  $\text{Ar}$  – критерій Архімеда.

$$\text{Ar} = \frac{d_{\text{э}}^3 \cdot \rho_{\text{CP}} \cdot g \cdot \rho_{\text{ч}}}{\mu_{\text{CP}}^2}, \quad (2.10)$$

де  $\rho_{\text{ч}} = 1770 \text{ кг/м}^3$  – щільність матеріалу (сульфат амонію).

Инд. №подл	Подп. и дата
Взам. инв. №	Инд. № дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						28

$$Ar = \frac{(0,0005)^3 \cdot 1,0 \cdot 9,81 \cdot 1770}{(2,2 \cdot 10^{-5})^2} = 4484.$$

$$Re_{KP} = \frac{4484}{18 + 5,22 \cdot \sqrt{4484}} = 12,2.$$

Підставивши в рівняння (2.8), отримаємо:

$$\omega_{KP} = \frac{12,2 \cdot 2,2 \cdot 10^{-5}}{0,0005 \cdot 1,0} = 0,54 \frac{M}{c}. \quad (2.11)$$

Швидкість віднесення частки (друга критична швидкість)  $\omega_{yH}$  з сушарки «киплячого шару» визначається за допомогою критеріального рівняння [13]:

$$\omega_{yH} = \frac{\mu_{CP}}{d_{\partial} \rho_{CP}} \left( \frac{Ar}{18 + 0,6 \cdot \sqrt{Ar}} \right), \quad (2.12)$$

$$\omega_{yH} = \frac{2,2 \cdot 10^{-5}}{0,0005 \cdot 1,0} \cdot \left( \frac{4484}{18 + 0,6 \cdot \sqrt{4484}} \right) = 3,39 \frac{M}{c}.$$

Робочу швидкість сушильного агента вибирають в інтервалі від  $\omega_{KP}$  до  $\omega_{yH}$ . Ця швидкість залежить від граничного числа псевдозрідження. У свою чергу, число псевдозрідження залежить від: форми частинок, форми апарата, конструкції газорозподільної решітки і т.д. [13]. Його визначення базується на підставі аналізу дослідних даних, і для наших умов ведення процесу вибираємо значення  $K_{\omega} = 2,6$ .

Таким чином, робоча швидкість сушильного агента:

$$\omega_P = K_{\omega} \cdot \omega_{KP}, \quad (2.13)$$

Инов.№подл	Подп. и дата	Взам. инв.№	Инов.№ дубл.	Подп. и дата	Инов.№подл	Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист	29

$$\omega_p = 2,6 \cdot 0,54 = 1,4 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Діаметр решітки сушарки «киплячого шару» визначається з виразу:

$$D = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot \omega_p}}, \quad (2.14)$$

$$D = \sqrt{\frac{6,72}{0,785 \cdot 1,4}} = 2,47 \text{ м.}$$

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

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

Згідно з рекомендаціями [13] для забезпечення осадження частинок матеріала в сепараційній частині необхідно розширити сепараційний простір. Діаметр сепарації простору повинен бути більше в 1,2 рази від діаметра решітки сушарки (нижньої частини).

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

Тоді кут конусності обичайки складе:

$$\alpha = \arctg \left( \frac{D_c - D}{H_{\text{общ}}} \right) = \arctg \left( \frac{3 - 2,5}{2} \right) = 7,15^\circ,$$

де  $H_{\text{общ}}$  – загальна висота апарата над решіткою (див. розрахунок нижче).

Инд. №подл	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инд. № дубл.	Подп. и дата	Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
											30

Діаметри штуцерів розраховуємо за формулою:

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

де  $G$  – масова витрата теплоносія;

$\rho$  – густина теплоносія;

$\omega$  – швидкість руху теплоносія в штуцері.

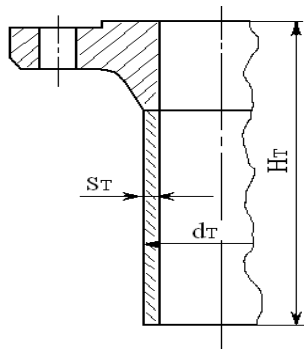


Рисунок 2.2 – Штуцер з приварним фланцем встик і виступом

Швидкості руху теплоносіїв [7]: для газового потоку 5–15 м/с.

Діаметр штуцера для входу і виходу повітря:

$$d_1 = \sqrt{\frac{6,72}{0,785 \cdot 8,5}} = 1,0 \text{ м.}$$

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

Инв.№подл	Подп. и дата	Взам. инв.№	Инв.№ дубл.	Подп. и дата	<p style="text-align: center;"><b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b></p>				Лист
									31
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата					

## 2.3 Визначення висоти киплячого шару

Висота киплячого шару [13]:

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

де  $H_0$  – висота шару, який знаходиться у спокої, згідно з рекомендаціями [13] приймаємо  $H_0 = 0,2$  м;

$\varepsilon_0$  – порізність насипного шару, що знаходиться в спокої,  $\varepsilon_0 = 0,4$  [13];

$\varepsilon_{CP}$  – середня порізність киплячого шару, визначаємо за формулою [13]:

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

де  $Re_p$  – число Рейнольдса при робочій швидкості:

$$Re_p = \frac{\omega_p d_{\text{э}} \rho_{CP}}{\mu_{CP}}, \quad (2.19)$$

$$Re_p = \frac{1,4 \cdot 0,0005 \cdot 1,0}{2,2 \cdot 10^{-5}} = 32.$$

Тоді  $\varepsilon_{CP}$  дорівнює:

$$\varepsilon_{CP} = \left( \frac{18 \cdot 32 + 0,36 \cdot 32^2}{4484} \right)^{0,21} = 0,57.$$

Можемо визначити висоту киплячого шару:

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

Инов.№подл	Подп. и дата
Взам. инв.№	Инов.№ дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<b>ХІ.С.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						32

Діаметри отворів в газорозподільній решітці визначаються за формулою [13]:

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

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

Діаметр отворів розподіленої решітки вибираємо з ряду нормальних розмірів. Приймаємо діаметр отворів розподіленої решітки  $d_0 = 3,6 \text{ мм}$ .

Число отворів  $n$  у розподільній решітці визначаємо за рівнянням:

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

де  $F_c$  – живий перетин решітки, приймаємо  $F_c = 0,04$  [13].

