

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри

підпис, дата

Кваліфікаційна робота бакалавра

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

Тема роботи: Виробництво хлориду калію. Розробити барабанну сушарку

Виконала:
студентка групи ХМз-73-9с

Супрун Дар'я Євгеніївна

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 "Комп'ютерний інжиніринг обладнання хімічних виробництв"

Курс 4 Група ХМз-73-9с

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Студентці Супрун Дар'ї Євгеніївни

1 Тема роботи: Виробництво хлориду калію. Розробити барабанну сушарку

2 Вихідні дані: Розробити барабанну сушарку для сушіння хлориду калію. Продуктивність за вологим матеріалом 10000 кг/год. Вологість матеріалу (% на загальну масу): початкова – 5,0; кінцева – 0,2. Температура матеріалу (°C): початкова – 20; кінцева – 80. Теплоносій – топкові гази з початковою температурою 650°C. Розмір частинок матеріалу – 0,2 мм.

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

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

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

5 Етапи виконання кваліфікаційної роботи:

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

6 Дата видачі завдання

жовтень 2020 р.

Керівник

підпис

доц. Юхименко М.П.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 58 с., 11 рис., 3 табл., 2 додатки, 19 джерел.

Графічні матеріали: технологічна схема виробництва хлориду калію, складальне креслення барабанної сушарки, складальне креслення ролика упорного – усього 3 аркуша графічної частини (3,0×A1).

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

У роботі наведено теоретичні основи і особливості процесу сушіння, виконані технологічні розрахунки процесу, визначені габаритні розміри апарату, обґрунтовано вибір конструкції апарату та матеріалів для виготовлення основних його складальних одиниць. Виконано розрахунок та проведено підбір допоміжного обладнання. Викладена організація монтажних та ремонтних робіт основного технологічного обладнання. Розрахунками на міцність та герметичність доведено надійність роботи проекрованої барабанної сушарки. У розділі «Охорона праці» розглянуто причини забруднення і характер впливу повітря робочої зони на працівників.

Ключові слова: ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА, ХЛОРИД КАЛІЮ, СУШАРКА, БАРАБАН, ТОПКОВІ ГАЗИ, ПОВІТРЯ, ЗАБРУДНЕННЯ.

Зміст

	С.
Вступ	5
1 Технологічна частина	7
1.1 Опис технологічної схеми виробництва хлориду калію	7
1.2 Теоретичні основи процесу сушіння	10
1.3 Опис конструкції барабанної сушарки та вибір основних конструкційних матеріалів	14
2 Технологічні розрахунки процесу і апарату	23
2.1 Теплові (енергетичні) баланси і розрахунки	23
2.2 Матеріальні баланси і технологічні розрахунки	27
2.3 Конструктивні розрахунки	31
2.4 Гідравлічні розрахунки	35
2.5 Розрахунок та вибір допоміжного обладнання	33
3 Розрахунки апарату на міцність та герметичність	39
3.1 Розрахунок барабану на жорсткість	41
3.2 Перевірка міцності бандажу на вигин	45
4 Монтаж та ремонт апарату	47
4.1 Монтаж апарату	47
4.2 Ремонт апарату	49
5 Охорона праці	52
Список літератури	57
Додаток А – Схема реального процесу сушіння топковими газами	
Додаток Б – Специфікації до графічної частини	

					<i>XI.C.00.00.00 ПЗ</i>			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Супрун				Барабанна сушарка <i>Пояснювальна записка</i>	Лім.	Лист	Листів
Перевір.	Юхименко						4	58
Реценз.						СумДУ, ХМз-73-9с		
Н. Контр.								
Затверд.	Склабінський							

Вступ

Калієва сіль соляної кислоти (хлорид калію, KCl) – це біла кристалічна речовина з температурою плавлення 776°C , температурою кипіння 1407°C . У природі зустрічається у вигляді мінералу сильвіна. Широко застосовується в сільському господарстві як калійне добриво. Окрім того, служить сировиною для одержання гідроксиду калію та інших сполук калію [1].

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

Під сушінням розуміють сукупність термічних і масообмінних процесів у поверхні (зовнішня задача) і всередині (внутрішня задача) вологого матеріалу, що сприяють його зневодненню. Зневоднення матеріалів виконують для поліпшення їх якості і довговічності. Тому в ряді випадків сушіння супроводжується структурно-механічними, хімічними, біохімічними, реологічними змінами висушеного матеріалу [2].

Барабанні сушарки широко застосовуються в хімічній промисловості для сушіння сипучих, дрібнокускових і зернистих матеріалів. У таких сушарках тепло передається від сушильного агенту безпосередньо висушеному матеріалу всередині сушильного барабана, тобто барабанні сушарки відносяться до конвективних [3].

Барабанні сушарки відрізняються високою продуктивністю. Встановлюються вони або на початку технологічного процесу для попередньої підсушування сировини, або в кінці процесу для остаточного сушіння готового продукту. У барабанних сушарках можна виконувати сушіння палива (буре, кам'яне вугілля, сланець, торф), глини, вапняку, фосфоритів, марганцевих руд, бікарбонату натрію, аміачної селітри, нітрату та хлориду калію, пластичних мас тощо [3].

У даному кваліфікаційному проекті пропонується розробити барабанний апарат для сушіння кристалів хлориду калію, який у подальшому

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
						5
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

використовується в якості складової частини для виробництва комплексних мінеральних добрив, а також в металургії, піротехніці, текстильній, скляній, миловарній, фармацевтичній, целюлозно-паперовій, шкіряній і багатьох інших галузях промисловості [1].

Кваліфікаційна робота бакалавра являє собою комплексне навчально-дослідне та практичне розроблення, що виконується на базі теоретичних знань і практичних навичок, набутих студентом після вивчення дисциплін, визначених вимогами кваліфікаційної характеристики фахівця за відповідною спеціальністю. Даний проект виконано у відповідності до методичних вказівок [4] із представленням усіх регламентованих розділів.

					<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>		6

1 Технологічна частина

1.1 Опис технологічної схеми виробництва хлориду калію

Збагачення калійної руди проводиться двома методами: флотаційним і хімічним (галургічним) [5]:

1. Галургічний метод використовується ще з часів зародження калійної промисловості в другій половині XIX століття. Він дозволяє отримати хімічно чистий хлористий калій із вмістом корисного компонента 98 %, який використовується в сільському господарстві і хімічній промисловості.

Метод галургії заснований на використанні різної розчинності хлоридів калію і натрію при послідовних операціях нагрівання та охолодження системи. При отриманні хлориду калію сильвініт обробляють при підвищених температурах насиченим розчином солей. При цьому розчин збагачується KCl, а частина NaCl переходить в осад і відокремлюється фільтруванням. Потім розчин охолоджують. Із нього виділяють кристали хлориду калію, які відокремлюють від маткового розчину і висушують. Матковий розчин знову спрямовують на розчинення сильвініту. Одержуваний продукт містить 52–60 % K₂O.

