

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ШОСТКИНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра: Хімічної технології високомолекулярних сполук

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВР
зі спеціальності 6.133: Галузеве машинобудування

Тема роботи: Виробництво вуглекислого марганцю. Барабанна сушарка потужністю 2000 т/рік. Початкова вологість 22 %, кінцева – 2%.

Виконав студент

Карпенко Д. О.

Залікова книжка:

№ _____

Захищений з оцінкою:

Керівник проекту

Закусило Р.В.

ШІ Сум ДУ 2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ШОСТКИНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
СУМСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Спеціальність 6.05050315: Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. Кафедрою

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВР

Студенту: Карпенко Д.О.

група ХМзт-81ш курс IV

1. **Тема курсової роботи:** « Виробництво вуглекислого марганцю. Барабанна сушарка потужністю 2000 т/рік. Початкова вологість 22 %, кінцева – 2%»

2. **Вихідні дані:** Продуктивність 1000 кг/год. Початкова вологість матеріалу $W_H=22\%$, кінцева $W_K=2\%$. Температура повітря на вході в сушарку 130°C . Температура матеріалу на вході в сушку 21°C .

3. Перелік обов'язкового графічного матеріалу (листи А1)

3.1 Загальний вигляд 2хА1;

3.2 Технологічна схема А1;

3.3 Складальні креслення 1.5хА1.

4. Література та матеріали, які рекомендуються: Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств: Примеры и задачи: Учеб. пособие для студентов / М.Ф. Михайлев, Н.П. Третьяков, А.И. Мильченко, В.В. Зобнин; Под общ. ред. М.Ф. Михайлева. Л.: Машиностроение, Ленингр. отдние, 1984. - 301 с.

5. Контрольні терміни виконання: травень

Етап і розділи комплексного курсового проекту	Т И Ж Д Е Н Ь					
	1, 2	3, 4, 5,6	7, 8, 9	10, 11, 12, 13	14	15
1 Опис схеми, апарата	х х					
2 Технологічна частина		х х х х				
3 Розрахунки на міцність, герметичність та стійкість			х х х			
4 Розробка креслень				х х х х		
5 Оформлення записки					х	
6 Захист проекту						х

6. Дата видачі завдання Березень 2022 р

7. Термін захисту курсової роботи Червень 2022р.

Керівник комплексної курсової роботи _____

Реферат

Пояснювальна записка: 54 с, 2 рисунки, 1 табл., 1 додаток, 10 література.

Графічні матеріали: складальне креслення апарата, технологічна схема, креслення складальних одиниць листів 4,5 формату А1.

Тема: Виробництво вуглекислого марганцю. Барабанна сушарка потужністю 2000 т/рік. Початкова вологість 22 %, кінцева – 2%.

В бакалаврській роботі були представлені теоретичні основи процесу, опис технологічної схеми сушки вуглекислого марганцю, опис конструкції апарату та вибір конструкторських матеріалів.

Зроблені технологічні розрахунки процесу та апарату за якими був вбраний стандартний апарат та вибране допоміжне обладнання.

Проведені перевірочні розрахунки, що підтверджують працездатність та безпечність барабанної сушарки.

Описаний монтаж та ремонт апарата та основні вимоги з охорони праці.

Ключові слова: АПАРАТ, СУШАРКА БАРАБАННА, ВУГЛЕКИСЛИЙ МАРГАНЦЬ, КОРПУС

Зміст

Вступ.....	5
1 Технологічна частина	7
1.1 Опис технологічної схеми виробництва	7
1.2 Теоретичні основи процесу	8
1.3 Опис конструкції та матеріалу апарату	9
2 Технологічні розрахунки процесу та апарату	12
2.1 Матеріальний та тепловий баланси процесу	12
2.2 Технологічні розрахунки	15
2.3 Конструктивні розрахунки	16
2.4 Гідравлічний опір апарату	19
2.5 Вибір допоміжного обладнання.....	21
3 Розрахунки апарату на міцність та герметичність.....	31
3.1 Визначення товщини стінки барабана	31
3.2 Визначення товщини опорного бандажу сушарки	35
3.3 Розрахунок упорного ролика.....	38
3.4 Розрахунок лабіринтного ущільнення	39
3.5 Розрахунок товщини ізоляції апарату	40
4 Монтаж і ремонт апарата.....	44
4.1 Монтаж апарата	44
4.2 Ремонт апарата	46
5 Охорона праці	48
5.1 Аналіз потенційних небезпек	48
5.1.1 Заходи для забезпечення безпечних умов праці	48
5.1.2 Опалення	50
5.2 Питання екології та раціонального використання сировини	51
Висновки	52
Література	53
Додатки.....	54

					6.133.22.04.00.00.00 ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Ар-</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Карпенко</i>				<i>Виробництво вуглекислого марганцю. Барабанна сушарка потужністю 2000 т/рік. Початкова вологість 22 %, кінцева – 2%</i>	<i>Літ</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перев.</i>	<i>Закусило</i>						4	
<i>Н. Контр.</i>					<i>ІІІ Сум ДУ гр. ХМЗт-81Ш</i>			
<i>Затвер-</i>								

Перша умова означає кінетичну відповідність об'єкту сушіння вибраному типу сушильного апарату, тобто час перебування матеріалу в ньому має бути рівним або трохи більшим часу, необхідного для сушіння до заданої вологості.

Виконання другої умови забезпечує відповідність параметрів зовнішнього середовища механізму волоперенесення або кінетичних особливостей процесу сушіння, а також виключає можливість псування продукту на всій довжині сушильного тракту. Наприклад, для першого періоду сушіння прийнятні висока температура сушильного агента і активна гідродинаміка системи газ - тверде, у той час як для другого періоду сушіння доречніша помірна температура газу і «спокійна» гідродинамічна обстановка. Крім виконання цих умов, при виборі способу сушіння та апаратурного оформлення процесу необхідно керуватися наступними принципами:

мінімізація вартості сушіння, тобто зменшення витрат енергії, капітальних витрат, витрат на обслуговування та ремонт;

повна безпека процесу із дотриманням вимог екології;

забезпечення технологічності процесу, тобто облік факторів, що стосуються, наприклад, організації руху потоків матеріалу і газу в системі, простоти обслуговування і ремонту, а також специфічних вимог, наприклад, отримання продукту із заданими дисперсністю, гранулометричним складом, щільністю та міцністю частинок, отримання непилячого продукту

На підставі наведених умов для забезпечення проведення заданого технологічного процесу прийнята барабанна сушарка. [3]

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	інв. № дубл.	Підп. і дата	6.133.22.04.00.00.00 ПЗ					Аркуш
										6
										3 м Аркуш

1 Технологічна частина

1.1 Опис технологічної схеми виробництва

Принципова схема прямоочної барабанної сушильної установки виглядає так.

Вологий матеріал з роздільника 1 за допомогою елеватора 2 надходить в барабанну сушарку 3, що обертається. Паралельно матеріалу в сушарку 3 подається сушильний агент, що утворюється в калорифері 11 пройшовши фільтр 12. Повітря калорифер подається вентилятором 10. Висушений матеріал з протилежного кінця сушильного барабана надходить у охолоджувальний барабан 4, пройшовши охолоджувальний барабан сухий компонент надходить на конвеєр 6 по якому поступає в живильник 8. Де фасується в мішки та зшивається спеціальною машиною 9. Мішки з сухим компонентом по конвеєру 7 надходить на склад.

Відпрацьований сушильний агент перед викидом у повітря очищається від пилу в гідроциклоні 14 яким подається відпрацьоване повітря вентилятором 13. З циклону пил надходить в збірник 15, та насосом 16 надходить на склад.

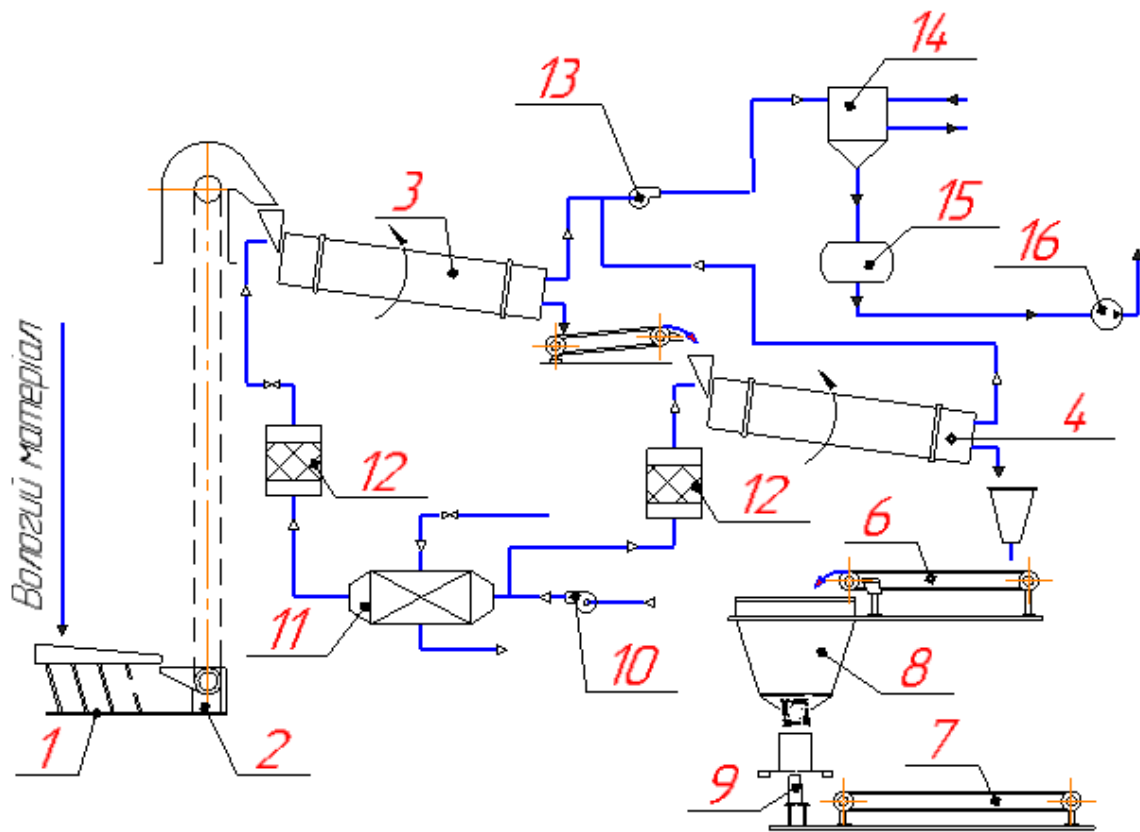


Рисунок 1 – Ділянка виготовлення вуглекислого марганцю

1 – роздільник, 2 – елеватор, 3 – барабан сушильний, 4 – барабан охолоджувальний, 5, 6, 7 – транспортер, 8 – живильник шлюзовий, 9 – мішкозшивальна машина, 10, 13 – вентилятор, 11 – калорифер, 12 – фільтр, 14 – гідроциклон, 15 – збірник, 16 – насос.

Підп. і дата	
Взам. інв. №	
інв. № дубл.	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

3 м	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-------	----------	-------	------

6.133.22.04.00.00.00 ПЗ

При цьому установка зазвичай знаходиться під невеликим розрідженням, що виключає витік сушильного агента через нещільність установки.

Барабан наводиться у обертання через вінцеве зубчасте колесо за допомогою зубчастої передачі приводу.

1.2 Теоретичні основи процесу [2]

Конвективне сушіння повітрям або газом є найбільш поширеним методом сушіння в хімічній промисловості. У повітряному сушінні, так само як і в газовій, тепло передається від теплоносія безпосередньо висушується речовині. Для отримання матеріалу високої якості особлива увага повинна приділятися технологічному режиму сушіння, правильному вибору параметрів та визначенню режиму процесу (вибір оптимальної температури нагрівання матеріалу, вибір оптимальних значень вологості матеріалу тощо).

Оптимальний режим сушіння, що впливає технологічні властивості матеріалу, залежить від зв'язку вологи з матеріалом.