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

За рекомендацією [13] застосовуємо розташування отворів в розподільній решітці по кутах рівносторонніх трикутників. При цьому поперечний крок  $t'$  і поздовжній крок  $t''$  обчислюються по наступних співвідношеннях:

$$t' = 0,95d_0 F^{-0,5} = 0,95 \cdot 0,0036 \cdot 0,04^{-0,5} = 0,017 \text{ м}; \quad (2.22)$$

$$t'' = 0,866t' = 0,866 \cdot 0,017 = 0,015 \text{ м.} \quad (2.23)$$

Инв.№подл	Подп. и дата	Взам. инв.№	Инв.№ дубл.	Подп. и дата	Инв.№подл	Лист
<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>						



Висоту сепараційного простору сушарки з псевдозрідженим шаром  $H_c$  приймають в 4–6 разів більше висоти псевдозрідженого шару [13]:

$$H_c = 6 \cdot H = 6 \cdot 0,28 = 1,68 \text{ м} . \quad (2.24)$$

Загальна висота апарата над решіткою:

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

Приймаємо  $H_{\text{общ}} = 2 \text{ м}$ .

## 2.4 Гідравлічний опір апарата

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

$$\Delta P = \Delta P_{\text{ПС}} + \Delta P_P \quad (2.26)$$

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

$$\Delta P_{\text{ПС}} = \rho_{\text{ч}} (1 - \varepsilon) g H , \quad (2.27)$$

$$\Delta P_{\text{ПС}} = 1770 \cdot (1 - 0,57) \cdot 9,81 \cdot 0,28 = 2090 \text{ Па} .$$

Мінімально допустимий опір решітки:

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

Индв.№подл	Подп. и дата	Взам. инв.№	Индв.№ дубл.	Подп. и дата	Индв.№подл	Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист	34



При розрахунку циклонів визначають діаметр циклонів по умовній швидкості газу, віднесеної до повного перетину апарата:

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

де  $V$  – секундна витрата газу (повітря);

$\omega_y$  – умовна швидкість газу, яка знаходиться з формули:

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

де відношення  $\frac{\Delta P}{Y_r}$ , залежить від продуктивності і знаходиться в межах 25–55.

Приймаємо  $\frac{\Delta P}{Y_r} = 40$ .

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

де  $\xi = 100$  – коефіцієнт місцевого опору циклонів ЦН-15.

$$\omega_y = \sqrt{\frac{40 \cdot 2 \cdot 9,81}{100}} = 2,8 \text{ м/с.}$$

$$D = \sqrt{\frac{6,72}{0,785 \cdot 2,8}} = 1,75 \text{ м.}$$

Инд. №подл	Подп. и дата
Взам. инв. №	Инд. № дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<b>ХІ.С.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						36

Приймаємо 2 циклона НПОГАЗ серії ЦН-15 (див. рис. 2.3) діаметром 1000 мм.

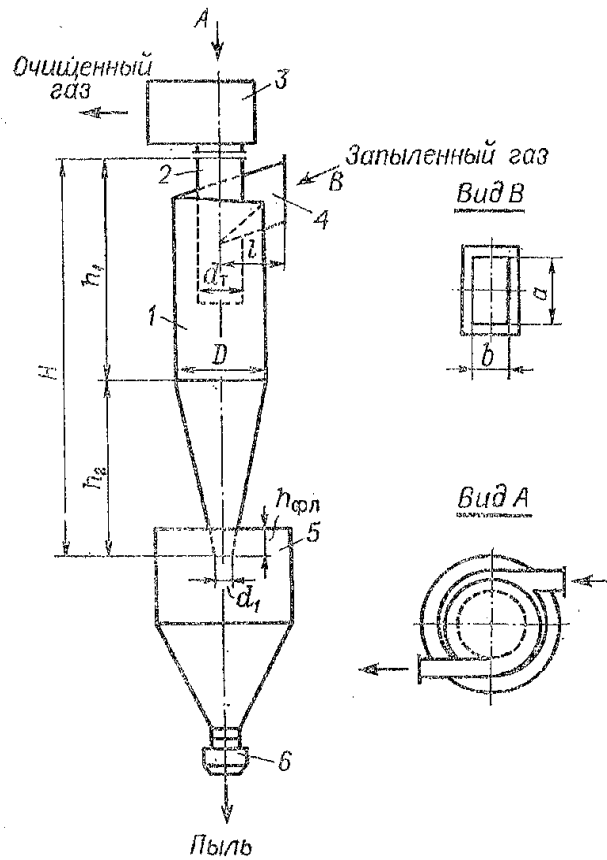


Рисунок 2.3 – Схема циклона НПОГАЗ серії ЦН-15

Об'єм бункера вологого матеріалу:

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

де  $G_u$  – кількість вологого матеріалу;

$\tau$  – тривалість робочої зміни, приймаємо  $\tau = 3 \text{ год.} = 10800 \text{ с}$ ;

$\rho_3$  – щільність матеріалу;

$\varphi$  – коефіцієнт заповнення ємкості,  $\varphi = 0,85 \div 0,95 = 0,9$ .

$$V_n = \frac{1,39 \cdot 10800}{1770 \cdot 0,9} = 9,4 \text{ м}^3$$

Ивн.№подл	Подп. и дата
Взам. инв.№	Ивн.№ дубл.
Подп. и дата	

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<b>ХІ.С.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						37

## РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНКИ АПАРАТА НА МІЦНІСТЬ

### 3.1 Розрахунок на міцність корпусу сушарки

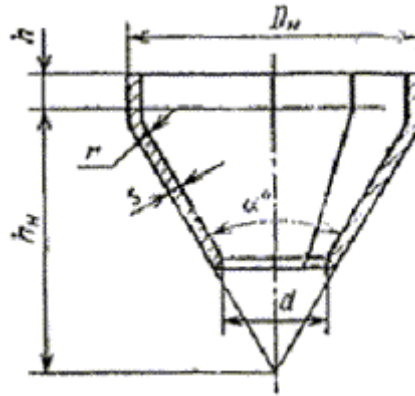


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема обичайки конічної

#### Вихідні дані

Матеріал обичайки:	ВСт3
Внутрішній діаметр більшої основи, D:	3000 мм
Внутрішній діаметр меншої основи, D <sub>1</sub> :	2500 мм
Надбавка для компенсації корозії та ерозії, c <sub>1</sub> :	1 мм
Надбавка для компенсації мінусового допуску, c <sub>2</sub> :	0 мм
Надбавка технологічна, c <sub>3</sub> :	0 мм
Сума надбавок, c:	1 мм
Довжина обичайки, L:	2000 мм
Коефіцієнти міцності зварних швів, φ:	1