2. Флотаційний метод став використовуватися з 60-х рр. XX століття для виробництва калійних добрив для сільського господарства з вмістом корисного компонента до 95 %.

Флотація – широко поширений спосіб збагачення корисних копалин відділенням частинок порожньої породи. Метод заснований на відмінності змочування поверхні твердих частинок водою. Для створення умов неоднакової змочуваності водою окремих компонентів породи застосовують різноманітні хімічні сполуки – флотаційні реагенти (флотореагенти). Вони вибірково підсилюють або послаблюють змочуваність водою, а також прилипання до бульбашок повітря зважених мінеральних частинок.

Загальна технологічна схема отримання хлориду калію флотаційним методом представлена на рис. 1.1.

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		7

1.2 Теоретичні основи процесу сушіння

Теоретичний огляд, що наведено у данному підрозділі, виконано на підставі літературних джерел [6–8].

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 ,

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

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

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

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

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

Питомий об'єм вологого повітря (віднесений до 1 кг сухого повітря) $\nu_{уд}$ (м³/кг) розраховується за формулою:

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

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

T – температура повітря, К;

P – загальний тиск пароповітряної суміші, Па;

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
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		10

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

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

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

При відсутності додаткового підігріву повітря в сушильній камері маємо:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Абсолютна вологість – це маса водяної пари в одиниці об'єму вологого повітря. Оскільки пара, як компонент бінарної газової суміші, займає увесь об'єм вологого газу, поняття абсолютної вологості збігається з поняттям густини пари ρ_n (в кг/м³) при температурі t і парціальному тиску P_n .

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

$$\varphi = \frac{\rho_n}{\rho_{n.n.}} = \frac{P_n}{P_{n.n.}}. \quad (1.1)$$

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

$$x = \frac{G_n}{L}, \quad (1.2)$$

де G_n – маса (масова витрата) пари, кг (кг/с);

L – маса (масова витрата) абсолютно сухого газу, кг (кг/с).

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

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

$$H = H_{c.g.} + H_n \cdot x. \quad (1.3)$$

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

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

Порівняння конструкції проектного апарату з аналогами [6–8]

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

Барабанні вакуумні сушарки працюють, як правило, періодично. Їх застосовують для сушіння термочутливих матеріалів від води та органічних розчинників, а також для сушіння токсичних матеріалів.

Залежно від властивостей матеріалу і вимог до готової продукції застосовують сушарки середнього (залишковий тиск 3–13 кПа) або глибокого (залишковий тиск до 133,3 Па) вакууму.

Вакуумні барабанні сушарки застосовують в основному у виробництві отрутохімікатів, гербіцидів, деяких полімерних матеріалів, а також в медичній, харчовій та фармацевтичній промисловостях.

Барабанна вакуумна гребкова сушарка (рис. 1.6) з реверсивним обертанням ротора (типу СВГР) являє собою горизонтальний циліндричний барабан із сорочкою, всередині якого встановлено лопатевий переміщуючий пристрій. Реверсування обертання валу – автоматичне.

У цих сушарках можуть бути встановлені перемішуючі пристрої різних конструкцій: гребкова мішалка без обігріву, лопатева мішалка з обігрівуючим валом або мішалка із додатковими трубчастими поверхнями теплообміну. Висушування продукту відбувається при контакті з нагрітими поверхнями в умовах вакууму. Залишковий тиск в апараті до 5,3 кПа.

					<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>		16

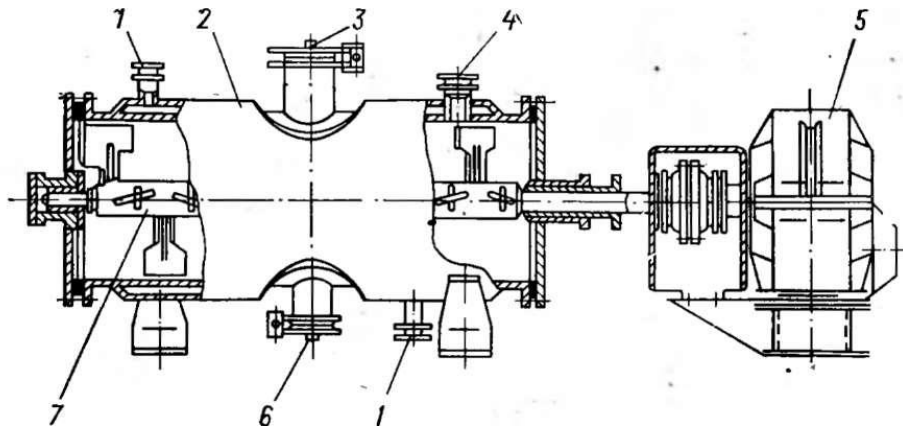


Рисунок 1.6 – Барабанна вакуумна гребкового сушарка типу СВГР з реверсивним обертанням ротора:

1 – штуцери для введення грійочої пари; 2 – корпус; 3 – завантажувальний штуцер; 4 – штуцер для відведення парів; 5 – електродвигун; 6 – розвантажувальний штуцер; 7 – лопатевий вал

Барабанні вакуумні сушарки (типу ВБС) з обертовим корпусом (рис. 1.7) відрізняються гарною герметичністю, що дозволяє використовувати їх для сушіння токсичних сипких матеріалів. Ця сушарка містить ряд вбудованих один в інший циліндрів, що обігріваються парою низького тиску або водою.

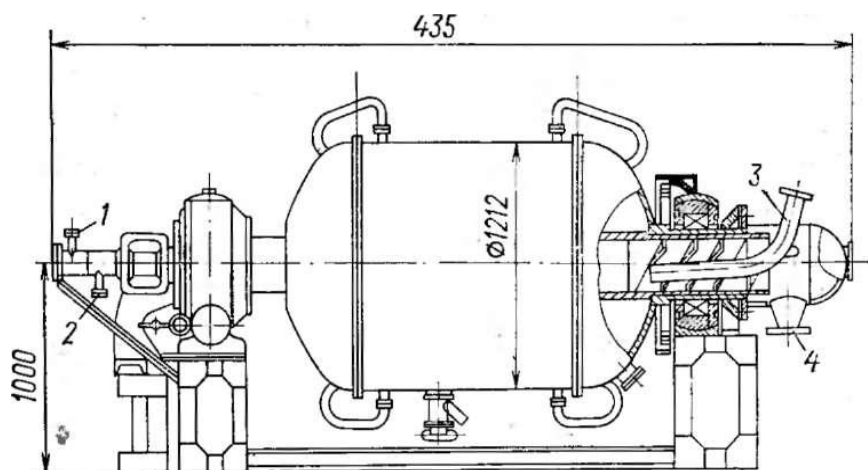


Рисунок 1.7 – Барабанна вакуумна сушарка типу ВБС з обертовим корпусом:

1 – штуцер для підведення пари; 2 – штуцер для відведення конденсату; 3 – патрубков для під'єднання сушарки до вакуум-насосу; 4 – патрубков для вивантаження матеріалу

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

XI.C.00.00.00 ПЗ

Лист

17

Для захисту висушених матеріалів від взаємодії з киснем повітря вивантажують і охолоджують матеріал під вакуумом. За однією цапфою підводять пару до парових сорочок циліндрів і відводять конденсат, за іншою (за допомогою шнеку) завантажують вихідний матеріал і вивантажують готовий продукт. Для створення вакууму в установці використовуються механічні або пароструминні вакуум-насоси.