Фізична сутність сушильного процесу полягає в наступному: рушійною силою процесу видалення вологи з матеріалу є різниця пар-ціальних тисків парів над матеріалом і в навколишньому середовищі (повітряної або газової):

$$\Delta p = p_r^M - p_n^B \quad (1.1)$$

При $\Delta p = 0$ настає рівновага і сушіння припиняється. Якщо $p_r^B > p_n^M$, то відбувається протилежний процес зволоження матеріалу. У міру видалення вологи з поверхні матеріалу, за рахунок різниці концентрації вологи всередині матеріалу і на поверхні його відбувається рух вологи до поверхні шляхом дифузії. У деяких випадках має значення так звана термодифузія, коли рух вологи всередині матеріалу відбувається за рахунок різниці температур на поверхні і всередині матеріалу в напрямку зменшення температур.

Сушіння – процес тепломасообмінний. Видалення вологи із поверхні тісно пов'язані з просуванням її зсередини до поверхні.

Слід зазначити, що при сушінні деяких матеріалів до низької кінцевої вологості тепло витрачається не тільки на підігрів матеріалу і випаровування вологи з нього, але і на подолання зв'язку вологи з матеріалом.

Зв'язок вологи з матеріалом може бути механічним, фізико - хімічним і хімічним.

Механічно пов'язані з матеріалом поверхнева волога і волога, що заповнює великі капіляри матеріалу в результаті змочування. Ця волога (іноді звана зовні-

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	інв. № дубл.	Підп. і дата	6.133.22.04.00.00.00 ПЗ					Аркуш
										8
					З	м	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата

шньою) найменш міцно пов'язана з матеріалом і найбільш легко видаляється з нього.

Більш міцно пов'язана з матеріалом волога, яка поглинається поверхнею дрібних капілярів (адсорбційна волога) або проникає всередину клітин матеріалу (структурна та осмотично пов'язана волога).

Волога, хімічно пов'язана з матеріалом (гідратна, або кристалізаційна), в процесі сушіння зазвичай не видаляється і тому при розрахунку сушарок не враховується.

У більшості випадків при сушінні видаляється водяна пара, проте в хімічній промисловості доводиться нерідко видаляти пари органічних розчинників. Незалежно від того, яка рідина випаровуватиметься, закономірності процесу ті ж. [2]

1.3 Опис конструкції та матеріалу апарату [9]

Барабанна сушарка являє собою циліндричний похилий барабан з двома бандажми, які при обертанні барабана котяться по опорних роликах. Матеріал надходить з піднесеного кінця барабана через живильник, захоплюється гвинтовими лопатями, на яких він підсушується, після чого переміщається вздовж барабана, що має кут нахилу до горизонту до 6° . Осьове зміщення барабана запобігається затягнутими роликами. [9]

Матеріал переміщається в сушарці за допомогою внутрішньої насадки, що рівномірно розподіляє його за перерізом барабана. Конструкція насадки залежить від розміру шматків і властивостей матеріалу, що висушується. У даному випадку насадка відноситься до підйомно-лопатевих насадок. [9]

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	інв. № дубл.	Підп. і дата					Аркуш
3	м	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата	6.133.22.04.00.00.00 ПЗ		9	

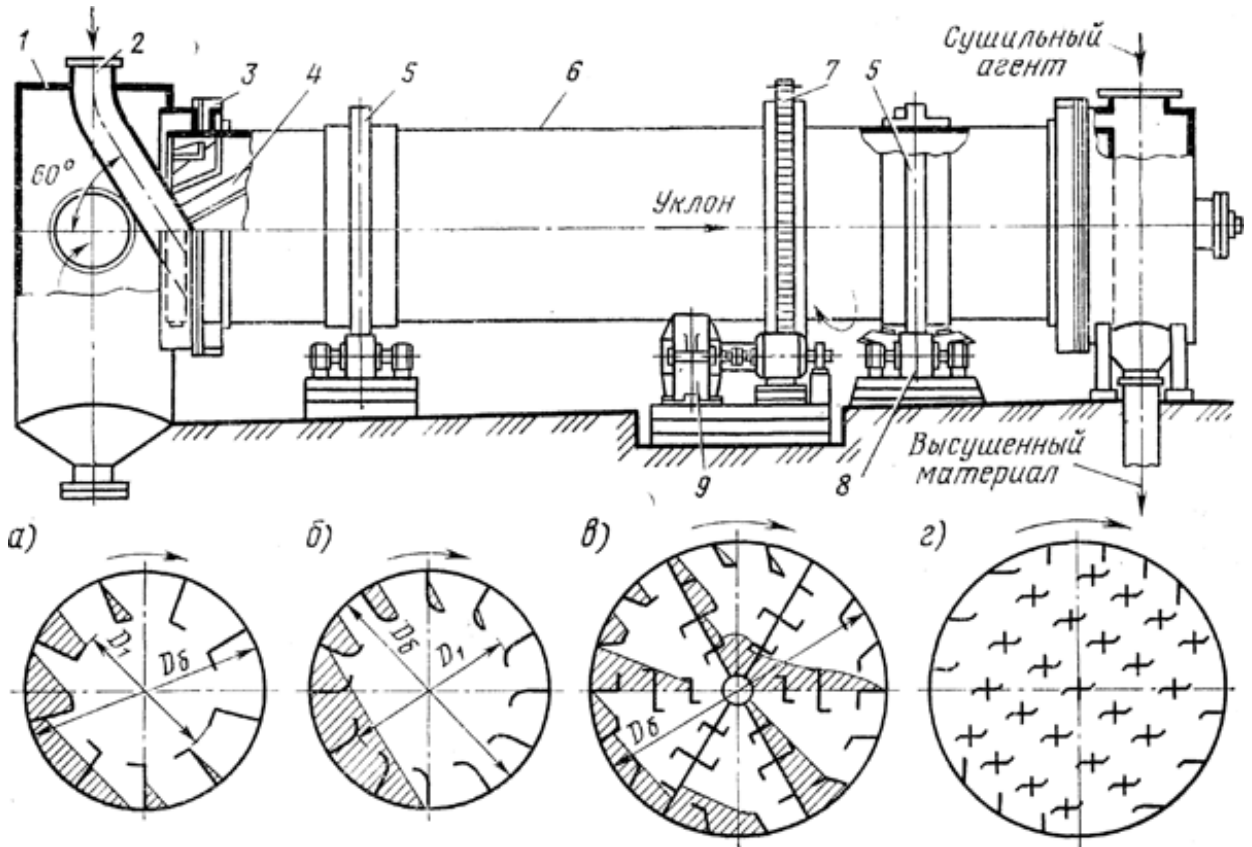


Рисунок 2 - Барабанна сушарка

1 – камера для відводу сушильного компонент; 2 – подача мокрого матеріалу; 3 – ущільнювальне кільце; 4 – голівка; 5 – опора; 6 – барабан; 7 – привідне колесо; 8 – опорно-упорний підшипник; 9 – електродвигун з редуктором; а і б – підйомно-лопатєва система насадки; в – розподільно-перевалювальна система з закритими комірками; г – розподільна система

Зазвичай в барабанних сушарках матеріал і сушильний агент рухаються прямоюкою, завдяки цьому запобігається пересушування матеріалу і віднесення матеріалу потоковими газами у бік, протилежний його руху. Для зменшення винесення при прямоюці швидкість газів в барабані підтримують не більше 2-3 м/с, залежно від розмірів частинок матеріалу. Гази надходять з топки, що примикає до барабана з боку входу матеріалу і з змішувальною камерою для охолодження газів до потрібної температури зовнішнім повітрям. [9]

Висушений матеріал проходить через підпирний пристрій у вигляді змінного кільця або поворотних лопаток, за допомогою якого регулюється ступінь заповнення барабана, що зазвичай не перевищує 20-25% його обсягу. Готовий продукт проходить через шлюзовий затвор, що перешкоджає підсмоктуванню зовнішнього повітря в барабан, і видаляється транспортером.

Гази просмоктуються через барабан за допомогою димососа, встановленого за сушаркою. Для уловлювання з газів пилу між барабаном та димососом розта-

Підп. і дата	
інв. № дубл.	
Взам. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

3 м	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-------	----------	-------	------

6.133.22.04.00.00.00 ПЗ

шований циклон. При такій схемі установки барабан працює при розрідженні, при цьому значно зменшується зношування вентилятора частинками пилю.

Барабан приводиться у обертання за допомогою зубчастого вінця, який знаходиться в зачепленні з ведучою шестернею, з'єднаною через редуктор з електродвигуном. Швидкість обертання барабана залежить від кута його нахилу та тривалості сушіння; зазвичай барабан робить 1-8 об/хв.

Барабанні сушарки широко застосовуються для сушіння сипких та дрібнокускових матеріалів.

Переваги барабанних сушарок:

- інтенсивне та рівномірне сушіння внаслідок тісного контакту матеріалу та сушильного агента;

- велика напруга барабана по волозі, що досягає $100 \text{ кг/м}^3 \cdot \text{год}$ і більше;

- компактність установки.

Суть вибору конструкції барабанної сушарки визначається вибором типу насадки барабана. Вибір типу насадки залежить від умов сушіння, від властивостей матеріалу, що висушується. Так в залежності від номінального розміру частинок висушуваного матеріалу, а також того, що цукровий пісок має мало значення насипної щільності, вибираємо лопатеву насадку. [3]

Вибір конструкційного матеріалу, який визначається умовою експлуатації проектного елемента, вузла або апарату (температура, тиск, величина навантаження, характер агресивного впливу середовища, вимоги до якості перероблюваного продукту і т. д.), слід виконувати так, щоб при низькій вартості та не дефіцитності матеріалу забезпечувати ефективну технологію виготовлення елемента (виробу). [3]

Враховуючи, що цукровий пісок не відноситься до хімічно активних речовин, для конструкції барабанної сушарки та її елементів застосовуємо матеріал – сталь 20. Вибір на користь цієї сталі, заснований на її порівняно низькій вартості, хорошій оброблюваності та досить високими фізиками. -механічними властивостями Хімічний склад і механічні властивості представлені в таблиці 1.1

Таблиця 1.1 - Хімічний склад та механічні властивості сталі 20

C, %	Mn, %	Si, %	Cr, %	Ni, %	Cu, %	As, %	S, %	P, %	$E \cdot 10^5$ МПа	σ МПа	σ МПа	δ %
0,23-0,3	0,5-0,8	0,05-0,19	0,3	0,5	0,3	0,08	0,05	0,04	2,0	280	400	23

Підп. і дата	
інв. № дубл.	
Взам. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

2 Технологічні розрахунки процесу та апарату

2.1 Матеріальний та тепловий баланси процесу

Кількість вологого матеріалу, що надходить у сушарку, дорівнює G_0 , а його вологість U_0 масових відсотків. В результаті сушіння виходить G_k висушеного матеріалу (вологістю U_k масових відсотків) та W випареної вологи.

Тоді матеріальний баланс у всій кількості речовини висловиться рівнянням

$$G_0 = G_k + W \quad (2.1)$$

Матеріальний баланс абсолютно сухої речовини, кількість якого не змінюється в процесі сушіння

$$G_0 \cdot (100 - U_0) = G_k \cdot (100 - U_k) \quad (2.2)$$

Спільне рішення рівнянь матеріального балансу дозволяє отримати залежності для визначення кількості:

висушеного матеріалу

$$G_k = G_0 \cdot \frac{100 - U_0}{100 - U_k} \quad (2.3)$$

$$G_k = 1000 \cdot \frac{100 - 22}{100 - 2} = 796 \text{ кг/год}$$

Де 1000 кг/год при нормальних умовах праці при 8 годинним робочим днем.

випареної вологи

$$W = G_0 \cdot \frac{U_0 - U_k}{100 - U_k} \quad (2.4)$$

$$W = 1000 \cdot \frac{22 - 2}{100 - 2} = 204 \text{ кг/год.}$$

Секундна продуктивність:
по вологому матеріалу

Підп. і дата						6.133.22.04.00.00.00 ПЗ	Аркуш
інв. № дубл.							12
Взам. інв. №							
Підп. і дата							
Інв. № подл.							
З	м	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

$$G_0 = \frac{1000}{3600} = 0,3 \text{ кг/с};$$

за висушеним матеріалом

$$G_k = \frac{796}{3600} = 0,2 \text{ кг/с};$$

по випареній волозі

$$W = \frac{204}{3600} = 0,06 \text{ кг/с.}$$

Приймаємо температуру повітря на вході в сушарку $t_1 = 130^\circ\text{C}$. Температура матеріалу на вході в сушарку $t_{\text{нм}} = 21^\circ\text{C}$, на виході – $t_{\text{км}} = 54^\circ\text{C}$.