Визначаємо відношення визначальних параметрів:

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

Подп. и дата	Инв.№ дубл.	Взам. инв.№	Подп. и дата

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Лист 38
-----	------	----------	-------	------	-------------------------	------------

Товщину стінки знаходимо за формулою [9]:

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

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

$P=0,1$  МПа – тиск гріючої пари;

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

$$S_{к р} = \frac{0,1 \cdot 3}{2 \cdot \cos 7,15^{\circ} \cdot 134 \cdot 1} = 0,001 \text{ м.}$$

Виконавча товщина стінки корпусу:

$$S = S_{к р} + c, \quad (3.3)$$

$$S = 0,001 + 0,001 = 0,002 \text{ м.}$$

Згідно з рекомендаціями [9] приймаємо товщину обичайки  $S=3$  мм.

Допустимий тиск для корпусу сушарки:

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

$$[p] = \frac{2 \cos 7,15^{\circ} \cdot 134 \cdot 1 \cdot (3 - 1) \cdot 10^3}{3 + 2 \cos 7,15^{\circ} \cdot (3 - 1) \cdot 10^3} = 0,177 \text{ МПа}$$

Умову міцності корпусу виконано.

Инд. №подл	Подп. и дата
Взам. инв. №	Инд. № дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						39

### 3.2 Розрахунок на міцність корпусу газорозподільного пристрою

*Вихідні дані*

Матеріал:	ВСтЗ
Внутрішній діаметр основи, D:	2500 мм
Надбавка для компенсації корозії та ерозії, c <sub>1</sub> :	1 мм
Надбавка для компенсації мінусового допуску, c <sub>2</sub> :	0 мм
Надбавка технологічна, c <sub>3</sub> :	0 мм
Сума надбавок, c:	1 мм
Коефіцієнти міцності зварних швів, φ:	1
Розрахунковий внутрішній тиск, P:	0,1 МПа

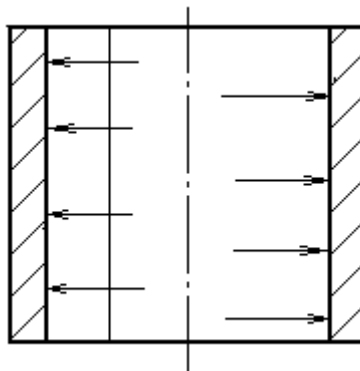


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема обичайки циліндричної

Розрахункова товщина стінки в робочому стані:

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

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

Индв.№подл	Подп. и дата
Взам. инв.№	Индв.№ дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Лист 40
-----	------	----------	-------	------	-------------------------	------------

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

Виконавча товщина стінки корпусу:

$$S = S_R + c, \quad (3.6)$$

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

Згідно з рекомендаціями [9] приймаємо товщину обичайки  $S=3$  мм.

Допустимий внутрішній надлишковий тиск визначимо за формулою:

$$[p_{II}] = \frac{2[\sigma]\varphi(S - C)}{D + (S - C)}, \quad (3.7)$$

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

Оскільки  $[p_{II}] > P$  ( $0,214 > 0,1$ ) – умова виконується, міцність забезпечується. Перевіряємо умови застосовності формул:

$$\frac{S - C}{D} \leq 0,1, \quad \frac{3 - 1}{2500} = 0,0008 < 0,1.$$

### 3.3 Розрахунок і вибір опори апарата

Вибираємо опори-лапи з підкладним листом (рис. 3.3).

Масу заповненого апарата:

$$M = M_{мет} + M_3 \quad (3.8)$$

Индв.№подл	Подп. и дата
Взам. инв.№	Индв.№ дубл.
Подп. и дата	

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						41



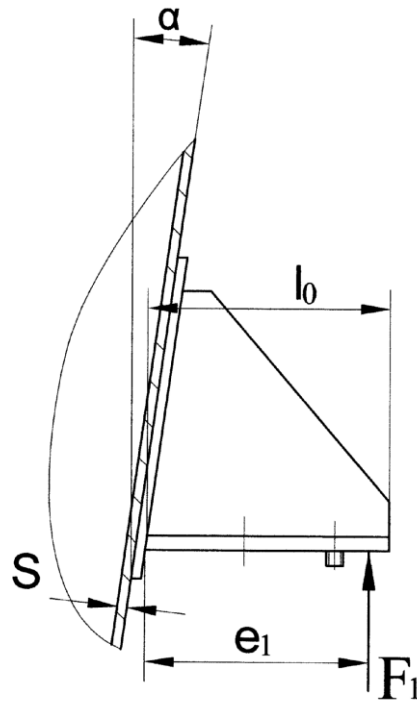


Рисунок 3.3 – Розрахункова схема опори-лапи

де  $M_{мет}$  – маса пустого апарата;

$M_3$  – маса матеріалу, що знаходиться в апараті.

Масу металу в апараті наближено приймаємо рівною масі циліндра, діаметр якого дорівнює середньому діаметру корпусу апарату

$$D_{ср} = \frac{D_1 + D_2}{2} = \frac{2,5 + 3}{2} = 2,75 м, \text{ а товщина дорівнює } L = 3 \text{ мм.}$$

$$M'_{мет} = V \cdot \rho = \pi D \cdot S \cdot L \cdot \rho = 3,14 \cdot 2,75 \cdot 3 \cdot 10^{-3} \cdot 3,5 \cdot 7800 = 707 \text{ кг} . \quad (3.9)$$

З урахуванням розподільчої решітки, кришки та днища маса апарату буде  $M_{мет} = M'_{мет} \cdot 1,5 = 1060 \text{ кг} .$

$$M = 1060 + 900 = 1960 \text{ кг} .$$

Вага апарату складе:

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

Инд. №подл	Подп. и дата
Взам. инв. №	Индв. № дубл.
Подп. и дата	

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Тоді:

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

Навантаження на одну опору визначимо за формулою [10]:

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

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

$f_{\max}$ ,  $b$  – по табл. 14.1 [10];

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

$s$  – виконавча товщина стінки апарату;

$c$  – прибавка для компенсації корозії;

$c_1$  – додаткова надбавка.