Розпилювальна сушка використовується для рідких і пастоподібних матеріалів, і полягає в тому, що матеріал диспергують спеціальними пристроями і висушують в потоці газоподібного теплоносія. Час перебування матеріалу в зоні сушіння дуже малий, а високий ступінь диспергування забезпечує швидке висушування. Тому в розпилювальних сушарках можна використовувати теплоносій із високою температурою. Висушений продукт виходить рівномірного дисперсного складу, сипучим і дрібнодисперсним.

Для диспергування матеріалів, зазвичай, використовують три типи розпилювачів: механічні форсунки, пневматичні форсунки і відцентрові розпилювальні диски. Можливим є спільне розпорошення і одночасне перемішування двох і більше компонентів. Недоліком розпилювальних сушарок є великі габарити і підвищена витрата енергії.

Розпилювальні сушарки являють собою вертикальні циліндричні або циліндрично-конічні камери, в яких відбувається тепло-масоперенесення між диспергованим матеріалом і теплоносієм.

Залежно від конструкції сушарки сушіння проводять при прямоточному, протиточному і змішаному струмі матеріала і агента сушіння. Більшість сушарок працюють за принципом прямогоку. Протитечійний рух матеріалу і газів застосовують, наприклад, при поєднанні сушіння з прокалюванням, при отриманні продукту з великою насипною щільністю.

Конструкції сушильних камер під час розпилювання рідин відцентровими дисками і форсунками різні. На рис. 1.8 наведено схеми найбільш поширених форсункових сушильних камер.

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

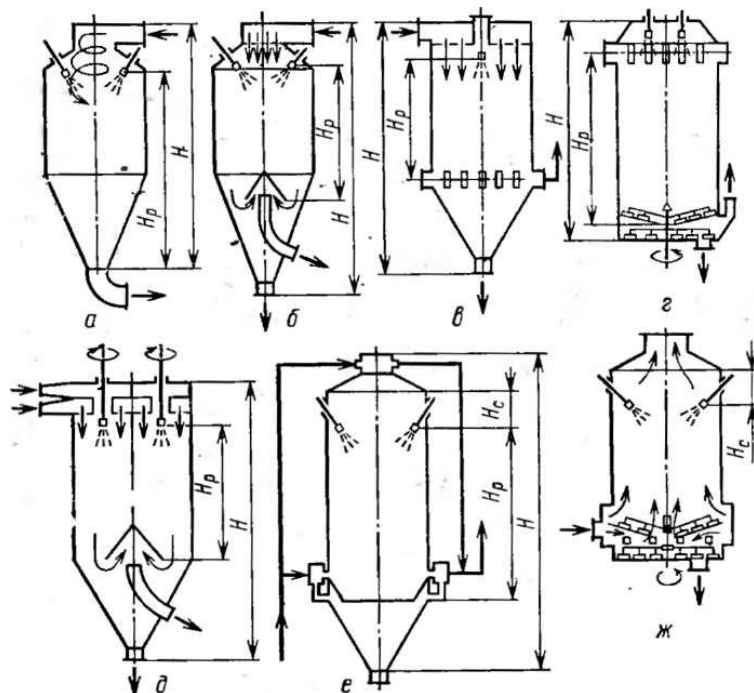


Рисунок 1.8 – Типи форсуноквих сушильних камер:

а – з центральним закрученим підведенням теплоносія (прямоточна); б – з центральним підведенням теплоносія і роздільним відведенням газів і продуктів; в – з рівномірним розподілом газів по перетину через газорозподільну решітку; г – з радіальним (по периферії) підведенням теплоносія і центральним відсмоктуванням; д – з локальним підведенням газів до форсунки; е – з паралельним і протитечійним рухом газів і теплоносія; ж – з центральним і периферійним підведенням теплоносія і відведенням газів по центру (протитечійна); H – висота апарату; H_p – висота робочої зони; H_c – висота зони сепарації.

На рис. 1.9 показана схема випарно-сушильного агрегату ІСА-200. Агрегат складається з двох камер 7 і 16 з розпилювальними механізмами 8. Камери встановлені одна під іншою. У верхній камері відбувається упарювання розпорошеного розчину, у нижній – сушіння до заданої кінцевої вологості. Конусна частина верхньої випарної камери закінчується збірником упареного розчину 9 із водяним охолодженням, сполученим з «мокрим» циклоном 13, зовнішні стінки якого також охолоджуються водою.

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

XI.C.00.00.00 ПЗ

Лист

19

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

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

Таблиця 1.1 – 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 1.2 – Хімічний склад сталі 20

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

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

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

					ХІ.С.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		22

2 Технологічні розрахунки процесу і апарату

2.1 Теплові (енергетичні) баланси і розрахунки

Технологічний розрахунок процесу сушіння КСІ проводимо у відповідності з методикою [11]. У якості палива використовуємо сухий природний газ.

Склад природного газу наступний:

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

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

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

де склади горючих газів виражені в об'ємних частках.

Підставивши відповідні значення, отримаємо:

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

Для визначення теплоти згоряння палива скористаємося характеристиками горіння простих газів. Кількість тепла Q_v , що виділяється при спалюванні 1 м³ газу, становить:

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

										Лист
										23
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						

де φ_i – об’ємна частка компонентів газу;

H_i – тепловий ефект реакції (кДж/м³).

Густина газоподібного палива ρ_T за рівнянням:

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

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

t_T – температура палива; приймаємо 20 °С;

v_0 – молярний об’єм; становить 22,4 м³/кмоль.

Підставивши значення, отримаємо:

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

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

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

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

Маса сухого газу, який подається в сушарку, в розрахунку на 1 кг палива, що спалюється визначається загальним коефіцієнтом надлишку повітря α , необхідного для спалювання палива та розведення топкових газів до температури суміші $t_{\text{сум}} = 650$ °С (згідно завдання).

Значення α знаходимо із рівнянь матеріального і теплового балансів.