Параметри зовнішнього повітря визначаємо з урахуванням місцевих географічних умов, тобто. середньорічні параметри: $t_0 = 10^\circ\text{C}$ і $\phi_0 = 65\%$. Цим параметрам відповідає вміст вологи $x_0 = 0,005 \text{ кг/кг}$ та ентальпія $I_0 = 23 \text{ кДж/кг}$. Інші параметри характерних точок процесу сушіння визначаємо по діаграмі стану J-x повітря.

Параметри повітря на вході в сушарку:

$$x_1 = 0,005 \text{ кг/кг}; t_1 = 130^\circ\text{C}; I_1 = 147 \text{ кДж/кг.}$$

Враховуючи, що температура відпрацьованої повітряної суміші повинна бути на $20\text{-}30^\circ\text{C}$ вище кінцевої температури матеріалу, приймаємо

$$t_2' = t_{\text{км}} + 26 = 54 + 26 = 80^\circ\text{C.}$$

Тоді параметри повітряної суміші на виході з сушарки за I – x діаграмою:

$$t_2' = 80^\circ\text{C}; I_2' = I_1 = 147 \text{ кДж/кг}; x_2 = 0,024 \text{ кг/кг}$$

Далі складаємо тепловий баланс сушарки.

Тепло, що надходить із повітрям

$$Q_1 = L \cdot I_0 \quad (2.5)$$

Підп. і дата						6.133.22.04.00.00.00 ПЗ	Аркуш
інв. № дубл.							13
Взам. інв. №							
Підп. і дата							
інв. № подл.	З	м	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата	

тепло, що надходить із матеріалом

$$Q_2 = G_k \cdot c_m \cdot t_{HM} \quad (2.6)$$

тепло, що надходить з випаровуваною вологою матеріалу

$$Q_3 = W \cdot c_b \cdot t_{HM} \quad (2.7)$$

тепло, отримане в калорифері, позначимо через Q_4 ;
тепло, винесене сушильним агентом

$$Q_5 = L \cdot I_2 \quad (2.8)$$

тепло, винесене з сушарки з парами води, що випарувалася з матеріалу

$$Q_6 = W \cdot i_{п} \quad (2.9)$$

тепло, що пішло з висушеним матеріалом

$$Q_7 = G_k \cdot c_m \cdot t_{KM} \quad (2.10)$$

тепло втрат $Q_{пот}$.

Запишемо рівняння приходу та витрати тепла

$$Q_{прих} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \quad (2.11)$$

$$Q_{расх} = Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_{пот} \quad (2.12)$$

звідки рівняння теплового балансу

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_{пот} \quad (2.13)$$

Вирішуючи рівняння теплового балансу щодо ентальпії відпрацьованої суміші, отримаємо

$$I_2 = I_1 - \frac{\Delta}{\ell} \quad (2.14)$$

Підп. і дата	
інв. № дубл.	
Взам. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

3	м	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата
---	---	-------	----------	-------	------

6.133.22.04.00.00.00 ПЗ

де Δ – різницю питомих витрат теплоти в реальній і теоретичній сушарках, що враховує витрату тепла на нагрівання матеріалу і втрати тепла на нагрівання матеріалу і втрати теплоти в навколишнє середовище

$$\Delta = \frac{G_k}{W} \cdot c_M \cdot (t_{KM} - t_{HM}) - c_B \cdot t_{HM} + q_{\text{п}} \quad (2.15)$$

де $c_M = 0,72$ кДж/кг·к – теплоємність матеріалу [9], $c_B = 4,19$ кДж/кг·К - теплоємність води [2].

2.2 Технологічні розрахунки

Питома витрата повітря

$$\ell = \frac{1}{x_2 - x_0} \quad (2.16)$$

$$\ell = \frac{1}{0,024 - 0,005} = 52,63 \text{ кг/кг.}$$

Загальна витрата повітря

$$L = \ell \cdot W \quad (2.17)$$

$$L = 52,63 \cdot 0,06 = 4,73 \text{ кг/с.}$$

Витрата тепла на сушіння

$$Q = \frac{W \cdot (I_1 - I_0)}{x_2 - x_0} \quad (2.18)$$

$$Q = \frac{0,06 \cdot (147 - 23)}{0,024 - 0,005} = 587 \text{ кВт.}$$

Питома витрата на сушіння

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	інв. № дубл.	Підп. і дата		6.133.22.04.00.00.00 ПЗ				Аркуш
										15
						3 м	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата

$$q = \frac{Q}{W} \quad (2.19)$$

$$q = \frac{587}{0,06} = 6522 \text{ кДж/кг.}$$

Втрати тепла у розмірі 10%

$$q_{\text{пот}} = 0,1 \cdot q \quad (2.20)$$

$$q_{\text{пот}} = 0,1 \cdot 6522 = 652 \text{ кДж/кг.}$$

Отже

$$\Delta = \frac{1,58}{0,06} \cdot 0,72 \cdot (54 - 21) - 4,19 \cdot 21 + 652 = 982 \text{ кДж/кг.}$$

Тоді ентальпія повітряної суміші на виході із сушарки

$$I_2 = I_1 - \frac{\Delta}{\ell} \quad (2.21)$$

$$I_2 = 147 - \frac{982}{52,63} = 128 \text{ кДж/кг.}$$

Значенням $I_2 = 128 \text{ кДж/кг}$ і $x_2 = 0,024 \text{ кг/кг}$ відповідає за I-x діаграмою температура повітря: $t_2 = 66^\circ\text{C}$, при цьому виконується умова $t_2 > t_{\text{км}}$.

2.3 Конструктивні розрахунки

Згідно з рекомендаціями (табл. 10.2) [3] приймаємо при насипній щільності $\rho = 1980 \text{ кг/м}^3$ (табл. 9) [5], швидкість повітря в сушарці $\omega_r = 2,0 \text{ м/с}$. По табл. 9 [5] коефіцієнт заповнення барабана при лопатевій насадці: $\beta = 0,15$. Щільність повітряної суміші за середньої температури

$$t_{\text{cp}} = \frac{t_1 + t_2}{2} \quad (2.22)$$

Інв. № подл.	Підп. і дага	Взам. інв. №	інв. № дубл.	Підп. і дага	3 м	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата	6.133.22.04.00.00.00 ПЗ	Аркуш
											16

$$t_{cp} = \frac{130 + 66}{2} = 98 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

має значення

$$\rho_B = \frac{M \cdot T_0}{22,4 \cdot (T_0 + t_{cp})} \quad (2.23)$$

$$\rho_B = \frac{29 \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + 98)} = 0,95 \text{ кг/м}^3.$$

Попередньо визначаємо внутрішній діаметр сушильного барабана [3, 10.3]

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot L}{\pi \cdot \rho_B \cdot (1 - \beta) \cdot \omega_T}} \quad (2.24)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 4,73}{3,14 \cdot 0,95 \cdot (1 - 0,15) \cdot 2,0}} = 1,8 \text{ м,}$$

Приймаємо стандартне значення $D = 1,8 \text{ м}$ [3, табл. 10.1].

Відповідно до табл. 9 [5] приймаємо напругу барабана сушарки з вологи $A_v = 10 \text{ кг/м}^3 \cdot \text{год}$, залежить від типу сушарки, виду матеріалу, що висушується і ін. факторів.

Об'єм сушильного барабана [3, 10.2]

$$V_6 = \frac{W}{A_v} \quad (2.25)$$

$$V_6 = \frac{204}{10} = 20,4 \text{ м}^3.$$

Попередня довжина барабана [3, 10.1]

$$L_6 = \frac{4 \cdot V_6}{\pi \cdot D^2} \quad (2.26)$$

$$L_6 = \frac{4 \cdot 20,4}{3,14 \cdot 1,8^2} = 11,83 \text{ м,}$$

Підп. і дата						6.133.22.04.00.00.00 ПЗ	Аркуш
інв. № дубл.							17
Взам. інв. №							
Підп. і дата							
інв. № подл.							
3 м	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата			

приймаємо $L_6 = 12,0$ м [3, табл. 10.1].

Товщину футерування обічайки барабана приймаємо: $\delta = 0,1$ м [3, с. 295].

Зовнішній діаметр барабана

$$D_H = D + 2 \cdot \delta \quad (2.27)$$

$$D_H = 1,8 + 2 \cdot 0,1 = 2,0 \text{ м.}$$

По табл. 10.1 [3] приймаємо барабанну сушарку з наступними параметрами:

Зовнішній діаметр барабана $D_H = 1800$ мм;

довжина барабана $L = 12000$ мм;

Маса матеріалу в сушильному барабані

$$M = 0,785 \cdot D^2 \cdot L_6 \cdot \beta \cdot \rho \quad (2.28)$$

$$M = 0,785 \cdot 1,8^2 \cdot 12 \cdot 0,15 \cdot 1980 = 9065 \text{ кг.}$$

Час перебування матеріалу, що висушується в сушарці

$$\tau = \frac{M}{G_k} \quad (2.29)$$

$$\tau = \frac{9065}{204} = 44,4 \text{ мин} = 0,74 \text{ ч.}$$

Число оборотів барабана стосовно даних умов експлуатації [1, 21- 44]

$$n = \frac{L}{a \cdot \tau \cdot \text{tg}\alpha \cdot D} \quad (2.30)$$

По табл. 34 [1] значення коефіцієнта для сушарки діаметром $D = 1800$ мм та лопатевою насадкою: $a = 1,2$. Кут нахилу барабана приймаємо: $\alpha = 3^\circ$, тоді $\text{tg}\alpha = 0,0524$. Отже

$$n = \frac{12000}{1,2 \cdot 95,6 \cdot 0,0524 \cdot 1800} = 1,11 \text{ об/хв.}$$

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	інв. № дубл.	Підп. і дата	6.133.22.04.00.00.00 ПЗ					Аркуш
										18
3 м	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата						

Потужність, що витрачається на обертання барабана [1, 21 - 45]

$$N = 0,078 \cdot D^3 \cdot L \cdot \rho \cdot \sigma \cdot n \quad (2.31)$$

$$N = 0,078 \cdot 1,8^3 \cdot 12 \cdot 1980 \cdot 0,053 \cdot 0,0185 = 10,6 \text{ кВт}$$

де $\sigma = 0,053$ – коефіцієнт, що залежить від виду насадки та ступеня заповнення барабана (табл. 35) [1]; $n = 0,0185$ об/с – частота обертання барабана.

2.4 Гідравлічний опір апарату

Визначимо еквівалентний діаметр сушильного барабана. Довжина лопаті $l_0 = 280$ мм, кількість лопатей $z = 8$, отже, периметр поверхні, що контактує з сушильним агентом [9]

$$\Pi = \pi \cdot D + 2 \cdot z \cdot l_0 \quad (2.32)$$

$$\Pi = 3,14 \cdot 1,8 + 2 \cdot 8 \cdot 0,28 = 10,13 \text{ м.}$$

Вільна площа перетину корпусу сушарки без урахування товщини лопатей

$$f = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (2.33)$$

$$f = \frac{3,14 \cdot 1,8^2}{4} = 2,54 \text{ м}^2.$$

Еквівалентний діаметр сушильного барабана [2, 1.24]

$$d_{\text{екв}} = \frac{4 \cdot f}{\Pi} \quad (2.34)$$

$$d_{\text{екв}} = \frac{4 \cdot 2,54}{10,13} = 1,01 \text{ м.}$$

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	інв. № дубл.	Підп. і дата	3 м	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата	6.133.22.04.00.00.00 ПЗ	Аркуш
											19

Уточнимо швидкість руху сушильного агента за прийнятим діаметром барабана ($D = 1800$ мм):

$$\omega_{\Gamma} = \frac{4 \cdot L}{\pi \cdot \rho_{\text{в}} \cdot (1 - \beta) \cdot D^2} \quad (2.35)$$

$$\omega_{\Gamma} = \frac{4 \cdot 4,73}{3,14 \cdot 0,95 \cdot (1 - 0,15) \cdot 1,8^2} = 2,3 \text{ м/с.}$$

В'язкість сушильного агента за середньої температури $t_{\text{ср}} = 98^{\circ}\text{C}$ по табл. XIII [1]: $\mu = 0,0238 \cdot 10^{-3}$ Па.