$Z$  – число опор,  $Z=3$ ;

$\lambda_1, \lambda_2$  – коефіцієнти, що залежать від числа опор  $z=3$  тоді  $\lambda_1=1$  [10];

$G$  – вертикальна сила;

$M$  – перекидаючий момент,  $M=0$  Н·м [10];

$D$  – внутрішній діаметр апарату.

Приймаємо перекидаючий момент рівним нулю, тоді:

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

Приймаємо виліт опори  $l = 0,11 \text{ м}$  і відношення вильоту лапи до висоти ребра [9]  $\frac{l}{h} = 0,5$ . Тоді

Инов.№подл	Подп. и дата	Взам. инв.№	Инов.№ дубл.	Подп. и дата					Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>				43

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

Розрахункову товщину ребра лапи при  $k = 0,6$  [9] визначаємо за формулою:

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

де  $z$  – кількість ребер в лапі-опорі,  $z = 2$  [9].

Відношення  $\frac{l}{13} = \frac{0,11}{13} = 0,0085 > s_p = 0,00089$  тому зменшуємо значення  $k_1 = 0,2$ , при якому за графіком з [9]  $\frac{l}{s} = 20$ . Перераховуємо  $s_p$ :

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

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

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

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

Міцність зварного шва при  $\tau_{сд} = 80 \frac{\text{МН}}{\text{м}^2}$  перевіряємо по формулі:

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

Міцність забезпечена.

Инд. №подл	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инд. № дубл.	Подп. и дата	Инд. №подл	Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист	44

Далі визначаємо максимальні напруження стискання в корпусі апарату в місці приєднання до нього лап.

Попередньо визначаємо значення параметрів:

$$\beta_1 = \frac{B}{D} = \frac{0,115}{2,75} = 0,042; \quad \beta_2 = \frac{H}{D} = \frac{0,22}{2,75} = 0,08,$$

$$\frac{D}{2(s-c)} = \frac{2,75}{2 \cdot (0,003 - 0,001)} = 688; \quad \frac{B}{H} = \frac{0,09}{0,22} = 0,409.$$

Момент від реакції опори, діючий на лапу при розрахунковому плечі  $l' = 0,1$  м

$$M_u = Ql' = 0,0063 \cdot 0,1 = 0,00063 \text{ МН} \cdot \text{м} \quad (3.16)$$

За графіками з [9] визначаємо значення коефіцієнтів  $K$ : для  $\frac{B}{H} = 0,409$  і

$$\frac{D}{2(s-c)} = 688; \quad K_m = 1, \quad K_k = 1,02.$$

Параметр  $\beta$  для знаходження моментів діючих на корпус, визначаємо за формулою:

- для визначення меридіональних моментів

$$\beta = K_m \sqrt[3]{\beta_1 \beta_2^2} = 1 \cdot \sqrt[3]{0,042 \cdot 0,08^2} = 0,065; \quad (3.17)$$

- для визначення кільцевих моментів

$$\beta = K_k \sqrt[3]{\beta_1 \beta_2^2} = 1,02 \cdot \sqrt[3]{0,042 \cdot 0,08^2} = 0,066. \quad (3.18)$$

Индв.№подл	Подп. и дата	Индв.№ дубл.	Взам. инв.№	Подп. и дата	Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
											45

За графіком з [9] при  $\beta_2 = 0,08$ ,  $\frac{D}{2(s-c)} = 688$  визначаємо параметри

$$\frac{M_m}{M_u / (0,5\beta_2 D)} = 0,03 \text{ звідки}$$

$$M_m = \frac{0,03M_u}{0,5\beta_2 D} = \frac{0,03 \cdot 0,00063}{0,5 \cdot 0,065 \cdot 2,75} = 0,00021 \text{ МН} \cdot \frac{\text{м}}{\text{м}}. \quad (3.19)$$

За графіком з [9] при  $\beta_1 = 0,066$ ,  $\frac{D}{2(s-c)} = 688$  визначаємо параметри

$$\frac{M_k}{M_u / (0,5\beta_2 D)} = 0,025 \text{ звідки}$$

$$M_k = \frac{0,04M_u}{0,5\beta_1 D} = \frac{0,025 \cdot 0,00063}{0,5 \cdot 0,066 \cdot 2,75} = 0,00017 \text{ МН} \cdot \frac{\text{м}}{\text{м}}. \quad (3.20)$$

Параметр  $\beta$  для знаходження сил, що діють на корпус, визначаємо за формулою:

$$\beta = \sqrt[3]{\beta_1 \beta_2^2} = \sqrt[3]{0,042 \cdot 0,08^2} = 0,065. \quad (3.21)$$

За графіком з [9] визначаємо значення коефіцієнтів  $K$ : для  $\frac{B}{H} = 0,409$ ,

$$\frac{D}{2(s-c)} = 688 \quad K_m = 0,6; \quad K_k = 1,1. \text{ Для } \beta = 0,065 \text{ и } \frac{D}{2(s-c)} = 688 \text{ знаходимо за графі-}$$

$$\text{ком з [9]} \quad \frac{P_m}{M_u / (0,25\beta_2 D^2)} = 11,5 \quad \frac{P_k}{M_u / (0,25\beta_2 D^2)} = 32, \text{ звідки значення } P_m \text{ и } P_k \text{ будуть}$$

дорівнювати:

$$P_m = K_m \frac{11,5M_u}{0,25 \cdot \beta D^2} = 0,6 \frac{11,5 \cdot 0,00063}{0,25 \cdot 0,065 \cdot 2,75^2} = 0,035 \frac{\text{МН}}{\text{м}}. \quad (3.22)$$

Инв.№подл	Подп. и дата	Взам. инв.№	Инв.№ дубл.	Подп. и дата	Инв.№подл	Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист	46

$$P_k = K_k \frac{32M_u}{0,25 \cdot \beta D^2} = 0,6 \frac{32 \cdot 0,00063}{0,25 \cdot 0,065 \cdot 2,75^2} = 0,098 \frac{MH}{m}. \quad (3.23)$$

Сумарні напруги стиснення в корпусі апарату при товщині стінки  $s - c = 0,002\text{ м}$  в місці приєднання лапи визначаємо:

- в меридіональному напрямку

$$\sigma_c = \frac{P_m}{s - c} + \frac{6M_m}{(s - c)^2} = \frac{0,035}{0,003 - 0,001} + \frac{6 \cdot 0,00021}{(0,003 - 0,001)^2} = 33,3 \frac{MH}{m^2}; \quad (3.24)$$

- в кільцевому напрямку

$$\sigma_c = \frac{P_k}{s - c} + \frac{6M_k}{(s - c)^2} = \frac{0,098}{0,003 - 0,001} + \frac{6 \cdot 0,00017}{(0,003 - 0,001)^2} = 30,4 \frac{MH}{m^2}. \quad (3.25)$$

Вибираємо стандартний тип лапи з накладним листом: *Опора 1 – 1000* *ОСТ 26 – 665 – 79* з параметрами (умовні позначення див. рис. 14.1 [10]):  $Q=10,0\text{ кН}$ ;  $a = 90\text{ мм}$ ;  $a_1 = 115\text{ мм}$ ;  $b = 115\text{ мм}$ ;  $C = 20\text{ мм}$ ;  $C_1 = 85\text{ мм}$ ;  $h = 170\text{ мм}$ ;  $h_1 = 14\text{ мм}$ ;  $S_1 = 6\text{ мм}$ ;  $K = 20\text{ мм}$ ;  $K_1 = 30\text{ мм}$ ;  $d = 24\text{ мм}$ ;  $d_6 - M16$ ;  $f_{\max} = 30\text{ мм}$ . *Накладний лист 1-1000-8* *ОСТ 26-665-79*:  $Q=10,0\text{ кН}$ ;  $B=150\text{ мм}$ ;  $H=250\text{ мм}$ ;  $c=12\text{ мм}$ ;  $s_H=8$ .

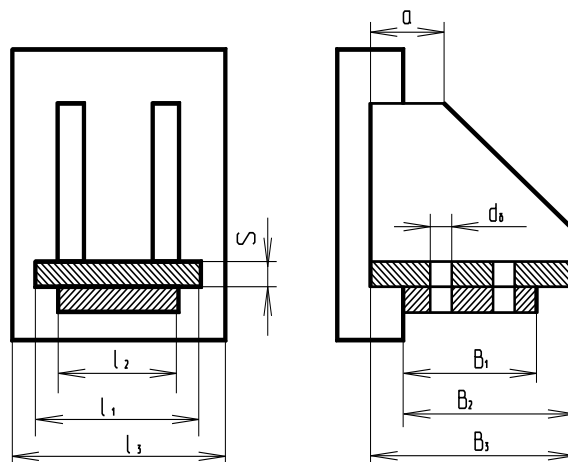


Рисунок 3.4 – Ескіз опори-лапи

Инв.№подл	Подп. и дата	Взам. инв.№	Инв.№ дубл.	Подп. и дата	XI.C.00.00.00 ПЗ					Лист
					Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	47

## РОЗДІЛ 4

### МОНТАЖ І РЕМОНТ АПАРАТА КИПЛЯЧОГО ШАРУ

#### 4.1 Монтаж апарата [14, 15]

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

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

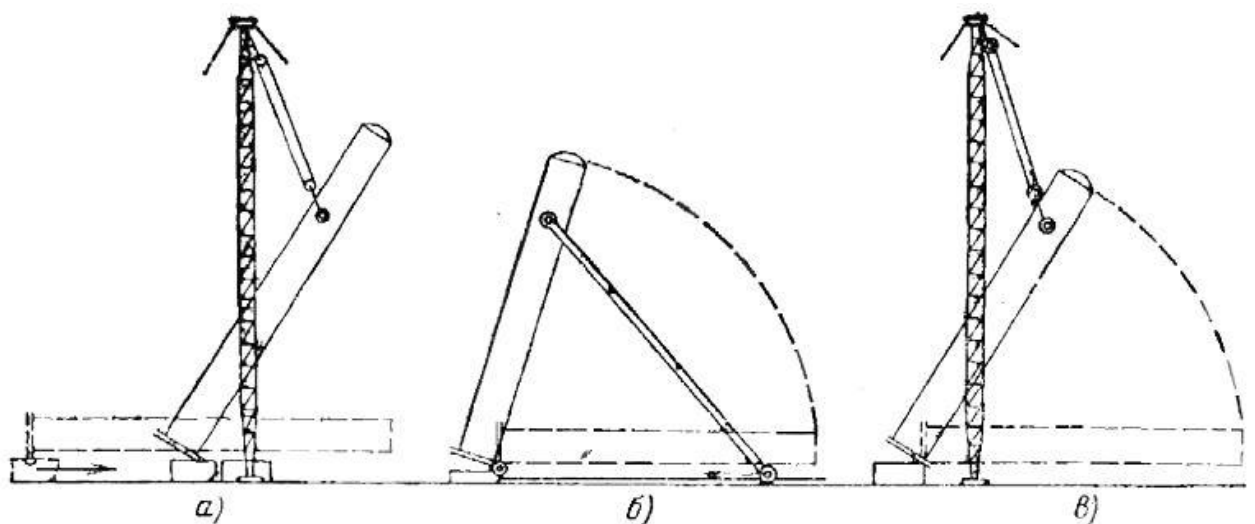


Рисунок 4.1 – Схеми монтажу:

а – методом підйому і ковзання; б – методом витискання;

в – методом повороту навколо шарніра

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

Ивв.№подл	Подп. и дата
Изм	Ивв.№ дубл.
Лист	Взам. инв.№
№ докум.	Подп. и дата
Подп.	Ивв.№подл
Дата	Изм

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

**XI.C.00.00.00 ПЗ**

Лист

48

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

*Метод повороту навколо шарніра* (рис. 4.1 в). Шарнір розташований поблизу фундаменту і закріплений до нього. Нижній кінець апарату з'єднаний з шарнірним пристроєм. При підйомі за верхівку апарат повертається на шарнірі і при досягненні вертикального положення своєю основою встановлюється на фундамент. Такий спосіб дозволяє піднімати апарати значно більшої маси в порівнянні з вантажопідйомністю монтажних кранів або механізмів.

Послідовність подачі деталей і вузлів сушарки в монтажну зону відображається в технологічній монтажній карті або в окремому графіку. У графіку вказуються: час подачі деталей і вузлів; місце, до якого деталь або вузол повинні бути подані; застосовувані транспортні та підйомні засоби і трудові витрати. Запас деталей в монтажній зоні не повинен перевищувати 2–3 змінної потреби. Складання вузлів і деталей в монтажній зоні повинно проводитися так, щоб не заважати виконанню монтажних робіт. Подачу деталей до місця монтажу бажано проводити в зміну, вільну від монтажу.