Рівняння матеріального балансу:

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

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

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
						24
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Рівняння теплового балансу за формулою:

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

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

c_T – теплоємність газоподібного палива при 20 °С, дорівнює 1,34 кДж/(кг·К);

I_0 – ентальпія свіжого повітря, що дорівнює 41,9 кДж/кг;

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

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

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

$$i_{c.g.} = 1,327 \cdot 650 = 862,5 \text{ кДж / кг};$$

$c_{c.g.}$ і $t_{c.g.}$ – відповідно теплоємність і температура сухих газів; теплоємність сухих газів приймаємо рівною теплоємності сухого повітря при 650°С.

$c_{c.g.} = 1,327$ кДж/(кг·К); $t_{c.g.} = 650^\circ\text{C}$;

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

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

$$i_{II} = 2500 + 2,273 \cdot 650 = 3977,5 \text{ кДж/кг},$$

r_0 – теплота випаровування води при температурі 0 °С, дорівнює 2500 кДж/кг;

c_{II} – середня теплоємність водяної пари, що дорівнює 2,273 кДж/(кг·К);

t_{II} – температура водяної пари $t_{II} = 650^\circ\text{C}$.

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

Вирішуємо рівняння відносно коефіцієнта надлишку повітря α :

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

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

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

Підставивши відповідні значення, отримаємо:

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

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

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

Кількість вологи, що виділяється при згорянні 1 кг палива:

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

Коефіцієнт надлишку повітря знаходимо за рівнянням:

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

Загальна питома маса сухих газів, одержуваних при спалюванні 1 кг палива і розведенні топкових газів повітрям до температури суміші 650 °С, дорівнює за рівнянням:

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		26

$$G_{c.2} = 1 + \alpha \cdot L_0 - \sum \frac{9n}{12m+n} C_m H_n ; \quad (2.10)$$

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

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

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

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

Вологовміст газів на вході в сушарку ($x_1 = x_{cym}$) на 1 кг сухого повітря:

$$x_1 = \frac{G_n}{G_{c.2}} ; \quad (2.12)$$

$$x_1 = 2,62 / 44,97 = 0,0583 \text{ кг/кг.}$$

Ентальпію газів на вході в сушарку знаходимо за рівнянням:

$$I_1 = 1000 \cdot t + (2493 + 1,97 \cdot t) \cdot 10^3 \cdot x_1 ; \quad (2.13)$$

$$I_1 = 1000 \cdot 650 + (2493 + 2,273 \cdot 650) \cdot 10^3 \cdot 0,0583 = 982 \text{ кДж/кг.}$$

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

2.2 Матеріальні баланси і технологічні розрахунки

Визначимо витрату вологи, що видаляється з матеріалу:

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

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

де $G_k = 10000 \text{ кг/год.} = 10000/3600 = 2,78 \text{ кг/с}$ – продуктивність сушарки.

$$W = 2,78 \cdot \frac{5 - 0,2}{100 - 5} = 0,14 \text{ кг/с.}$$

Температура розбавлених топкових газів, що надходять у сушарку, становить $t_1 = 650 \text{ }^\circ\text{C}$, а температуру вихідних газів приймаємо $t_2 = 100^\circ\text{C}$.

Складемо внутрішній тепловий баланс сушарки:

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

де Δ – різниця між питомим приходом і витратою тепла в сушильній камері;

$c = 4,19 \text{ кДж/кг}\cdot\text{К}$ – теплоємність вологи у вологому матеріалі при температурі $t_n = 20 \text{ }^\circ\text{C}$;

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

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

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

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

де $c_{\text{м}} = 0,712 \text{ кДж/кг}\cdot\text{К}$ – теплоємність висушеного матеріалу;

$t_n = 20^\circ\text{C}$ – початкова температура матеріалу;

$t_k = 80^\circ\text{C}$ – кінцева температура матеріалу.

Підставивши чисельні значення у рівняння (2.16), отримаємо:

$$q_{\text{м}} = [2,78 \cdot 0,712 \cdot (80 - 20)] / 0,14 = 848 \text{ кДж/кг вологи.}$$

q_n – питома втрати тепла в навколишнє середовище; $q_n = 22,5 \text{ кДж/кг вологи.}$

					<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

Підставивши чисельні значення у рівняння (2.15), отримаємо:

$$\Delta = 4,19 \cdot 20 - 848 - 22,5 = -786,7 \text{ кДж/кг вологи.}$$

Запишемо рівняння робочої лінії сушіння:

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

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

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

$$I = 982 - 869 \cdot (0,1 - 0,0583) = 946 \text{ кДж/кг.}$$

Далі проводимо лінію сушіння на діаграмі $I - x$ через дві точки з координатами ($x_1 = 0,0583$; $I_1 = 982$) і ($x = 0,1$; $I = 848$) до перетину із заданим параметром відпрацьованого повітря $t_2 = 100^\circ\text{C}$. У точці перетину лінії сушіння і ізотерми 100°C знаходимо кінцевий вологовміст відпрацьованого повітря $x_2 = 0,25$ кг/кг (див. Додаток А).

Витрата сухого газу на сушіння розраховуємо за рівнянням:

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

$$L_{\text{с.г.}} = 0,14 / (0,25 - 0,0583) = 0,73 \text{ кг/с.}$$

Витрата сухого повітря на сушку розраховуємо за рівнянням:

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

$$L = 0,14 / (0,25 - 0,0092) = 0,58 \text{ кг/с.}$$

					<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>		29

Середня температура повітря в сушарці:

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

$$t_{\text{сер}} = (650 + 100) / 2 = 375^\circ\text{C}.$$

Середній вологовміст повітря у сушарці:

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

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

Середня густина сухого повітря і водяної пари відповідно:

$$\rho_{\text{с.п.}} = \frac{M_{\text{с.п.}}}{\nu_0} \cdot \frac{T_0}{T_0 + t_{\text{сер}}}; \quad (2.22)$$

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

де $M_{\text{с.п.}} = 29$ – молярна маса сухого повітря, кмоль/кг;

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

ν_0 – молярний об'єм; $22,4 \text{ м}^3/\text{кмоль}$.

$$\rho_{\text{с.п.}} = \frac{29}{22,4} \cdot \frac{273}{273 + 375} = 0,55 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_{\text{в.п.}} = \frac{18}{22,4} \cdot \frac{273}{273 + 375} = 0,34 \text{ кг/м}^3.$$

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

Середня об'ємна продуктивність за повітрям:

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

$$V = \frac{0,58}{0,55} + \frac{0,154 \cdot 0,58}{0,34} = 1,32 \text{ м}^3/\text{с}.$$

2.3 Конструктивні розрахунки [12]

Приймаємо швидкість повітря на виході з сушарки за [13]: $\omega_r = 0,8$ м/с при розмірі частинок $\delta_{\max} = 0,2$ мм і насипній щільності матеріалу $\rho_n = 1100$ кг/м³.