Значення критерію Re для сушильного агента

$$\text{Re} = \frac{\omega_{\Gamma} \cdot d_{\text{екв}} \cdot \rho_{\text{в}}}{\mu_{\text{в}}} \quad (2.36)$$

$$\text{Re} = \frac{2,3 \cdot 1,01 \cdot 0,95}{0,0238 \cdot 10^{-3}} = 92725 > \text{Re} = 10000,$$

отже, режим руху турбулентний.

Коефіцієнт тертя

$$\lambda = \frac{0,316}{\text{Re}^{0,25}} \quad (2.37)$$

$$\lambda = \frac{0,316}{92725^{0,25}} = 0,0181$$

Втрата тиску на довжині сушильного барабана (з урахуванням коефіцієнта опору повітря про матеріал, що пересипається $\varphi = 102$)

$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{L}{d_{\text{екв}}} \cdot \frac{\omega_{\Gamma}^2 \cdot \rho}{2} \cdot \varphi \quad (1.38)$$

$$\Delta p = 0,0181 \cdot \frac{12}{1,01} \cdot \frac{2,3^2 \cdot 0,95}{2} \cdot 102 = 55 \text{ Па.}$$

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	інв. № дубл.	Підп. і дата	3 м Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата	6.133.22.04.00.00.00 ПЗ	Аркуш
										20

За досвідченими даними опір барабанної сушарки $\Delta p = 100 \dots 200$ Па (див. с. 167) [6] при швидкості повітря $\omega_r = 2,0$ м/с та коефіцієнті заповнення $\beta = 0,2$.

2.5 Вибір допоміжного обладнання

При розрахунку сушарок треба вибрати вентилятор для подачі сушильного агента та пиловловлювального пристрою. Спочатку виконаємо розрахунок пиловловлюваного пристрою. Для очищення сушильного агента від пилу можна застосувати пилоосаджувальні циклони, електрофільтри, газові фільтри і гідравлічні пилоосадники. Найбільше застосування отримали циклони, тому що вони вловлюють тверді частинки з розмірами 100-3 мкм і мають хорошу ступінь очищення (85-45%).

Вибираємо для розрахунку циклон типу ВТІ. Розміри циклону визначаються заданим ступенем дисперсності і швидкостями газу в самому циклоні (12-14 м/с), у вхідному отворі (18-20 м/с) і вихлопній трубі (4-8 м/с).

Вихідні дані для розрахунку:

продуктивність по сушильному агенту

$$V = \frac{L}{\rho_B} \quad (2.49)$$

$$V = \frac{4,73}{0,95} = 4,98 \text{ м}^3/\text{с};$$

найменший діаметр уловлюваних частинок:

$$d_{\min} = 0,3 \text{ мм};$$

швидкість газової суміші
при вході в циклон:

$$\omega_{\text{вх}} = 20 \text{ м/с};$$

в циклоні:

$$\omega_{\text{ц}} = 12 \text{ м/с};$$

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	інв. № дубл.	Підп. і дата	6.133.22.04.00.00.00 ПЗ				Аркуш
									21
					3 м	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата

у вихлопній трубі:

$$\omega_{\text{тр}} = 8 \text{ м/с.}$$

Площа перерізу вхідного патрубкa

$$S = b \cdot h = \frac{V}{\omega_{\text{вх}}} \quad (2.50)$$

$$S = \frac{4,98}{20} = 0,249 \text{ м}^2.$$

Для циклонів типу ВТІ рекомендується $h = 4 \cdot b$, тоді сторони перерізу повітроводу

$$b = 0,5 \cdot \sqrt{S} \quad (2.51)$$

$$b = 0,5 \cdot \sqrt{0,249} = 0,25 \text{ м};$$

$$h = 4 \cdot b = 4 \cdot 0,249 = 1,0 \text{ м.}$$

Орієнтовне значення діаметра циклону

$$D \approx 5,9 \cdot b \quad (2.52)$$

$$D = 5,9 \cdot 0,25 = 1,475 \text{ м,}$$

приймаємо $D = 1,5 \text{ м.}$

Вважаємо, що осадження частинок підпорядковується закону Стокса. Тому швидкість осадження підраховуємо за формулою

$$\omega_o = \frac{d^2 \cdot (\rho_m - \rho_v) \cdot \omega_{\text{ц}}^2 \cdot \rho_v}{9 \cdot \mu \cdot D} \quad (2.53)$$

$$\omega_o = \frac{(0,3 \cdot 10^{-3})^2 \cdot (1980 - 0,95) \cdot 12^2 \cdot 0,95}{9 \cdot 0,0238 \cdot 10^{-3} \cdot 1,5} = 0,11 \text{ м/с.}$$

Підп. і дата						6.133.22.04.00.00.00 ПЗ	Аркуш
інв. № дубл.							22
Взам. інв. №							
Підп. і дата							
інв. № подл.	3 м	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

Перевіряємо правильність застосування цієї формули за рівнянням

$$Re = \frac{\omega_o \cdot d \cdot \rho_B}{\mu_B} \quad (2.54)$$

$$Re = \frac{0,11 \cdot 0,3 \cdot 10^{-3} \cdot 0,95}{0,0238 \cdot 10^{-3}} = 0,13 < 0,2,$$

тобто формула застосовна.

Внутрішній діаметр вихлопної труби

$$d_{BH} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{V}{\omega_T}} \quad (2.55)$$

$$d_{BH} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{4,98}{8}} = 0,892 \text{ м.}$$

Зовнішній діаметр вихлопної труби

$$d_H = d_{BH} + 2 \cdot \delta \quad (2.56)$$

де $\delta = 0,005$ м – прийнята товщина труби

$$d_H = 0,892 + 2 \cdot 0,005 = 0,902 \text{ м}$$

Діаметр циклону

$$D_{\text{ц}} = \frac{d_H}{1 - 10 \cdot \frac{\omega_o}{\omega_{\text{ц}}}} \quad (2.57)$$

$$D_{\text{ц}} = \frac{0,902}{1 - 10 \cdot \frac{0,11}{12}} = 1,42 \text{ м,}$$

Оскільки розбіжність із раніше прийнятим значенням невелика, приймаємо $D = 1,5$ м.

Інв. № подл.	Підп. і дата
Взам. інв. №	інв. № дубл.
Підп. і дата	Підп. і дата

3 м	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-------	----------	-------	------

6.133.22.04.00.00.00 ПЗ

Висота циліндричної частини циклону

$$h_1 = \frac{2 \cdot V}{(D - d_H) \cdot \omega_{\text{ц}}} \quad (2.58)$$

$$h_1 = \frac{2 \cdot 4,98}{(1,5 - 0,902) \cdot 12} = 1,4 \text{ м.}$$

Висота конусної частини циклону

$$h_2 = 5,05 \cdot b \quad (2.59)$$

$$h_2 = 5,05 \cdot 0,25 = 1,26 \text{ м.}$$

Гідравлічний опір циклону

$$\Delta p = \zeta_{\text{ц}} \cdot \frac{\omega_{\text{вх}}^2 \cdot \rho_{\text{г}}}{2} \quad (2.60)$$

де $\zeta_{\text{ц}}$ – коефіцієнт опору для циклону типу ВТІ

$$\Delta p = 6 \cdot \frac{20^2 \cdot 0,95}{2} = 1140 \text{ Па}$$

Далі вибираємо вентилятор.

Потужність, яку споживає вентилятор.

$$N = \frac{V_{\Delta p}}{1000 \cdot \eta} \quad (2.61)$$

де V – подача вентилятора, $\text{м}^3/\text{с}$; Δp – повний опір сушильної установки з урахуванням швидкісного тиску, Па; $\eta = \eta_{\text{в}} \cdot \eta_{\text{пр}}$ – загальний ККД вентиляторної установки.

$$V = \frac{L}{\rho} \quad (2.62)$$

Підп. і дата	
інв. № дубл.	
Взам. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

3	м	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата
---	---	-------	----------	-------	------

6.133.22.04.00.00.00 ПЗ

$$V = \frac{4,73}{0,95} = 4,98 \text{ м}^3/\text{с}.$$

$$\Delta p = \Delta p_{\text{тр}} + \Delta p_{\text{мс}} + \Delta p_{\text{суш}} + \Delta p_{\text{кт}} + \Delta p_{\text{ц}} + \Delta p_{\text{ск}} \quad (2.63)$$

де

$$\Delta p_{\text{тр}} = \lambda \cdot \frac{\ell}{D} \cdot \frac{\omega^2 \cdot \rho}{2} \quad (2.64)$$

опір тертя повітроводів, Па;

$$\Delta p_{\text{мс}} = \sum \zeta \cdot \frac{\omega^2 \cdot \rho}{2} \quad (2.65)$$

місцеві опори, Па; $\Delta p_{\text{суш}}$ – опір сушарки, Па; $\Delta p_{\text{кт}}$ – опору камери змішування та топки, Па; $\Delta p_{\text{ц}}$ – опір циклонів;

$$\Delta p_{\text{ск}} = \frac{\omega^2 \cdot \rho}{2} \quad (2.66)$$

швидкісний натиск, Па.

Відповідно до схеми сушильної установки приймаємо наступні вихідні дані для розрахунку:

Загальна довжина повітроводів $l = 20 \text{ м}$;

Кількість засувок $n_3 = 2 \text{ шт.}$;

Кількість відводів під кутом 90° $n_{\text{от}} = 2 \text{ шт.}$

Швидкість газів у трубопроводах допускається в межах $10\text{--}20 \text{ м/с}$, приймаємо $\omega_1 = 20 \text{ м/с}$.

З рівняння витрати знаходимо діаметр повітроводу між апаратами

$$d = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot \omega}} \quad (2.67)$$

$$d = \sqrt{\frac{4,98}{0,785 \cdot 20}} = 0,563 \text{ м}.$$

Приймаємо повітропровід з листового заліза діаметром $563 \times 2 \text{ мм}$.

Уточнюємо швидкість руху повітряної суміші

Підп. і дата										
інв. № дубл.										
Взам. інв. №										
Підп. і дата										
інв. № подл.										
3 м	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата	6.133.22.04.00.00.00 ПЗ					Аркуш
										25

$$\omega = \frac{V}{0,785 \cdot d^2} \quad (2.68)$$

$$\omega = \frac{4,98}{0,785 \cdot 0,563^2} = 20,0 \text{ м/с.}$$

Швидкісний напір

$$\Delta p_{\text{ск}} = \frac{20^2 \cdot 0,95}{2} = 190 \text{ Па.}$$

Величина критерію Re

$$Re = \frac{\omega \cdot d \cdot \rho}{\mu} \quad (2.69)$$

$$Re = \frac{20 \cdot 0,563 \cdot 0,95}{0,0238 \cdot 10^{-3}} = 449454$$

Значення коефіцієнта тертя

$$Re = \frac{0,316}{Re^{0,25}} \quad (2.70)$$

$$Re = \frac{0,316}{449454^{0,25}} = 0,0122$$

Для відводів під кутом 90^0 та засувок знаходимо, що $\zeta_1 = \zeta_2 = 0,15$, отже

$$\Delta p_{\text{тр}} + \Delta p_{\text{мс}} = \frac{\omega^2 \cdot \rho}{2} \cdot \left(\lambda \cdot \frac{\ell}{D} + \sum \zeta_i \right) \quad (2.71)$$

$$\Delta p_{\text{тр}} + \Delta p_{\text{мс}} = 190 \cdot \left(0,0122 \cdot \frac{20}{0,563} + 2 \cdot 0,15 + 2 \cdot 0,15 \right) = 196 \text{ Па.}$$

Підп. і дата										
інв. № дубл.										
Взам. інв. №										
Підп. і дата										
інв. № подл.										
3 м	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата	6.133.22.04.00.00.00 ПЗ					Аркуш
										26

Опір циклону коливається не більше 40-85 мм вод. ст., опір змішувальних камер: 10-20 мм вод. ст., тоді

$$\Delta p_{\text{ц}} + \Delta p_{\text{кт}} = (85 + 20) \cdot 9,81 = 1030 \text{ Па.}$$

Повний опір сушильної установки

$$\Delta p = 141 + 196 + 190 + 1030 = 1557 \text{ Па.}$$

При ККД вентилятора $\eta = 0,65$ потужність, що споживається вентилятором,

$$N = \frac{4,98 \cdot 1557}{1000 \cdot 0,65} = 11,93 \text{ кВт.}$$

Приймаємо вентилятор В - Ц14 - 46 - 5К - 02, що має продуктивність $V = 4,44 \text{ м}^3/\text{с}$, напір $\Delta p = 2450 \text{ Па}$ та потужність $N = 17,0 \text{ кВт}$.