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

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

Ив.№подл	Подп. и дата
Взам. инв.№	Ив.№ дубл.
Подп. и дата	

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						49



## 4.2 Ремонт апарата [15]

У процесі експлуатації технологічного обладнання спостерігаються відхилення від норми в роботі обладнання і вихід його з ладу. Для підтримки обладнання в робочому стані передбачена система технічного обслуговування і ремонтів. Передбачено капітальний і технологічний ремонт обладнання.

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

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

Капітальний ремонт сушарки киплячого шару складається з наступних операцій:

1. Роз'єднують фланцеві стики, знімається трубна обв'язка, оглядове скло, кришки люків, кришку апарату, верхню та нижню секції апарату, перфоровану газорозподільчу решітку.
2. Встановлюють заглушки. Очищують та промивають апарат і газорозподільчу решітку. Розбраковують деталі, дефектні деталі замінюються.
3. Виготовляють комплект прокладок. Встановлюють перфоровану решітку, прокладки, нижню частину апарату, верхню кришку апаратів, оглядові вікна, люки.
4. Знімають заглушки. З'єднують фланцеві стики та встановлюють трубну обв'язку. Випробовують апарат та здають його в експлуатацію, після заповнення відповідних ремонтних документів.

Розглянемо найбільш розповсюджені неполадки в роботі сушарки киплячого шару та способи їх усунення (табл. 4.1).

Инд.№подд	Подп. и дата	Взам. инв.№	Инд.№ дубл.	Подп. и дата						Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>					50

Таблиця 4.1 – Можливі неполадки, їх причини та способи усунення

Неполадки	Причини неполадок	Способи усунення
Не відбувається подачі матеріалу в апарат	Зупинка живильника або конвеєра через несправність електродвигуна	Ліквідувати несправність живильника, конвеєра або бункера та відновити подачу матеріалу
Різке падіння рівня в збірниках при нормальній подачі	Забивка комунікацій або зупинка насоса	Очистити та промити комунікації, ліквідувати несправність насоса
Підвищення рівня в збірнику	Несправність насосу	Налагодити роботу насоса
Підвищений гідравлічний опір шару гранул в апараті	Збільшення висоти киплячого шару. Утворення крупних агломератів та гранул	Перевірити режим роботи апарату та налагодити роботу розвантажувального патрубку
Відрив полум'я в топці.	Швидкість газоповітряної суміші на виході з топки більше швидкості поширення полум'я	Зменшити подачу газу та первинного повітря в топці
Спостерігається проскакування полум'я в пальник топки апарата	Швидкість газоповітряної суміші на виході з топки менше швидкості поширення полум'я	Збільшити подачу газу та первинного повітря
Зниження інтенсивності перемішування та висоти киплячого шару в апараті	Забивка газорозподільчої решітки. Несправність компресора, ресивера	Зупинити апарат та прочистити газорозподільчу решітку, перевірити роботу компресора та ресивера
Механічні неполадки обладнання	Знос окремих деталей, корпусів апаратів тощо. Несвоєчасний планово-попереджувальний ремонт, погане обслуговування	Своєчасно проводити заміну деталей та дотримуватись графіку планово-попереджувального ремонту

Индв.№поддл	Подп. и дата
Взам. инв.№	Индв.№ дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

ХІ.С.00.00.00 ПЗ

Лист

51

## РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

**Сутність захисного заземлення, норми допустимого опору, порядок розрахунку [16, 17].**

Небезпека ураження людини електричним струмом багато в чому визначається явищами, що виникають під час стікання електричного струму на землю.

Стікання струму в землю відбувається тільки через провідник, що перебуває з нею в безпосередньому контакті. Такий контакт може бути випадковим чи навмисним. В останньому випадку провідник чи група з'єднаних між собою провідників, що у контакті із землею, називається заземлювачем.

Захисне заземлення – це навмисне електричне з'єднання із землею або її еквівалентом металевих нетоковедучих частин, які можуть опинитися під напругою.

### **Причинами стікання струму в землю є:**

- замикання струмопровідної частини на заземлений корпус електроустановки;
- падіння дроту на землю;
- використання землі у якості дроту тощо.

Стікання струму в землю супроводжується виникненням не тільки на заземлювачі, але і в землі навколо заземлювача, а отже, і на поверхні землі деяких потенціалів.

Також необхідно знати, від чого залежать значення цих потенціалів, як вони змінюються при змінах відстані до заземлювача, тобто знати рівняння потенційної кривої.

Одиночний провідник, що у контакті із землею, називається одиночним заземлювачем. Одиночні заземлювачі розрізняються формою, розмірами та способами здійснення контакту із землею.

Ив.№подл	Подп. и дата
Изм	Лист
№ докум.	Подп.
Дата	

<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>					Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	52

**Розподіл потенціалів на поверхні землі (потенційна крива) має свої особливості для:**

- кульового заземлювача, що у землі на великій глибині;
- кульового заземлювача поблизу поверхні землі;
- півкульового заземлювача;
- стрижневого заземлювача;
- дискового заземлювача.

Потенційна крива заземлювача будь-якої форми на відносно великій від нього відстані (порівняно з розмірами заземлювача) наближається до потенційної кривої півкульового заземлювача.

За умовами безпеки обслуговуючого персоналу заземлення має мати порівняно малий опір, забезпечити який можна шляхом збільшення геометричних розмірів одиночного заземлювача (електрода) або застосуванням кількох паралельно з'єднаних електродів, іменованих груповим заземлювачем.

Використовуючи груповий заземлювач, можна вирівняти потенціал на території, де розміщуються заземлювальні електроди, що у ряді випадків відіграє вирішальну роль у забезпеченні безпеки обслуговуючого персоналу.

Розподіл потенціалу на поверхні землі при використанні групового заземлювача та значення потенціалу самого групового заземлювача (електродів) залежить від кількості використовуваних електродів, їх форми та розмірів, а також від відстані між електродами:

- розподіл потенціалу на поверхні землі при нескінченно великих відстанях між електродами;
- розподіл потенціалу на поверхні землі при малих відстанях між електродами;
- потенційна крива найпростішого групового заземлювача;
- потенціал групового заземлювача.