Внутрішній діаметр сушильного барабана розраховується за рівнянням:

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

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,32}{3,14 \cdot (1 - 0,15) \cdot 0,8}} = 1,57 \text{ м}.$$

Прийнявши товщину футерування $\delta_\Phi = 250$ мм [13], розраховуємо зовнішній діаметр барабанної сушарки:

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

$$D_3 = 1,57 + 2 \cdot 0,25 = 2,07 \text{ м}.$$

За [12] вибираємо сушильний барабанний апарат із зовнішнім діаметром 2,2 м.

Необхідний внутрішній об'єм барабана розраховуємо за рівнянням:

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

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

де $A=2,3 \cdot 10^{-3}$ кг/(м³·с) – напруженість барабана за вологою.

$$V_B = \frac{0,14}{3,1 \cdot 10^{-3}} = 45,2 \text{ м}^3.$$

При цьому значенні довжина барабана буде становити:

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

$$L = \frac{4 \cdot 45,2}{3,14 \cdot 2,2^2} = 11,9 \text{ м.}$$

За [12] остаточно вибираємо барабанну сушарку СБ 2,2–14.

Товщина стінки барабану знаходиться у межах [13]:

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

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

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

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

Далі визначаємо частоту обертання барабана (об/хв.):

$$n_{\delta} = \frac{mkL_{\delta}}{\tau D_{\delta} \text{tg}\alpha}, \quad (2.29)$$

де $m = 0,5$ – коефіцієнт, що залежить від типу насадки (прийнято для підйомно-лопатевої насадки);

$k = 0,7$ – коефіцієнт, що враховує прямоочний рух хлориду калію і топкових газів.

$L_{\delta} = 14$ м – довжина барабану;

$D_{\delta} = 2,2$ м – діаметр барабану;

					<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>		32

$\alpha = 4^\circ$ – кут нахилу барабану до горизонту;

τ – тривалість процесу сушіння, хв.

Тривалість процесу сушіння для барабанної камери визначається за формулою:

$$\tau = \frac{\beta \rho_{\text{ч}}(1+\psi)}{2A[200-(1-\psi)]} = \frac{0.04 \times 2200(1+0.15)}{2 \cdot 10[200-(1-0.15)]} = 0,025 = 1,52 \text{ хв.} \quad (2.30)$$

Тоді частота обертання барабана буде становити:

$$n_{\circ} = \frac{0,5 \cdot 0,7 \cdot 14}{1,52 \cdot 2,2 \cdot \text{tg} 4^\circ} = 21 \text{ об/хв.}$$

Необхідна потужність на обертання барабана визначається за формулою:

$$N = 0,0013 D_{\text{б}}^3 L_{\text{б}} \rho_{\text{м}} k_{\text{нас.}} n_{\text{б}}, \quad (2.31)$$

де $k_{\text{нас.}} = 0,038$ – коефіцієнт потужності, що залежить від типу насадки і коефіцієнта заповнення барабана.

$$N = 0,0013 \cdot 2,2^3 \cdot 14 \cdot 2200 \cdot 0,038 \cdot 21 = 340 \text{ Вт.}$$

Дійсна швидкість газів в барабані $\omega_{\text{г}}$:

$$\omega_{\text{г}} = \frac{V_{\text{в}}}{0,785 \times D^2}; \quad (2.32)$$

$$\omega_{\text{г}} = \frac{1,32}{0,785 \cdot 2,2^2} = 0,35 \text{ м/с.}$$

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		33

Уточнюємо кут нахилу барабана до горизонту:

$$\alpha = \left[\frac{30,5 \times L_6}{D_{нт}} + 0,007 \omega_g \right] \times \frac{180}{\pi}; \quad (2.33)$$

$$\alpha = \left[\frac{30,5 \cdot 14}{2,2 \cdot 21 \cdot 1,52} + 0,007 \cdot 0,35 \right] \cdot \frac{180}{3,14} = 3,5^\circ.$$

Далі визначаємо діаметри патрубків для подачі і відведення хлориду калію в сушарку за формулою:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{3,14 \cdot v \cdot \rho}}; \text{ м} \quad (2.34)$$

де G – витрати продукту; $\frac{\text{кг}}{\text{с}}$.

v – швидкість руху; м/с.

ρ – насипна щільність продукту; $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,78}{3,14 \cdot 0,1 \cdot 1100}} = 0,18 \text{ м.}$$

Приймаємо $D = 200$ мм.

Діаметри патрубків для підведення-відведення сушильного агенту визначаємо за формулою:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot w}} = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \rho \cdot w}}, \quad (2.35)$$

де V і G – об'ємна і масова витрати теплоносія відповідно, $\text{м}^3/\text{с}$ і $\text{кг}/\text{с}$;

ρ – густина потоку токових газів, $\text{кг}/\text{м}^3$;

w – швидкість руху середовища, м/с.

					<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

Рекомендовані швидкості руху теплоносіїв для пари або газу 1,5–15 м/с [13].

Діаметр патрубку для входу сухих топкових газів у сушарку:

$$d_{\text{вх}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,58}{3,14 \cdot 0,55 \cdot 1,5}} = 0,946 \text{ (м)}.$$

Приймаємо діаметр патрубку 1000 мм.

Для патрубку виведення відпрацьованого (вологого) газу приймаємо максимально рекомендовану швидкість, а саме 15 м/с. Це необхідно для створення потрібного напору задля подальшого очищення газу в циклоні (див. рис. 1.2).

Таким чином:

$$d_{\text{вих}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,32}{3,14 \cdot 15}} = 0,335 \text{ (м)}.$$

Приймаємо діаметр патрубку 350 мм.

2.4 Гідравлічні розрахунки

У цьому підрозділі визначаємо гідравлічний опір сушильного барабана за методикою, що викладена у джерелі [14]. Густина і динамічна в'язкість газів при усередненій температурі відповідно дорівнюють: $\rho_{\text{Гсер}} = 0,7 \text{ кг/м}^3$; $\mu_{\text{Гсер}} = 1,4 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$.

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

Еквівалентний діаметр барабана для секторної насадки:

$$D_E = \frac{\pi \cdot D \cdot \phi}{\pi + Z}, \quad (2.36)$$

де Z – відношення довжини барабана до його внутрішнього діаметра;

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		35

$$Z = 14 / (2,2 - 2 \cdot 0,25) = 8,24;$$

$$D_E = \frac{3,14 \cdot (2,2 - 2 \cdot 0,25) \cdot 0,85}{3,14 + 8,24} = 0,4 \text{ м.}$$

Критерій Рейнольдса для частинок розміром $\delta = 0,2$ мм.

$$\text{Re} = \frac{\omega_{\Gamma} \cdot \delta_{\text{СЕР}} \cdot \rho_{\Gamma\text{СЕР}}}{\mu_{\Gamma\text{СЕР}}}; \quad (2.37)$$

$$\text{Re} = \frac{0,35 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 0,7}{1,4 \cdot 10^{-6}} = 350.$$

За рисунком [14] визначаємо, як для гладкої труби: $\lambda_B = 2,0$.