Для підігріву повітря до 150°C , що надходить в сушарки, застосовують повітропідігрівачі з великою поверхнею теплообміну і малим гідравлічним опором. Найбільш підходять для цього кожухотрубні (з ребристою поверхнею) калорифери, які застосовуються для підігріву повітря. Розрахунок такого калорифера нічим не відрізняється від типового розрахунку кожухо-трубного теплообмінника.

Приймаємо як джерело тепла насичену водяну пару: $p = 4,0 \text{ ата}$, $t_{\text{п}} = 142,9^\circ \text{C}$.

Температурні умови процесу

$$\begin{array}{r} 142,9 \\ \hline 130 \\ \hline \Delta t_{\text{м}} = \\ 12,9^\circ \text{C} \end{array} \qquad \begin{array}{r} 142,9 \\ \hline 10 \\ \hline \Delta t_{\delta} \\ = 132,9^\circ \text{C} \end{array}$$

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\text{м}}}} \quad (2.72)$$

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{132,9 - 12,9}{\ln \frac{132,9}{12,9}} = 51,4 \text{ К.}$$

Підп. і дата	
інв. № дубл.	
Взам. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

3	м	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата
---	---	-------	----------	-------	------

6.133.22.04.00.00.00 ПЗ

Орієнтуючись на стандартні конструкції калориферів, приймаємо для теплоносія труби $d = 38 \times 2$ мм. Розрахуємо скільки труб необхідно на один хід. Для попереднього розрахунку приймаємо $Re=15000$.

З виразів

$$Re = \frac{\omega \cdot d \cdot \rho}{\mu} \quad (2.73)$$

і

$$\omega = \frac{L}{0,785 \cdot d^2 \cdot n \cdot \rho} \quad (2.74)$$

визначаємо кількість труб

$$n = \frac{L}{0,785 \cdot d \cdot \mu \cdot Re} = \frac{4,73}{0,785 \cdot 0,034 \cdot 0,021 \cdot 10^{-3} \cdot 15000} = 563,$$

де $\mu = 0,021 \cdot 10^{-3}$ Па·с – в'язкість повітря за середньої температури

$$t_{cp} = \frac{t_0 + t_1}{2} = \frac{10 + 130}{2} = 70^\circ C.$$

За каталогом вибираємо одноходовий теплообмінник типу «ТЛ» із загальним числом труб $n_T = 416$ та діаметром $D = 1200$ мм.

Уточнюємо значення критерію Рейнольдса

$$Re = \frac{L}{0,785 \cdot d \cdot \mu \cdot n} = \frac{4,73}{0,785 \cdot 0,034 \cdot 0,021 \cdot 10^{-3} \cdot 416} = 20120$$

Для турбулентного руху повітря в трубах

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0.8} Pr^{0.4} \quad (2.75)$$

звідки тепловіддачі для повітря

$$\alpha_B = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_{BH}} \quad (2.76)$$

Фізичні параметри повітря за середньої температури [1] :

Підп. і дата						6.133.22.04.00.00.00 ПЗ	Аркуш
інв. № дубл.							28
Взам. інв. №							
Підп. і дата							
інв. № подл.							
3 м	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата			

в'язкість $\mu = 0,021 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с};$
 теплоємність $c = 1,01 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К};$
 теплопровідність $\lambda = 0,0302 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}.$

Критерій Pr для повітря

$$Pr = \frac{c \cdot \mu}{\lambda} \quad (2.77)$$

$$Pr = \frac{1,01 \cdot 0,021 \cdot 10^{-3}}{0,0302} = 0,704$$

Тоді значення критерію Nu

$$Nu = 0,023 \cdot 20120^{0.8} 0,704^{0.4} = 55,2$$

Коефіцієнт тепловіддачі

$$\alpha_v = \frac{55,2 \cdot 0,032}{0,034} = 51 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

Оскільки коефіцієнт тепловіддачі з боку пари, що конденсується на зовнішній поверхні труб у міжтрубному просторі, досить великий і основний термічний опір буде зосереджено з боку повітря, то можна прийняти коефіцієнт тепловіддачі для конденсату

$$\alpha_v = 12000 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

Термічний опір стінок апарату [3] для труб із вуглецевої сталі

$$\frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} = \frac{0,002}{46} = 0,43 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}.$$

Приймаємо термічний опір забруднень [3] з боку накипу і з боку повітря, що нагрівається відповідно рівними 5000 і 2320 Вт/м²·К, тоді сумарний термічний опір

Підп. і дата	
інв. № дубл.	
Взам. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

$$r = \frac{1}{\frac{1}{5000} + \frac{1}{2320} + 0,43 \cdot 10^{-4}} = 0,673 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$$

Коефіцієнт теплопередачі

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_B} + \frac{1}{\alpha_K} + r} \quad (2.78)$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{51} + \frac{1}{12000} + 0,673 \cdot 10^{-3}} = 49,2 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

Необхідна площа теплообміну

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{cp}} \quad (2.79)$$

$$F = \frac{587 \cdot 10^3}{49,2 \cdot 51,4} = 232 \text{ м}^2$$

За табл. 5.10 [7] приймаємо калорифер, що має параметри:

діаметр кожуха	$D = 1200 \text{ мм};$
число ходів	$Z = 1;$
загальне число труб	$n_T = 416;$
діаметр труб	$d = 38 \times 2 \text{ мм};$
довжина труб	$l_T = 4,0 \text{ м};$
поверхня теплообміну	$F = 240 \text{ м}^2.$

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	інв. № дубл.	Підп. і дата	6.133.22.04.00.00.00 ПЗ					Аркуш
										30
										3 м Аркуш

3 Розрахунки апарату на міцність та герметичність

3.1 Визначення товщини стінки барабана

При розрахунку сушильного барабана необхідно визначити товщину стінки та прогин барабана. Барабан розглядається як балка, що вільно лежить на двох опорах. Вага барабана, насадки, бандажів, завантажуваного матеріалу та ізоляції є рівномірно розподіленим навантаженням на довжині барабана, вага вінцевої шестерні – зосереджену силу.

Товщину стінки барабана вибирають за каталогом або попередньо розраховують за емпіричною формулою [6, 3.134]

$$\delta = (0,007\dots 0,011) \cdot D_{\text{б}} \quad (3.1)$$

$$\delta = (0,007\dots 0,011) \cdot 1,8 = 0,013\dots 0,02 \text{ м,}$$

приймаємо $\delta = 0,016 \text{ м} = 16 \text{ мм}$.

Маса матеріалу в сушильному барабані [6, 3.135]

$$G_{\text{м}} = 0,785 \cdot D^2 \cdot L_{\text{б}} \cdot \beta \cdot \rho \quad (3.2)$$

$$G_{\text{м}} = 0,785 \cdot 1,8^2 \cdot 12 \cdot 0,15 \cdot 1980 = 9065 \text{ кг.}$$

Маса барабана

$$G_{\text{бар}} = \pi \cdot D^2 \cdot \delta \cdot \rho \cdot L_{\text{б}} \quad (3.3)$$

$$G_{\text{бар}} = 3,14 \cdot 1,8^2 \cdot 0,016 \cdot 8530 \cdot 12 = 16662 \text{ кг.}$$

Маса ізоляції [6, 3.136]

$$G_{\text{из}} = \pi \cdot D \cdot \delta_{\text{из}} \cdot \rho_{\text{из}} \cdot L_{\text{б}} \quad (3.4)$$

де $\delta_{\text{из}} = 0,1 \text{ м}$ – товщина ізоляції, що приймається в межах $\delta_{\text{из}} = 0,1\dots 0,2 \text{ м}$; $\rho_{\text{из}} = 250 \text{ кг/м}^3$ – щільність ізоляції (табл. XXVIII) [2]

$$G_{\text{из}} = 3,14 \cdot (1,8 + 2 \cdot 0,016) \cdot 0,1 \cdot 250 \cdot 12 = 1726 \text{ кг}$$

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	інв. № дубл.	Підп. і дата		6.133.22.04.00.00.00 ПЗ	Аркуш
							31
							3 м Аркуш

Сумарне навантаження

$$p = (G_m + G_{из} + G_{бар}) \cdot g \quad (3.5)$$

$$p = (9065 + 1726 + 16662) \cdot 9,81 = 269 \cdot 10^3 \text{ Н} = 0,269 \text{ МН}.$$

Питоме навантаження на довжині барабана

$$q = \frac{p}{L} \quad (3.6)$$

$$q = \frac{0,269}{12} = 22,4 \cdot 10^{-3} \text{ МН/м}.$$

Відстань між опорами [4, с. 82]

$$l_o = 0,586 \cdot L_{\sigma} = 0,586 \cdot 12 = 7,03 \text{ м}.$$

Згинальний момент від рівномірно розподіленого навантаження [4, IV.43]

$$M_1 = \frac{q \cdot l_o^2}{8} \quad (3.7)$$

$$M_1 = \frac{22,4 \cdot 10^{-3} \cdot 7,03^2}{8} = 0,138 \text{ МН}\cdot\text{м}.$$

Для діаметра барабана $D = 1,8$ м вага вінцевої шестерні (див. с. 163) [6]: $p_{венц} = 13000$ Н.

Згинальний момент від зосередженого навантаження вінцевої шестерні.

$$M_2 = \frac{p_{венц} \cdot l_o}{4} \quad (3.8)$$

$$M_2 = \frac{13000 \cdot 7,03}{4} = 23 \cdot 10^3 \text{ МН}\cdot\text{м} = 0,023 \text{ МН}\cdot\text{м}.$$

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	інв. № дубл.	Підп. і дата	3 м	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата	6.133.22.04.00.00.00 ПЗ	Аркуш
											32

Сумарний згинальний момент

$$M_{\text{и}} = M_1 + M_2 \quad (3.9)$$

$$M_{\text{и}} = 0,138 + 0,023 = 0,161 \text{ МН}\cdot\text{м.}$$

Крутний момент на барабані [4, IV.44]

$$M_{\text{кр}} = \frac{N}{2 \cdot \pi \cdot n} \cdot 10^{-3} \quad (3.10)$$

$$M_{\text{кр}} = \frac{10,6 \cdot 10^{-3} \cdot 60}{2 \cdot 3,14 \cdot 1,11} = 0,091 \text{ МН}\cdot\text{м.}$$

Розрахунковий (наведений) момент [4, IV.46]

$$M_p = 0,35 \cdot M_{\text{и}} + 0,65 \cdot \sqrt{M_{\text{и}}^2 + M_{\text{кр}}^2} \quad (3.11)$$

$$M_p = 0,35 \cdot 0,161 + 0,65 \cdot \sqrt{0,161^2 + 0,091^2} = 0,176 \text{ МН}\cdot\text{м}$$

Момент опору перерізу кільцевої стінки барабана [4, с.83]

$$W = 0,785 \cdot D^2 \cdot \delta \quad (3.12)$$

$$W = 0,785 \cdot 1,8^2 \cdot 0,016 = 0,0407 \text{ м}^3.$$

Напруга в стінці барабана

$$\sigma_u = \frac{M_p}{W} \quad (3.13)$$

$$\sigma_u = \frac{0,176}{0,0407} = 4,32 \text{ МН/м}^2,$$

що знаходиться в допустимих межах: $[\sigma_u] = 5 \div 10 \text{ МН/м}^2$.