Инд.№подл	Подп. и дата
Взам. инв.№	Инд.№ дубл.
Подп. и дата	

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						53

**Опір заземлювача розтіканню струму.** Струм, що проходить через заземлювач у землю, долає опір, званий опором заземлювача розтіканню струму або просто опором розтікання.

Воно має три доданки:

- опір самого заземлювача;
- перехідний опір між заземлювачем і ґрунтом (тобто контактний опір між поверхнею заземлювача та прилеглими до неї частинками землі);
- опір ґрунту.

Два перших доданків у порівнянні з третім малі, тому під опором заземлювача розтіканню струму розуміють опір ґрунту розтіканню струму.

Оскільки щільність струму в землі на відстані більше 20 м від заземлювача практично дорівнює нулю, можна вважати, що опір струму, що стікає, надає лише відповідний об'єм землі; для одиночного заземлювача – це півсфера радіусом 20 м. Однак, при різних формах і розмірах заземлювача опір цього обсягу землі по-різному.

Тому висловлювання для обчислення опорів розтіканню струму одиночних заземлювачів різної форми мають свої особливості:

- опір розтіканню струму одиночного шарового заземлювача;
- опір розтіканню струму півкульового заземлювача;
- опір розтіканню струму одиночних заземлювачів інших типів.

До цих пір, розглядаючи явища стікання струму в землю, ми вважали, що земля у всьому своєму об'ємі однорідна, тобто в будь-якій точці має однаковий

Опір групового заземлювача розтіканню струму залежить від кількості електродів, що входять до складу групового, їх власних опорів розтіканню струму та відстані між електродами:

- опір групового заземлювача розтіканню струму на відстані між електродами більше 40 м;

Инд. №подл	Подп. и дата
Взам. инв. №	Инд. № дубл.
Подп. и дата	

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						54

– опір групового заземлювача розтіканню струму на відстані між електрородами менше 40 м;

– коефіцієнт використання групового заземлювача.

Працюючи в діючих електроустановках завжди існує певна ймовірність потрапляння людини під дію електричного струму. Ця ймовірність може бути меншою або більшою залежно від різних факторів. Але в будь-якому випадку при оцінці дії струму на людину визначаються значення:

– напруги дотику;

– напруги кроку.

**Напруга дотику.** Відповідно до нормативних документів напруга дотику – це напруга між двома провідними частинами або між провідною частиною та землею при одночасному дотику до них людини чи тварини.

Тобто напругою дотику (для людини) називається напруга між двома точками ланцюга струму, яких одночасно торкається людина, або падіння напруги в опорі тіла людини.

Оскільки напруга дотику залежить від значення потенціалу заземлювача та від характеру його потенційної кривої, небезпека для людини буде різною при використанні різних типів одиночних заземлювачів та групових заземлювачів:

– напруга дотику при одиночному заземлювачі;

– напруга дотику при груповому заземлювачі.

**Напруга дотику з урахуванням падіння напруги в опорі основи, на якій стоїть людина.** Струм, що стікає в землю через людину, що стоїть на землі, підлозі або іншій підставі, долає опір не тільки тіла людини, а й цієї підстави, вірніше, тих її ділянок, з якими мають контакт підошви ніг людини (опір взуття в даному випадку до уваги не приймається).

Инд. №подл	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инд. № дубл.	Подп. и дата						
					Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>					Лист
										55

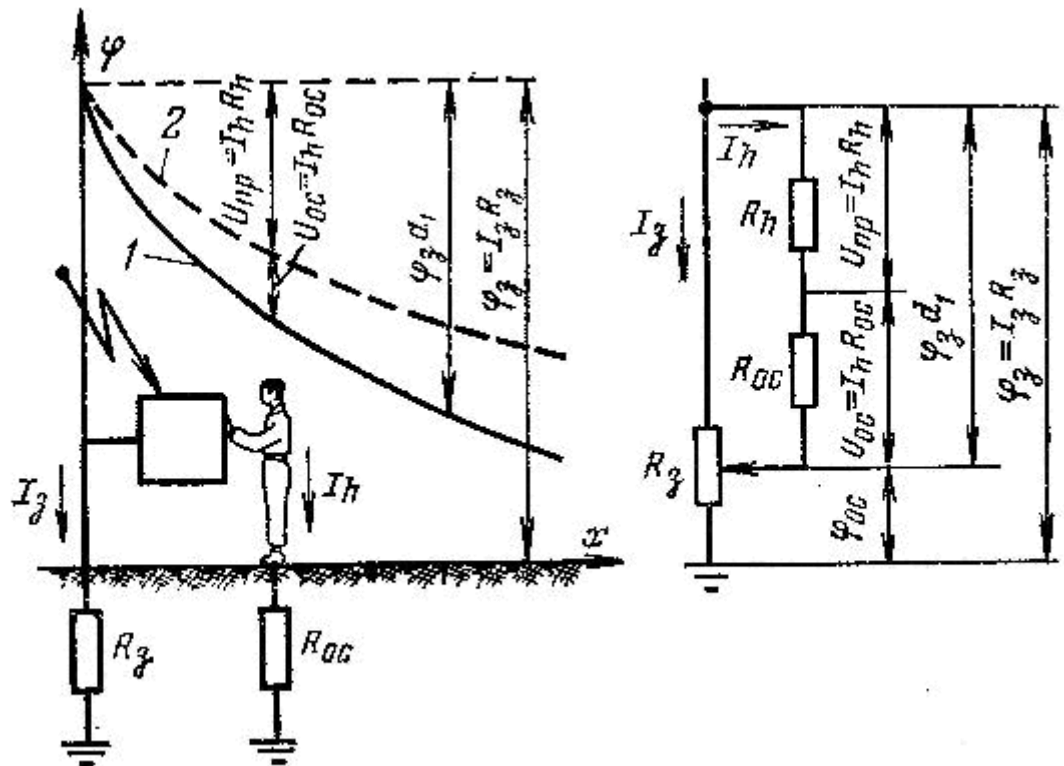


Рисунок 5.1 – До визначення напруги дотику з урахуванням падіння напруги в опорі розтіканню струму основи, на якій стоїть людина: 1 – потенційна крива; 2 – крива, що характеризує зміну  $U_{np}$  зі зміною відстані від заземлювача

Опір основи, на якій стоїть людина, правильніше називати (аналогічно опору заземлювача) опором розтіканню струму основи ніг. Часто цей опір називають також опором розтіканню струму основи або опором розтіканню струму ніг людини.