Таким чином, опір барабана (без урахування матеріалу):

$$\Delta P_B = \lambda_B \cdot \frac{L}{D_E} \cdot \omega_{\Gamma}^2 \cdot \rho_{\Gamma\text{СЕР}}; \quad (2.38)$$

$$\Delta P_B = 2 \cdot \frac{14}{0,04} \cdot 0,35^2 \cdot 0,7 = 60 \text{ Па.}$$

Відносна масова концентрація матеріалу:

$$y = \frac{G_1 + (G_1 - W)}{2} \cdot G_C \cdot X_K; \quad (2.39)$$

$$y = \frac{10000 + (10000 - 504)}{2 \cdot 3600} \cdot 0,58 \cdot 0,25 = 0,39 \text{ кг/кг.}$$

Опір сушильного барабана при $k = 15$ [14]:

$$\Delta P = \Delta P_B \cdot (1 + k \cdot y); \quad (2.40)$$

$$\Delta P = 60 \cdot (1 + 15 \cdot 0,39) = 411 \text{ Па.}$$

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		36

За даними [14] опір барабанної сушарки знаходиться у діапазоні 300–900 Па при швидкості сушильного агенту 0,2–2,5 м/с і заповненні барабану до 20 %.

2.5 Розрахунок та вибір допоміжного обладнання

Розрахунок та вибір циклону [13]. У якості першого ступеня очищення приймаємо циклонний пилоуловлювач. Вибираємо один із найбільш ефективних циклонів, а саме ЦН-15.

Визначаємо діаметр циклону:

$$D_u = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot w_y}}, \quad (2.37)$$

де V – об’ємна витрата газів, м³/с.

Величину w_y визначимо, виходячи зі значення співвідношення $\Delta P / \rho_t$. Для циклонів ЦН-15 це співвідношення знаходиться в межах 550–750. Приймаємо $\Delta P / \rho_t = 700$. Коефіцієнт опору циклону $\xi = 150$ [13].

Тоді:

$$w_y = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\xi \cdot \rho_t}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 700}{150 \cdot 0,95}} = 3,1 \text{ м/с}. \quad (2.38)$$

Діаметр циклону становить:

$$D_u = \sqrt{\frac{1,32}{0,785 \cdot 3,1}} = 0,736 \text{ м}.$$

Приймаємо стандартизований діаметр циклону 800 мм.

Коефіцієнт гідравлічного опору для вибраного типорозміру циклону становить $\xi_{800}^c = 200$.

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
						37
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta P = \frac{\xi_{800}^c \cdot \rho_t \cdot w_y^2}{2}; \quad (2.39)$$

$$\Delta P = \frac{200 \cdot 0,95 \cdot 3,1^2}{2} = 913 \text{ Па.}$$

Остаточно приймаємо по каталогу циклон типу ЦН-15-800×УП з камерою очищеного газу у вигляді «равлика» і пірамідальним бункером.

Розрахунок та вибір рукавного фільтру [13]. Розрахунок рукавного фільтру зводиться до визначення мінімальної поверхні фільтрації:

$$F = \frac{V}{V_{num}^0}, \quad (2.40)$$

де $V = 4,98 \text{ м}^3/\text{с}$ – об'ємна витрата газів;

V_{num}^0 – питома витрата, тобто витрата запиленого газу за нормальних умов через 1 м^2 поверхні тканини, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год.})$. Приймаємо $V_{num}^0 = 50 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год.})$.

Приймаємо допущення, що після циклону температура запиленого повітря не знизиться і також буде становити 100°C .

Визначаємо об'ємну витрату газу при температурі 100°C :

$$V_{num} = \frac{V_{num}^0 \cdot \rho_o}{\rho_{100}} = \frac{50 \cdot 1,293}{0,95} = 68 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{год.}). \quad (2.44)$$

Застосовуємо для проектованої установки фільтр рукавний каркасний з імпульсною продувкою марки ФРКИ-360-П8-3-3 з активною поверхнею фільтрації 360 м^2 (число рукавів – 288, висота рукава – 3 м, число секцій – 8).

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

3 Розрахунки апарату на міцність та герметичність

Розрахунки барабанної сушарки на міцність виконуємо у відповідності до методики, що викладена у джерелі [15].

Маса матеріалу, який знаходиться в сушарці:

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

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

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

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

Маса барабана з футеровкою:

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

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

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

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

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

Сумарна маса барабана і матеріалу:

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

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

Лінійна напруга (див. рис. 3.1):

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		39

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

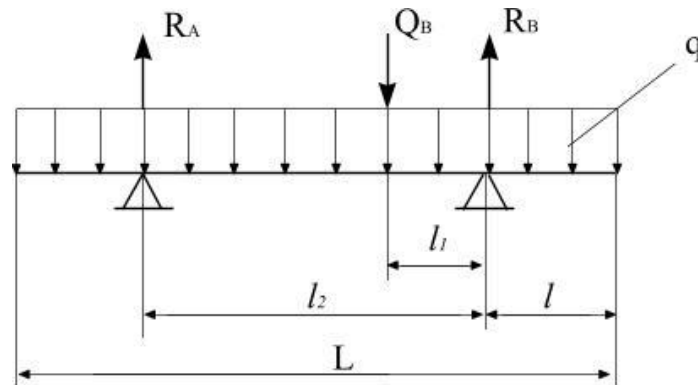


Рисунок 3.1 – Схема до визначення товщини стінки бандажа

Реакція на опорах:

$$R_A = \frac{q \cdot L}{2} + \frac{Q_B \cdot l_1}{l_2}, \quad (3.5)$$

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

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

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

$Q_B = 20900 \text{ Н}$ – навантаження від венцової шестерні [15].

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

$$R_B = \frac{q \cdot L}{2} + \frac{Q_B \cdot (l_2 - l_1)}{l_2} = \frac{51639 \cdot 14}{2} + \frac{20900 \cdot (8,19 - 1,26)}{8,19} = 379158 \text{ Н.} \quad (3.6)$$

Максимальний згинальний момент, що діє на барабан:

$$M_{\max} = q \cdot L \cdot \frac{(2 \cdot l_2 - L)}{8} + Q_B \cdot \frac{(l_2 - l_1) \cdot l_1}{l_2}; \quad (3.7)$$

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

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
						40
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Момент опору перетину корпусу барабану:

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

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

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

Напруження в корпусі барабану:

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

Допустиме напруження для апаратів з футеровкою $[\sigma] = 20 \text{ МПа}$ [15].

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

3.1 Розрахунок барабану на жорсткість

Лінійне навантаження від маси оброблюваного матеріалу:

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

Лінійне навантаження від маси барабану:

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

Момент інерції одиночного кільця барабану:

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

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
						41
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Сумарний прогин від чинного напруги:

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

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

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

Відносний прогин:

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

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

Геометричні розміри бандажа (рис. 3.2).