Кільцевий момент інерції стінки барабана [4, IV.49]

Підп. і дата	
інв. № дубл.	
Взам. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

З	м	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата
---	---	-------	----------	-------	------

6.133.22.04.00.00.00 ПЗ

$$I = \frac{\pi \cdot D_{\text{cp}}^3}{8} \cdot \delta = \frac{\pi}{8} (D + \delta)^3 \cdot \delta \quad (3.14)$$

$$I = \frac{3,14}{8} (1,8 + 0,016)^3 \cdot 0,016 = 0,0386 \text{ м}^4.$$

Для вуглецевої сталі модуль пружності: $E = 1,9 \cdot 10^5 \text{ МН/м}^2$.

Прогин барабана від рівномірно розподіленого навантаження [4, IV.48]

$$f_1 = \frac{5 \cdot q \cdot l_0^4}{384 \cdot E \cdot I} \quad (3.15)$$

$$f_1 = \frac{5 \cdot 22,4 \cdot 10^{-3} \cdot 7,03^4}{384 \cdot 1,9 \cdot 10^5 \cdot 0,0386} = 0,97 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

Прогин під дією сили ваги вінцевої шестерні [6, 3.144]

$$f_2 = \frac{p_{\text{вснц}} \cdot l_0^3}{48 \cdot E \cdot I} \quad (3.16)$$

$$f_2 = \frac{13000 \cdot 10^{-6} \cdot 7,03^3}{48 \cdot 1,9 \cdot 10^5 \cdot 0,0386} = 0,13 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

Загальний прогин

$$f = f_1 + f_2 \quad (3.17)$$

$$f = (0,97 + 0,13) \cdot 10^{-4} = 1,1 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

Допустимий прогин [4, IV.47]

$$[f] = 0,0003 \cdot l_0 = 0,0003 \cdot 7,03 = 21,1 \cdot 10^{-4} \text{ м,}$$

тобто умова жорсткості барабана виконується.

Інв. № подл.	Підп. і дага
Взам. інв. №	інв. № дубл.
Підп. і дага	Підп. і дага

З	м	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата
---	---	-------	----------	-------	------

6.133.22.04.00.00.00 ПЗ

3.2 Визначення товщини опорного бандажу сушарки

Бандажі служать передачі тиску від ваги барабана і завантаженого у нього матеріалу на опорні ролики. Бандажі є кільцями прямокутно або коробчатого перерізу. Для барабанів з $D > 1,0$ м найчастіше застосовують вільне кріплення бандажів, які одягаються на чавунні чи сталеві черевики. Черевики повернені затятими головками в різні боки для запобігання аксіальному зміщенню бандажу.

Реакцію опорного ролика визначаємо за формулою [4, IV.51]

$$R_p = \frac{(p + p_{\text{венц}}) \cdot \cos \alpha}{2 \cdot z \cdot \cos \frac{\varphi}{2}} \quad (3.18)$$

$$R_p = \frac{(0,269 + 0,013) \cdot \cos 3^\circ 42'}{2 \cdot 2 \cdot \cos 15^\circ} = 0,046 \text{ МН,}$$

де $\alpha = 3^\circ 42'$ – кут нахилу барабана; $\varphi = 60^\circ$ – кут між опорними роликами; z – число бандажів.

Діаметр опорного ролика [4, с.83]

$$d_p = \frac{D}{3..4} = \frac{1800}{3..4} = 450...600 \text{ мм,}$$

приймаємо $d_p = 550$ мм.

Приймаємо число черевиків (парне число): $n_6 = 8$.

Матеріал черевика та роликів – Сталь 45 Л, модуль пружності якої $E_1 = E_2 = 2 \cdot 10^5$ МПа, допустима напруга на вигин $[\sigma_{\text{в}}] = 50$ МПа, допустима контактна напруга $[\sigma_{\text{к}}] = 500$ МПа див. с. 256) [6].

Кут між башмаками [6, 3.147]

$$j = \frac{2 \cdot \pi}{n_6} = \frac{2 \cdot 3,14}{8} = 45^\circ.$$

Число башмаків в одному квадранті [6, 3.150]

$$n_{61} = \frac{n_6 - 2}{4} = \frac{8 - 2}{4} = 1,5,$$

Підп. і дата	
інв. № дубл.	
Взам. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

3	м	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата	6.133.22.04.00.00.00 ПЗ	Аркуш
							35

приймаємо $n_{61} = 2$.

Сила, що діє на нижній черевик [6, 3.148]

$$Q_0 = \frac{4 \cdot R_{0п}}{n_6} = \frac{4 \cdot 46}{8} = 23 \text{ кН.}$$

Сили, що діють на черевики за формулою 3.149 [4]

$$Q_1 = Q_0 \cdot \cos j = 23 \cdot \cos 45^\circ = 16,3 \text{ кН;}$$

$$Q_2 = Q_0 \cdot \cos 2j = 23 \cdot \cos 90^\circ = 0 \text{ кН;}$$

Розрахункові кути для визначення пар сил

$$Q_0; \Theta_0 = 180^\circ; \sin 180^\circ = 0; \cos 180^\circ = -1;$$

$$Q_1; \Theta_1 = 135^\circ; \sin 135^\circ = 0,7; \cos 135^\circ = -0,7;$$

$$Q_2; \Theta_2 = 90^\circ; \sin 90^\circ = 1; \cos 90^\circ = 0;$$

$$\beta = 150^\circ; \text{tg} 150^\circ = -0,57; \cos 150^\circ = -0,866.$$

Середній радіус барабана при

$$D_{\text{ср.б}} = 1,2 \cdot D_{\text{н}} = 1,2 \cdot (1,8 + 2 \cdot 0,016) = 2,440 \text{ м} = 2440 \text{ мм;}$$

$$R_{\text{ср}} = \frac{D_{\text{ср.б}}}{2} = \frac{2440}{2} = 1220 \text{ мм} = 1,22 \text{ м.}$$

Згинальний момент у місцях застосування сил за формулою [6, 3.154]

$$M_{00} = -\frac{Q_0 \cdot R_{\text{ср}}}{2 \cdot \pi} \cdot \left(1 + \frac{1}{\cos \beta} - (\pi - \beta) \cdot \text{tg} \beta\right) \quad (3.19)$$

$$M_{00} = -\frac{23 \cdot 1,22}{2 \cdot 3,14} \cdot \left(1 + \frac{1}{\cos 150^\circ} - (3,14 - 2,61) \cdot \text{tg} 150^\circ\right) =$$

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	інв. № дубл.	Підп. і дата	6.133.22.04.00.00.00 ПЗ					Аркуш
					3	м	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата

$$= -0,65 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$M_{o1} = -\frac{Q_1 \cdot R_{cp}}{\pi} \cdot \left(1 - \frac{\cos \Theta_1}{\cos \beta} - (\pi - \Theta_1) \cdot \sin \Theta_1 + (\pi - \beta) \cdot \cos \Theta_1\right) \quad (3.20)$$

$$M_{o1} = -\frac{16,3 \cdot 1,22}{3,14} \cdot \left(1 - \frac{\cos 135^\circ}{\cos 150^\circ} - (3,14 - 2,355) \cdot \sin 135^\circ + (3,14 - 2,61) \cdot \cos 135^\circ \cdot \text{tg} 150^\circ\right) =$$

$$= 0,91 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

Сумарний згинальний момент у ключовому перерізі

$$M_o = M_{o0} + M_{o1} = -0,65 + 0,91 = 0,26 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Ширина бандажу за формулою 3.163 [4] при $D_{н.б} > D_{ср.б}$ ($D_{н.б} = 2,5 \text{ м}$)

$$b = 0,59^2 \cdot \frac{R_p \cdot E_1 \cdot E_2 \cdot 2 \cdot (D_{н.б} + d_p)}{[\sigma_k]^2 \cdot (E_1 + E_2) \cdot D_{н.б} \cdot d_p} \quad (3.21)$$

$$b = 0,59^2 \cdot \frac{0,046 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 2 \cdot (2,5 + 0,55)}{500^2 \cdot (2 \cdot 10^5 + 2 \cdot 10^5) \cdot 2,5 \cdot 0,55} = 0,138 \text{ м} = 138 \text{ мм},$$

приймаємо $b = 140 \text{ мм}$.

Висота перерізу бандажу [6, 3.164]

$$h_б = \sqrt{\frac{6 \cdot M_{max}}{b \cdot [\sigma_{и}]}} \quad (3.22)$$

$$h_б = \sqrt{\frac{6 \cdot 0,26 \cdot 10^3}{0,14 \cdot 50 \cdot 10^6}} = 0,149 \text{ м} = 149 \text{ мм},$$

приймаємо $h_б = 150 \text{ мм}$.

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	інв. № дубл.	Підп. і дата	6.133.22.04.00.00.00 ПЗ				Аркуш
									37
					3 м	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата

3.3 Розрахунок упорного ролика

Для реалізації кочення завязаного ролика по скошеній бічній поверхні бандажа без прослизання вершина конічної поверхні ролика повинна знаходитися на осі барабана. При утримуванні барабана від сповзання на упорний ролик діє складова сила тяжкості барабана

$$A = p \cdot \sin \alpha \quad (3.23)$$

$$A = (0,269 + 0,013) \cdot \sin 2^\circ 18' = 0,00864 \text{ МН} = 8,64 \text{ кН.}$$

Середній діаметр бандажу

$$D_{\text{cp}} = D_{\text{н.б}} - h_{\text{б}} \quad (3.24)$$

$$D_{\text{cp}} = 2500 - 150 = 2350 \text{ мм.}$$

Кут γ при вершині конуса упорного ролика

$$\frac{\gamma}{2} = \text{arctg} \frac{d_{\text{ур}}}{d_{\text{cp}}}, \quad (3.25)$$

$$\frac{\gamma}{2} = \text{arctg} \frac{300}{2350} = 7^\circ 18'$$

де $d_{\text{ур}} = 300$ мм, середній діаметр упорного ролика, прийнятий за нормаліями.

Сила T , нормальна до бічної поверхні ролика

$$T = \frac{A}{\cos \frac{\gamma}{2}} \quad (3.26)$$

$$T = \frac{8,64}{\cos 7^\circ 18'} = 8,71 \text{ кН.}$$

Контактна напруга матеріалу упорного ролика

Підп. і дата	
інв. № дубл.	
Взам. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

3	м	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата	6.133.22.04.00.00.00 ПЗ	Аркуш
							38

$$\sigma_k = 0,418 \cdot \sqrt{\frac{T \cdot E}{h_{yp} \cdot \left(\frac{D_{cp}}{2}\right) \cdot \sin \frac{\gamma}{2}}} \quad (3.27)$$

$$\sigma_k = 0,418 \cdot \sqrt{\frac{8,71 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^5}{0,3 \cdot \left(\frac{2,35}{2}\right) \cdot \sin 7^\circ 18'}} = 197 \text{ МПа,}$$

при допустимому значенні $[\sigma_k] = 500 \text{ МПа}$ для Сталі 45Л. Отже умова контактної міцності

$$\sigma_k < [\sigma_k]$$

виконується.

3.4 Розрахунок лабіринтного ущільнення

У групу лабіринтних ущільнень входять ущільнення, у яких гідравлічний опір досягається багаторазовим чергуванням послідовно розташованих щілин (зазорів) і розширювальних камер за відсутності контакту між рухомою і нерухою деталями. Протікає через зазори пар або газ (для рідин ці ущільнення застосовуються рідко) в розширювальних камерах втрачає швидкість і змінює свій напрямок так, що до кожної наступної щілини він надходить вже з нижчим тиском і зменшеною швидкістю.

Область застосування лабіринтних ущільнень не організована швидкістю відносного руху деталей, що ущільнюються, і температурою робочого середовища. За конструктивними ознаками лабіринтні ущільнення можуть бути з горизонтальним (вздовж осі валу) і радіальним розташуванням камер, яке і застосовуємо для ущільнення барабана.

Комбінацією нерухомих та рухомих кілець утворюються камери. Форми деталей, що утворюють щілини та камери лабіринтного ущільнення, щілина так само, як і камери, може бути радіальною та осьовою.