Усі положення, розглянуті вище, справедливі для випадків, коли опір розтіканню підстави, на якій стоїть людина, дорівнює нулю. У дійсних умовах цей опір не дорівнює нулю і часом буває досить великий.

**Напруга кроку.** Напругою кроку називається напруга між двома точками ланцюга струму, що знаходяться одна від одної на відстані кроку, що приймається рівним 1 м, на яких одночасно стоїть людина, або, інакше кажучи, падіння напруги в опорі тіла людини.

Инд. № подл.	Подп. и дата
Изм.	Лист
№ докум.	Подп.
Дата	

У сфері захисних пристроїв від ураження струмом (заземлення, занулення та інших) інтерес представляють насамперед напруги між точками на поверхні землі (чи іншої підстави, на якій стоїть людина) у зоні розтікання струму із заземлювача. Без урахування опору розтіканню струму основи напругою кроку буде різниця потенціалів у двох точок на поверхні землі в зоні розтікання струму, які знаходяться на відстані  $x$  і  $(x + a)$  від заземлювача та на відстані кроку  $a$  одна від одної і на яких стоїть людина (рис. 5.2).

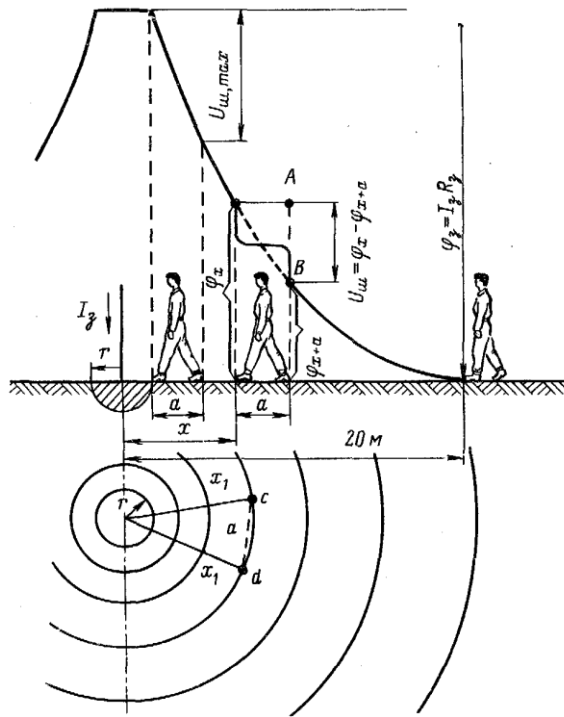


Рисунок 5.2 – Напруга кроку при одиночному заземлювачі

Напруга кроку визначається відрізком  $AB$  (див. рис. 5.2), довжина якого залежить від форми потенційної кривої, тобто від типу заземлювача, та змінюється від максимального значення до нуля зі зміною відстані від заземлювача:

- напруга кроку при одиночному заземлювачі;
- напруга кроку при груповому заземлювачі.

Ивн.№подл	Подп. и дата
Ивн.№инв.№	Ивн.№ дубл.
Ивн.№инв.№	Подп. и дата
Ивн.№подл	Подп. и дата

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

**XI.C.00.00.00 ПЗ**



## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Сульфат амонію. Матеріал з Вікіпедії [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ru.wikipedia.org>
2. Петренко Д. С. Производство сульфата аммония / Д. С. Петренко. – Москва : Metallurgia, 1966. – 143 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. Карякин Ю. В. Чистые химические реактивы. Руководство по лабораторному приготовлению неорганических препаратов / Отв. ред. Г. Я. Бахаровский. – 2-е изд. – Ленинград : Полиграфкнига, 1977. – 576 с.
5. Лыков М. В. Сушка в химической промышленности / М. В. Лыков. – М. : Химия, 1970. – 432 с.
6. Основные процессы и аппараты химической технологии : Пособие по проектированию / Под ред. Дытнерского Ю. И. – М. : Химия, 1983. – 272 с.
7. Павлов К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии : Учебное пособие для вузов / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. – 10-е изд., перераб. и доп. – Л. : Химия, 1987. – 576 с.
8. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М. : Химия, 1973. – 752 с.
9. Лащинский А. А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / А. А. Лащинский, А. Р. Толчинский. – Л. : Машиностроение, 1970. – 752 с.
10. Лащинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов : Справочник / А. А. Лащинский. – Л. : Машиностроение, 1981. – 382 с.
11. Гинзбург А. С. Сушка пищевых продуктов в кипящем слое / А. С. Гинзбург, В. А. Резчиков. – М. : Пищевая промышленность, 1966. – 200 с.
12. Врагов А. П. Матеріали до розрахунків процесів та обладнання хімічних і газонафтопереробних виробництв: Навчальний посібник / А. П. Врагов, Я. Е.

Ивн.№подл	Подп. и дата	Взам. инв.№	Ивн.№ дубл.	Подп. и дата	Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
											58

Михайловський, С. І. Якушко. – За ред. А. П. Врагова. – Суми : Вид-во СумДУ, 2008. – 170 с.

13. Лебедев П. Д. Расчет и проектирование сушильных установок / П. Д. Лебедев. – М.–Л. : Госэнергоиздат, 1963. – 320 с.

14. Гайдамак К. М. Монтаж оборудования предприятий химической и нефтехимической промышленности / К. М. Гайдамак, Б. А. Тыркин. – М. : Высшая школа, 1974. – 286 с.

15. Фармазов С. А. Ремонт и монтаж оборудования химических и нефтеперерабатывающих заводов / С. А. Фармазов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1980. – 312 с.

16. Явища при стіканні струму в землю [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://ftemk.mpei.ac.ua/bgd/\\_private/U\\_pr\\_sh.htm](http://ftemk.mpei.ac.ua/bgd/_private/U_pr_sh.htm)

17. Рогач І. М. Охорона праці в лікувально-профілактичних та санаторних закладах : Навчально-методичний посібник / І. М. Рогач, Р. І. Шніцер, С. П. Козодаєв. – Ужгород : Ужгородський національний університет, 2011. – 38 с.

Инв.№подл	Подп. и дата	Взам. инв.№	Инв.№ дубл.	Подп. и дата	Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
											59