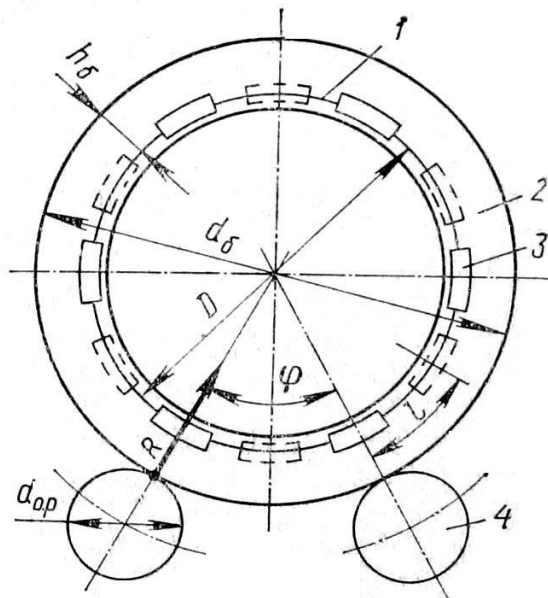


Рисунок 3.2 – Схема до розрахунку бандажа і опорних роликів

Ширину бандажу визначаємо за рівнянням:

$$b_{\sigma} = \frac{R}{q_n}, \quad (3.15)$$

де $q_n = (1,0 \div 2,4) \text{ МН} / \text{м}$ – допустиме навантаження, яке приходиться на одиницю довжини майданчика торкання ролика і бандажа [15];

R – реакція опори ролика, МН.

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

де $\alpha = 3^\circ$ – кут нахилу барабана [15];

$\phi = 41^\circ$ – кут між опорними роликами [15];

$z = 1$ – кількість бандажів.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

де r_{δ} – зовнішній радіус бандажа:

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

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

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

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

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

Осьова сила, яку сприймають упорні ролики:

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

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

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

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

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
						44
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

де $b_{y.p.}$ – ширина упорного ролика, м; $b_{y.p.} = b_{o.p.} = 0,205$ м;
 $\gamma = 17^\circ$ – кут конусності упорного ролика.

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

Умова виконується.

3.2 Перевірка міцності бандажу на вигин

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

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

ℓ – відстань між сусідніми башмаками:

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

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

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

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

$W_{\bar{\sigma}}$ – момент опору перерізу бандажа:

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

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

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
						45
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Тоді:

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

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

					<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>		46

4 Монтаж та ремонт апарату

4.1 Монтаж апарату [16, 17]

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

Сучасне кранобудування характеризується:

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

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

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

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

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

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
						47
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

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

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

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

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

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
						48
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

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

4.2 Ремонт апарату [17]

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.

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		49

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).

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

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

При підготовці апарата до ремонту проводяться наступні роботи: готуються шляхи під'їзду і засоби доставки вузлів; встановлюються вантажопідйомні і підтримуючі пристрої; виконується укрупнена збірка вузлів.

					<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>		50

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 ремонтованими 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 ремонтованим 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>		51

5 Охорона праці

Причини забруднення і характер впливу повітря робочої зони на працівників [18, 19]

Для нормальної діяльності організму людини необхідно, щоб повітря в робочих приміщеннях було за своїм складом близьким до атмосферного. У чистому свіжому атмосферному повітрі повинно міститися: азоту 78,08 %, кисню 20,95 %, аргону 0,92 %, вуглекислого газу 0,03 %, решта (0,02 %) складають інертні гази – гелій (He), неон (Ne), ксенон (Xe), кріптон (Kr), а також озон (O₃) і водень (H₂).

Однак, створити такі умови повітряного середовища в робочій зоні виробничих приміщень практично неможливо. Специфіка будь-якого виробництва (промислового і не тільки) є такою, що можливе виділення в повітря таких шкідливих речовин, як акролеїн (CH₂CHCHO), сірчистий ангідрид (SO₂), метан (CH₄), аміак (NH₃) тощо.

Акролеїн утворюється при розкладанні масла і жиру під дією високої температури, отруйний, викликає запалення всіх слизових оболонок. За характером дії на організм людини акролеїн відносять до групи канцерогенних речовин.

Виділення сірчистого ангідриду у виробничих приміщеннях можливо при сульфатації сировини і переробки сульфатованого продукту. За характером дії сірчистий ангідрид відносять до групи подразнюючих речовин. Він викликає подразнення очей, горла, захворювання верхніх дихальних шляхів, що може привести до задишки, бронхіту, запалення легенів. Тривале вдихання відносно невисоких концентрацій сірчистого ангідриду веде до розвитку хронічних захворювань дихальних шляхів, анемії, ураження печінки. Дія сірчистого ангідриду на організм людини пов'язана з окисленням його в сірчисту кислоту на вологій поверхні слизових оболонок.

При порушенні правил експлуатації газового господарства в повітрі виробничих приміщень може з'явитися метан – компонент природного газу.

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		52

При надходженні природного газу в приміщення вміст кисню в повітрі поступово падає нижче 21 %. Людина починає відчувати слабкість, задуху. Зниження частки кисню у вдихуваному повітрі може привести до летального результату. Крім того, метан, як і багато інших вуглеводнів, має наркотичну дію, тому в атмосфері, насиченою природним газом, відчуття людини незабаром притупляються, і він втрачає свідомість. Якщо вчасно не надати йому відповідну допомогу, такий стан може призвести до смертельного результату.

Окрім несприятливого фізіологічного впливу побутового газу на організм людини він відрізняється вибухонебезпечністю.

При експлуатації аміачних холодильних установок можливий витік аміаку. Його позначення на обладнанні як холодоагенту R717.

Аміак має характерний різкий запах нашатирного спирту, подразнює очі та слизові оболонки носоглотки, може привести до смертельного результату при впливі високих концентрацій протягом 30–60 хв.

Крім того, можливе виділення в повітря робочої зони різного пилу (як органічного, так і неорганічного походження). До органічного пилу відносять борошняний, крохмальний, цукровий і т. д. До неорганічного відносять пил, що містить вільний окис кремнію SiO_2 .

Шкідлива дія пилу визначається його хімічним складом, дисперсністю і концентрацією. Пил надає шкідливий вплив на органи дихання, зір, шкіру і травний тракт. До найбільш тяжких наслідків призводить систематичне вдихання пилу, що містить вільний окис кремнію. Цей пил може викликати важке хронічне захворювання – силікоз легенів.

Підвищену запиленість і загазованість повітря робочої зони класифікують як небезпечний і шкідливий виробничий фактор. Під небезпечним і шкідливим виробничим фактором розуміють виробничий фактор, вплив якого на працюючого приводить до травми або захворювання.