Зазори (s) не можуть бути виконані менше 0,25-0,5 мм, так як при зношуванні опор і деформації барабана можливий контакт між рухомими і нерухомими елементами ущільнення.

Конструктивні розміри лабіринту вибирають за коефіцієнтом опору f. Для однієї лабіринтної камери

Підп. і дата	
інв. № дубл.	
Взам. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

3	м	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата	6.133.22.04.00.00.00 ПЗ	Аркуш
							39

$$f = 0,029 \frac{\ell}{s} \quad (3.28)$$

де l — ширина лабіринтної проточки, s — довжина зазору.
Сумарний опір усіх (z) камер лабіринту

$$f = 0,029 \sum_{i=1}^z \frac{\ell}{s} \quad (3.29)$$

Зазвичай всі камери мають однаковий розмір. Відношення глибини лабіринтної проточки (b) до зазору $b/s < 20$. У нашому випадку

$$f = 0,029 \cdot 5 \cdot \frac{70}{30} = 0,338 \geq 0,12$$

3.5 Розрахунок товщини ізоляції апарату

При підрахунку можливих теплових втрат в навколишнє середовище за рахунок випромінювання та конвекції враховуємо, що сушарка знаходиться в приміщенні, покрита азбестовою ізоляцією. ($\lambda_{из} = 0,15 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$) і має температуру зовнішньої стінки $t = 35^\circ\text{C}$, а середня температура навколишнього середовища $t_b = 15^\circ\text{C}$.

Загальна втрата тепла випромінюванням та конвекцією знаходимо за формулою

$$Q_{\text{пот}} = \alpha \cdot F \cdot (t_{\text{нар}} - t_b) = \alpha \cdot F \cdot \Delta t, \quad (3.30)$$

де α - сумарний коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням та конвекцією, $\text{Вт/м}^2 \cdot \text{К}$.

Для об'єктів, розташованих усередині приміщення, при температурі стінки до 150°C

$$\alpha = 9,74 + 0,07 \cdot \Delta t \quad (3.31)$$

Знаходимо коефіцієнт тепловіддачі, теплообмінну поверхню (зовнішню поверхню ізоляції) та втрати тепла у навколишнє середовище:

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	інв. № дубл.	Підп. і дата	6.133.22.04.00.00.00 ПЗ				Аркуш
									3 м Аркуш

$$\alpha = 9,74 + 0,07(35 - 15) = 11,14 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К};$$

$$F = \pi \cdot D \cdot H + 2 \cdot 0,785 \cdot D^2 \quad (3.32)$$

$$F = 3,14 \cdot 1,8 \cdot 12,0 + 2 \cdot 0,785 \cdot 1,8^2 = 72,91 \text{ м}^2;$$

$$Q_{\text{пот}} = 11,14 \cdot 72,91 \cdot (35 - 15) = 16244 \text{ Вт.}$$

Кількість тепла, що передається теплопровідністю ізоляції:

$$Q_{\text{пот}} = q_L \cdot L = \frac{\lambda_{\text{из}}}{\delta_{\text{из}}} \cdot \pi d_{\text{из.ср}} \cdot L \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}}) \quad (3.33)$$

Тут середній діаметр ізоляції залежить від товщини ізоляції, що визначається.:

$$\frac{\delta_{\text{из}}}{d_{\text{из.ср}}} = \frac{\lambda_{\text{из}} \cdot \pi (t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}})}{q_L}, \quad (3.34)$$

де $q_L = \frac{Q_{\text{пот}}}{L}$ – питомі теплові втрати на 1 м. довжини циліндричної поверхні, Вт/м.

Умовна довжина поверхні ізоляції, що розраховується.

$$L = \frac{F}{\pi \cdot D} \quad (3.35)$$

$$L = \frac{72,91}{3,14 \cdot 1,8} = 12,9 \text{ м,}$$

значить

$$q_L = \frac{16244}{12,9} = 1259 \text{ Вт/м.}$$

Приймаємо середню температуру сушильного агента

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	інв. № дубл.	Підп. і дата	6.133.22.04.00.00.00 ПЗ					Аркуш
										41
										3 м Аркуш

$$t_{\text{вн}} = \frac{130 + 66}{2} = 98 \text{ }^\circ\text{C}$$

і позначаємо ставлення $\frac{\delta_{\text{из}}}{d_{\text{из.ср}}}$ через A ; знаходимо

$$A = \frac{0,15 \cdot 3,14 \cdot (98 - 35)}{1259} = 0,024.$$

При $A = 0,024$ відношення

$$\frac{d_{\text{из.нар}}}{d_{\text{из.вн}}} = 1,047$$

Визначаємо товщину ізоляції

$$\delta_{\text{из}} = \frac{d_{\text{из.нар}} - d_{\text{из.вн}}}{2} = \frac{d_{\text{из.вн}}}{2} \left(\frac{d_{\text{из.нар}}}{d_{\text{из.вн}}} - 1 \right) \quad (3.36)$$

$$\delta_{\text{из}} = \frac{1,8}{2} \cdot (1,047 - 1) = 0,042 \text{ м} = 42 \text{ мм.}$$

Якщо знаходити із спрощеного співвідношення (для плоскої стінки):

$$Q_{\text{пот}} = \frac{\lambda_{\text{из}}}{\delta_{\text{из}}} F (t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}}), \quad (3.37)$$

то

$$\delta_{\text{из}} = \frac{\lambda_{\text{из}} \cdot F \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}})}{Q_{\text{пот}}} \quad (3.38)$$

$$\delta_{\text{из}} = \frac{0,15 \cdot 72,91 \cdot (98 - 35)}{16244} = 0,042 \text{ м} = 42 \text{ мм.}$$

Перевіряємо температуру внутрішньої поверхні ізоляції

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	інв. № дубл.	Підп. і дата	3 м	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата	6.133.22.04.00.00.00 ПЗ	Аркуш
											42

$$\alpha \cdot (t_{\text{нар}} - t_{\text{вн}}) = \frac{\lambda_{\text{из}}}{\delta_{\text{из}}} \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}}), \quad (3.39)$$

звідси

$$t_{\text{вн}} = t_{\text{нар}} \frac{\alpha \cdot (t_{\text{нар}} - t_{\text{вн}}) \cdot \delta_{\text{из}}}{\lambda_{\text{из}}} \quad (3.40)$$

$$t_{\text{вн}} = 35 + \frac{11,14 \cdot (35 - 15) \cdot 0,042}{0,15} = 97,4^{\circ}\text{C}.$$

що збігається з розрахунковим значенням температури.

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	інв. № дубл.	Підп. і дата	3 м	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата	6.133.22.04.00.00.00 ПЗ	Аркуш
											43

4 Монтаж і ремонт апарата

4.1 Монтаж апарата [9]

Монтаж барабанних сушарок складається з наступних основних операцій:

- встановлення та вивіряння плит під опорні та упорні ролики;
- встановлення та вивіряння опорних роликів;
- установка обичайок з встановленими бандажами;
- встановлення упорних роликів;
- встановлення зубчастого вінця;
- встановлення редуктора та провідної шестерні;
- встановлення обладнання гарячого та холодного кінців барабана.

Основним монтажним механізмом є потужний автомобільний або гусеничний кран.

При встановленні опорних роликів здійснюється їх вивірка по висотних відмітках за допомогою нівеліра.

Так як ролики мають ухил осі сушарки до 6° , то для уникнення помилки рейку при вивірці треба встановлювати у всіх роликів на те саме місце.

Правильність ухилу роликів перевіряється за рівнем. Необхідна точність установки роликів щодо осі лежить в межах 2 мм.

Зазвичай корпус сушарки доставляють до місця монтажу з одягненими бандажами. Встановлюють його або за допомогою крана, або накочування по похилій естакаді за допомогою двох лебідок, троси яких намотуються на корпус сушарки на відстані 1,5-2 м від кінців. [9]

При накочуванні корпусу потрібно ретельно стежити за тим, щоб бандажі потрапили точно на опорні ролики. Для контролю точності накочування та регулювання положення корпусу в процесі накочування в площині, паралельної площині установки однієї з пар опорних роликів, натягується струна від анкерного болта ролика до вбитого в підлогу (землю) штиря. [9]

Відстань від струни до центру найближчого бандажу має дорівнювати відстані від струни до центру відповідної пари роликів. Якщо замір показав, що барабан змістився, наприклад, праворуч, то під лівий кінець барабана підкладається клин і, діючи однією правою лебідкою, барабан виводиться в потрібне положення. Після цього клин підкладають під правий кінець барабана і лівою лебідкою вирівнюють барабан, поки його вісь не виявиться паралельної проектною осі сушарки. Діючи таким чином, домагаються точного влучення бандажу на ролики.

Після закінчення накочування барабан опускається бандажами на опорні ролики за допомогою домкратів. [9]

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	інв. № дубл.	Підп. і дата	3 м	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата	6.133.22.04.00.00.00 ПЗ	Аркуш
											44

Потім встановлюється вінцева шестерня. Половинки вінцевої шестірні за допомогою крана надягають на корпус барабана і збовчуються. Потім проводиться вивірка шестірні на осьове та радіальне биття за допомогою жорстко закріпленого індикатора. Биття як в осьовому, так і в радіальному напрямку не повинно перевищувати 2 мм. Вінцева шестерня кріпиться до корпусу барабана на пластинчастих пружинах. Пружини прикріплені до вінцевої шестірні болтами, а корпусу – заклепками. По закінченню вивіряння шестірні встановлюють пружини. Пружини повинні прилягати до корпусу барабана без зазору, але й значного натягу. [9]

Використовуючи отвори у встановлених пружинах як кондуктор, в корпусі барабана свердлять отвори під заклепки. Після того як пружини підготовлені, проводиться клепка, і після неї – повторна перевірка шестерні на радіальне та осьове биття. [9]

Підвінцова шестерня повинна бути встановлена під тим же кутом нахилу, що корпус барабана. Як база при її вивірці служить встановлена і вивірена вінцева шестерня. [9]

При цьому радіальний проміжок не повинен перевищувати $0,2m + (5 - 7)$ мм, а бічний – 1 - 1,5 мм (m – модуль зачеплення).

Після вивірки підвінцевої шестірні встановлюється редуктор приводу, який також повинен бути встановлений під тим самим кутом нахилу, що корпус барабана. Встановлюють та вивіряють редуктор на клинах. Вивірка у вертикальній площині проводиться за допомогою рівня з ціною розподілу 0,1 мм на 1 м. Допустимі відхилення при вивірці в межах 5 поділів рівня. Співвісність валів перевіряють за допомогою скоб шляхом виміру зазорів через 20° повороту валів. Після закінчення вивіряння та обтяжки анкерних болтів всі регульовальні підкладки зварюються і підливаються бетоном. Також встановлюється і вивіряється електродвигун. [9]

Після монтажу барабанну сушарку обкатують. Перед пробним пуском має бути перевірено наявність мастила і надходження його до всіх місць, що підлягають мастилу. При обкатці всі механізми повинні працювати (переміщатися) плавно, без заїдань, а також без вібрацій та надмірного шуму. Якщо ніяких дефектів не виявлено, то барабанна сушарка обкатується протягом 4 годин. При обкатці триває спостереження за поведінкою всіх механізмів, особливо підшипників, температура яких не повинна перевищувати 65^0 С. Бандажі повинні котитися по роликах всією поверхнею. Не повинно бути витоків олії з масляної системи.

При роботі барабан не повинен мати осьового зміщення у бік холодного або гарячого кінця. Осьове зміщення барабана усувається шляхом розвороту опорних роликів на кут, що встановлюється досвідченим шляхом. Потім проводиться обкатка сушильного барабана без навантаження протягом 36 годин і під навантаженням – протягом 48 годин. [9]

Підп. і дата	
інв. № дубл.	
Взам. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

З	м	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата
---	---	-------	----------	-------	------

6.133.22.04.00.00.00 ПЗ

4.2 Ремонт апарата [9]

Барабанні сушарки поєднують у собі ознаки апарату та машини і їм притаманні несправності, характерні для обох типів обладнання.