					<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>		53

Вміст у повітрі виробничих приміщень речовин, не властивих складу атмосферного повітря, допускається. Однак їх кількість не повинна перевищувати гранично допустиму концентрацію (ГДК).

Згідно державному стандарту, ГДК шкідливих речовин у повітрі робочої зони – це концентрації, які при щоденній (крім вихідних днів) роботі протягом 8 годин або при іншій тривалості, але не більше 41 годин на тиждень протягом усього робочого стажу не можуть викликати захворювань або відхилень у стані здоров'я, які виявляються сучасними методами досліджень у процесі роботи або у віддалені строки життя теперішнього або наступних поколінь. Одиниця вимірювання ГДК – мг/м³.

За ступенем впливу на організм шкідливі речовини поділяють на чотири класи небезпеки:

- 1-й – речовини надзвичайно небезпечні;
- 2-й – речовини високонебезпечні;
- 3-й – речовини помірно небезпечні;
- 4-й – речовини малонебезпечні.

У табл. 5.1 наведені значення ГДК і зазначений клас небезпеки шкідливих речовин, які можуть забруднювати повітряне середовище робочої зони на типових підприємствах.

Таблиця 5.1 – Гранично допустимі концентрації деяких речовин [18]

Речовина	ГДК, мг/м ³	Клас небезпеки
Акролеїн (CH ₂ CHCHO)	0,2	2-й
Сірчистий ангідрид (SO ₂)	10,0	3-й
Метан (CH ₄)	2,0	3-й
Аміак (NH ₃)	20,0	4-й
Пил із домішкою двоокису кремнію (SiO ₂) 2– 10 %	4,0	3-й
Пил із домішкою двоокису кремнію (SiO ₂) більше 10 %	2,0	3-й

Гранично допустимі концентрації поширюються на повітря робочої зони всіх робочих місць незалежно від їх розташування у виробничих приміщеннях і на відкритих майданчиках.

Робочою зоною вважають простір заввишки до 2 м над рівнем підлоги або майданчика, на якому знаходяться місця постійного або тимчасового перебування працюючих. Постійним робочим місцем вважають місце, на якому працівник перебуває понад 50 % свого робочого часу або більше 2 год. безперервно.

Профілактика забруднення шкідливими речовинами повітря виробничих приміщень полягає в герметизації обладнання, застосуванні місцевої та загальнообмінної припливно-витяжної вентиляції, раціоналізації технологічного процесу, попередження утворення вакууму в цехах, особливо в зимовий та перехідні періоди року. Вакуум сприяє більш інтенсивному викиду шкідливих речовин (пилу, парів, газів і т. п.) зі щілин технологічного обладнання.

За характером впливу на організм людини виробничі шкідливі речовини ділять на наступні групи: загальнотоксичні, дратівливі, сенсibiliзуючі, канцерогенні, мутагенні і такі, що впливають на репродуктивну функцію.

Загальнотоксичні речовини можуть бути загальноотруйними і отрутами крові.

Загальноотруйні речовини вражають головним чином центральну нервову систему і часто мають наркотичні властивості. До їх числа відносять свинцевий пил (Pb), миш'як (As), пари ртуті (Hg), ціаністі сполуки – ціаністий натрій (NaCN) і ціаністий калій (KCN). Ціаністі сполуки є радикалами з вільним валентним зв'язком, тому вони хімічно активні.

До отрут крові відносять озон (O₃). Це різко пахнучий вибуховий газ. Зазвичай озон утворюється в атмосфері при електричних розрядах під час грози. Він володіє сильними окисними властивостями. Це нестійке з'єднання, здатне приєднувати до себе недолік кисню з крові. У силу своїх окисних

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		55

властивостей озон здатний вбивати все живе, в тому числі мікроорганізми, тому його застосовують для очищення води (озонування) і повітря. Однак, у повітрі допустима лише дуже мала концентрація озону (не більше 0,1 мг/м³), оскільки він відноситься до групи надзвичайно небезпечних речовин.

До отрут крові також відносять чадний газ (СО), що утворюється при згорянні вуглецю при нестачі повітря. Чадний газ, реагуючи з гемоглобіном крові, переносником кисню по організму, утворює сполуки – карбоксигемоглобін, органічні нітрати і нітрیتی, які позбавляють його ролі переносника кисню з легенів до тканин. У результаті розвивається глибока киснева недостатність, що може привести до летального результату. Гранично допустима концентрація окису вуглецю становить 20 мг/м³.

					<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>		56

Список літератури

1. Вікіпедія. Хлорид калію [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://uk.wikipedia.org/wiki/Хлорид_калію
2. Барабанная сушилка [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://topref.ru/referat/137773.html>
3. Расчет барабанной сушильной установки непрерывного действия [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://studfile.net/preview/6393106/>
4. 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.
5. Методы производства хлорида калия [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.uralkali.com/ru/buyers/production/methods/>
6. Лыков М. В. Сушка в химической промышленности / М. В. Лыков. – М. : Химия, 1970. – 432 с.
7. Романков П. Г. Сушка в кипящем слое / П. Г. Романков, Н. Б. Рашковская. – Л. : Химия, 1964. – 288 с.
8. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М. : Химия, 1973. – 752 с.
9. Лазинский А. А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / А. А. Лазинский, А. Р. Толчинский. – Л. : Машиностроение, 1970. – 752 с.
10. Лазинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов : Справочник / А. А. Лазинский. – Л. : Машиностроение, 1981. – 382 с.
11. Лебедев П. Д. Расчет и проектирование сушильных установок / П. Д. Лебедев. – М.–Л. : Госэнергоиздат, 1963. – 320 с.
12. Методичні вказівки до вивчення дисципліни «Машини та апарати хімічних виробництв» зі спеціальності 7.090220 «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів» : для

					<i>XI.C.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						57
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

- студ. денної та заочної форм навчання / С. І. Якушко. – Суми : СумДУ, 2007. – 57 с.
13. 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.
14. Машины и аппараты химических производств. Примеры и задачи / Под общ. ред. В. Н. Соколова. – Л. : Машиностроение, 1982. – 384 с.
15. Методичні вказівки до вивчення дисципліни «Машины та апарати хімічних виробництв» зі спеціальності 7.090220 «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів» : для студ. денної та заочної форм навчання / С. І. Якушко. – Суми : СумДУ, 2007. – 57 с.
16. 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.
17. Ермаков В.И. Ремонт и монтаж химического оборудования / В.И. Ермаков, В.С. Шейн. – Л. : Химия, 1981. – 368 с.
18. Причини і характер забруднення повітря на підприємствах громадського харчування [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://znaytovar.ru/s/Prichiny-i-karakter-zagryazneniya.html>
19. Промислове виробництво та навколишнє середовище [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.eprussia.ru/epr/253/16331.htm>

					<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>		58