У барабанних сушарках швидкому зносу піддаються вкладиші підшипників роликів опор, кільця ущільнювачів, ролики, бандажі, первинна шестерня. У місці подачі гарячих газів можливе прогорання ділянки кожуха або деформація його внаслідок дії високих температур. [9]

Поточний ремонт сушарки проводять через 720 год. протягом 6 – 16 год. з трудовитратами 10 – 40 чол./год. Середній ремонт проводять через 8640 год. протягом 48 – 120 год. при трудовитратах 94 – 600 чол./год. Капітальний ремонт проводять один раз на 3 роки (через 25920 год.) протягом 96 - 360 год. при трудозатратах 230 - 1200 чол. / год.

Під час поточного ремонту проводять ревізію масляної системи; перевіряють герметичність вузлів живлення сушарки та вивантаження готового продукту; обсмоктують калорифер або топку; підтягують кріплення вузлів та деталей; оглядають привід сушарки. [9]

При середньому ремонті сушарку частково розбирають, при цьому виконують роботи з ремонту або часткової заміни насадки, зміни роликів, заміни підшипників, кільця ущільнювачів. Виробляють середній ремонт приводу: повертають або замінюють підвінцову шестерню, змінюють масло в редукторі і, якщо потрібно, - окремі деталі, що зносилися. Ремонтують футерівку барабана, регулюють обертання барабана. [9]

Під час капітального ремонту повністю розбирають сушарку, замінюють ділянки обичайки, змінюють насадку, ремонтують або міняють бандажі, повертають або міняють підвінцеве колесо з підвінцевою шестернею, ремонтують футеровку. Барабан сушарки перевіряють на герметичність, центрують. Виробляють капітальний ремонт приводу.

Термін служби бандажу сягає 15 – 20 років. Під час капітального ремонту деформовані бандажі проточують за допомогою переносного супорту. Якщо необхідно замінити бандаж, барабан піднімають, розрізають бандаж і видаляють частинами. Потім встановлюють новий у нагрітому стані або збирають його з двох - трьох частин з наступним зварюванням.

Поверхнева твердість опорних роликів дещо нижча, ніж бандажів. Вони посаджені на осі гарячою чи пресою посадкою. Вкладиші підшипників роликів ремонтують при середньому ремонті, ролики періодично проточують по зовнішній поверхні, або, якщо їх діаметр зменшився до 80 від номінального, замінюють новими (в комплекті з валом). [9]

Підп. і дата	
інв. № дубл.	
Взам. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

З	м	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата
---	---	-------	----------	-------	------

6.133.22.04.00.00.00 ПЗ

У підвінцевій шестерні число зубів становить значення від 18 до 25 при модулі 24 – 30 мм. Шестерні змінюють при капітальному ремонті, а в окремих випадках і при середньому. Відновлення їх є недоцільним, проте продовжити їх термін служби можна поворотом на 180°.

Зазвичай вінцеве колесо і двох половин, маса його сягає 4 – 6 т., термін служби 15-20 років. У міру зношування вінцеве колесо повертають на кут 180°. В окремих випадках роблять наплавлення зубів за шаблоном на зібраному колесі. Наплавлений зуб повинен бути встановлений у горизонтальному положенні, що досягається поворотом самого барабана. Фрезерування зубів після наплавлення можна проводити за допомогою переносного пристосування.

Після капітального ремонту здійснюється обкатка установки в режимі, що відповідає обкатці барабана при його монтажі. [9]

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	інв. № дубл.	Підп. і дата	6.133.22.04.00.00.00 ПЗ				Аркуш
									47
									3 м Аркуш

5 Охорона праці

5.1 Аналіз потенційних небезпек [7]

Небезпечними та шкідливими виробничими факторами у виробництві вуглекислого марганцю є наступні:

- рухомі та обертові частини механізмів, які можуть завдати працюючим травми;
- отруєння в результаті впливу шкідливих речовин, що застосовуються як сировина, напівпродукти та отримані побічні продукти;
- підвищення температури поверхонь обладнання, можливі опіки;
- підвищений рівень шуму та вібрації на робочих місцях, що негативно позначається на нервовій системі та органах слуху;
- комунікації та апарати перебувають під надмірним тиском та його різка зміна веде до аварії;
- небезпечний рівень напруги в електричному ланцюзі, замикання, яке може статися через тіло людини. Електричний струм діє на центральну нервову систему, викликаючи судомні скорочення м'язів та його параліч, що може призвести до смертельного результату;
- підвищений рівень статичної електрики, небезпека удару електричним струмом та електризації, що може призвести до виникнення пожеж та вибухів;
- наявність вибухонебезпечних пар, газів та пилу, що веде до утворення вибухів та пожеж, а також викликає отруєння та подразнення слизових оболонок.

5.1.1 Заходи для забезпечення безпечних умов праці [7]

Для поліпшення умов праці працюючих механізовано та автоматизовано найбільш трудомісткі процеси. Частково механізовані та автоматизовані процеси завантаження компонентів у реактори, промивання кристалів, сушіння, фасування та пакування готового продукту.

Для правильного ведення виробничого процесу на обладнанні та комунікаціях встановлено КВП у всіх точках, передбачених технологічним регламентом.

Прилади для автоматичного регулювання оснащені: реактор хімічного очищення стічних вод, реактор розчинення вуглеамонійної солі, сушарка.

Згідно з правилами на всіх апаратах, що працюють під тиском, встановлені вакуумметри.

Усі мірники, напірні баки та збірники забезпечені вказівниками рівня. КВП встановлені у місцях зручних для спостереження та обслуговування.

Підп. і дата							
інв. № дубл.							
Взам. інв. №							
Підп. і дата							
Інв. № подл.							
З	м	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата	6.133.22.04.00.00.00 ПЗ	Аркуш
							48

При експлуатації технологічного обладнання реконструйованого виробництва передбачено постачання огорожами всі частини обладнання, що обертаються і рухаються. Огородження повинні бути надійними під час експлуатації обладнання. Зубчасті передачі, вали, сполучні муфти, маховики і всякі інші рухомі механізми, якщо вони розташовані на висоті менше 2м від підлоги робочого приміщення, повинні мати суцільну огорожу.

Під час дії механізмів огороження має бути на місці та надійно укріплене; знімати огорожу можна лише після повної зупинки механізмів і коли повністю виключено можливість приведення в дію; пускати механізми можна лише після встановлення на місце всіх огорож.

Забарвлення обладнання, трубопроводів, стін передбачене згідно з ГОСТ 12.4.028-85. Стіни приміщень пофарбовані у світлий колір із жовтуватими панелями. Обладнання забарвлене у блакитний колір, огорожі сходів забарвлено у темний колір. Огородження на частинах механізмів, що обертаються і рухаються, мають забарвлення червоне. Вентилі, заглушки пофарбовані в оранжевий колір.

Трубопроводи із хімічно забрудненими стоками пофарбовані у червоний колір. Господарсько-фекальні води надходять у трубопровід із синім забарвленням. Трубопроводи з артезіанською водою мають зелений колір. До приміщення, де ведеться технологічний процес, в'їзд будь-якого типу транспорту заборонено.

Згідно з ПУЕ по небезпеці ураження електричним струмом приміщення цеху, що реконструюється, відноситься до приміщень з підвищеною небезпекою. З метою попередження можливих випадків ураження електричним струмом передбачені такі заходи: повна ізоляція струмопровідних ліній; застосування для місцевого та переносного освітлення низьковольтної напруги 12÷36В; корпуси всіх електродвигунів, апаратів, комунікацій мають бути заземлені; місця паро- та газовиділень обладнані пристроями, що відсмоктують, які приєднані до витяжних ліній. робоча напруга 380/220В, мережа змінного струму.

Захист від статичної електрики включає такі заходи: відведення зарядів електрики шляхом заземлення обладнання, резервуарів, комунікацій – збільшення відносної вологості повітря у небезпечних зонах до 70%.

Цех, що реконструюється, згідно з СН 305-89, відноситься до III категорії. Для захисту будівлі від первинних проявів блискавки по периметру будівлі встановлюються блискавки. Для захисту будівлі від вторинних проявів блискавки всі підходящі до будівлі трубопроводи заземлюються.

Заходи щодо боротьби з виробничим шумом та вібрацією: розміщення вентиляторів, вакуум-насосів в окремих виробничих ізольованих приміщеннях.

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	інв. № дубл.	Підп. і дата	6.133.22.04.00.00.00 ПЗ					Аркуш
										49
					З	м	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата

Обмеження швидкості обтікання деталей повітрям до 0,3м/с, приєднання повітроводів до вентиляторів через гнучку вставку із прогумованої тканини; встановлення вентиляторів на окремі фундаменти - віброізолювані від підлоги та інші конструкції будівлі. Змащує всі рухомі частини обладнання та механізми, ретельне регулювання обертових частин і механізмів.

До постачання питної води працюючих на промислових підприємствах пред'являються такі санітарні вимоги: температура питної води не вище 20°C і нижче 8°C, відстань від робочих місць до питних установок трохи більше 75 метрів. Пристрій питного водопостачання розміщено у проходах виробничих приміщень та кімнаті відпочинку.

На кожному поверсі встановлені пожежні крани на висоті 1,35 м. від рівня підлоги. Витрата води на гасіння пожежі всередині приміщення прийнята з розрахунку не менше 20л/с.

Очищає викиди в атмосферу від газів, пилу, пари.

Заключний процес отримання вуглекислого марганцю проводиться у вакуум-сушарках, де продукт висушується. В результаті сушіння виділяються водяні пари, пил марганцю вуглекислого, гаряче повітря, яке відсмоктується з вакуум-сушилок і надходить у пастки де відбувається конденсація парів та уловлювання пилу марганцю вуглекислого технічною водою, що подається через нижні штуцери пастки. З бічних штуцерів пастки вода витікає через барометричний бак у каналізацію, а охоложене та очищене повітря з пастки, вакуум-насосом викидається в атмосферу поза цехом.

5.1.2 Опалення [7]

На виробництві вуглекислого марганцю застосовується центральна система опалення. Норми температури, опалення, вологості та швидкості руху повітря у виробничих приміщеннях на робочих місцях наведено у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 Норми температури, опалення, вологості та швидкості руху повітря у виробничих приміщеннях на робочих місцях

Період року	Оптимальні			Допустимі		Допуск т-ри	
	Т-ра пов. °С	Відносна волог., %	Швидк. Руху повітря, м/с	Т-ра пов. °С	Відносна волог., %	Швидк. Руху повітря, м/с	Повітря поза робітнич. місць
Холодний та перехідний	16-18	60-40	до 0,3	15-17	до 75	до 0,5	13-15
Теплий	20-23	60-40	до 0,3	+3-28	до 75	до 0,5	до +3

Підп. і дата	
інв. № дубл.	
Взам. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

З	м	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата
---	---	-------	----------	-------	------

6.133.22.04.00.00.00 ПЗ

Для забезпечення нормальних санітарних умов необхідно: домагатися максимальної герметизації обладнання, влаштувати місцеві відсмоктування, пов'язані з технологічним обладнанням.

5.2 Питання екології та раціонального використання сировини [7]

Защита окружающей среды при изготовлении углекислого марганца специального обеспечивается эффективной вентиляцией. Воздух перед выбросом в атмосферу проходит через мощные орошаемые водой фильтры. Частицы компонента накапливаются на дне фильтров и периодически убирается. Промывные воды с остатком марганца от уборки оборудования и помещений накапливаются в колодцах, которые периодически чистятся. Требования к контролю за содержанием вредных веществ в воздухе рабочей зоны и концентрация вредных веществ – по ГОСТ12.1.005–88.

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	інв. № дубл.	Підп. і дата	6.133.22.04.00.00.00 ПЗ	Аркуш
3 м	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		51

Висновки

В бакалаврській роботі були представлені теоретичні основи процесу, опис технологічної схеми сушки вуглекислого марганцю, опис конструкції апарату та вибір конструкторських матеріалів.

Зроблені технологічні розрахунки процесу та апарату за якими був вбраний стандартний апарат та вибране допоміжне обладнання.

Проведені перевірочні розрахунки, що підтверджують працездатність та безпечність барабанної сушарки.

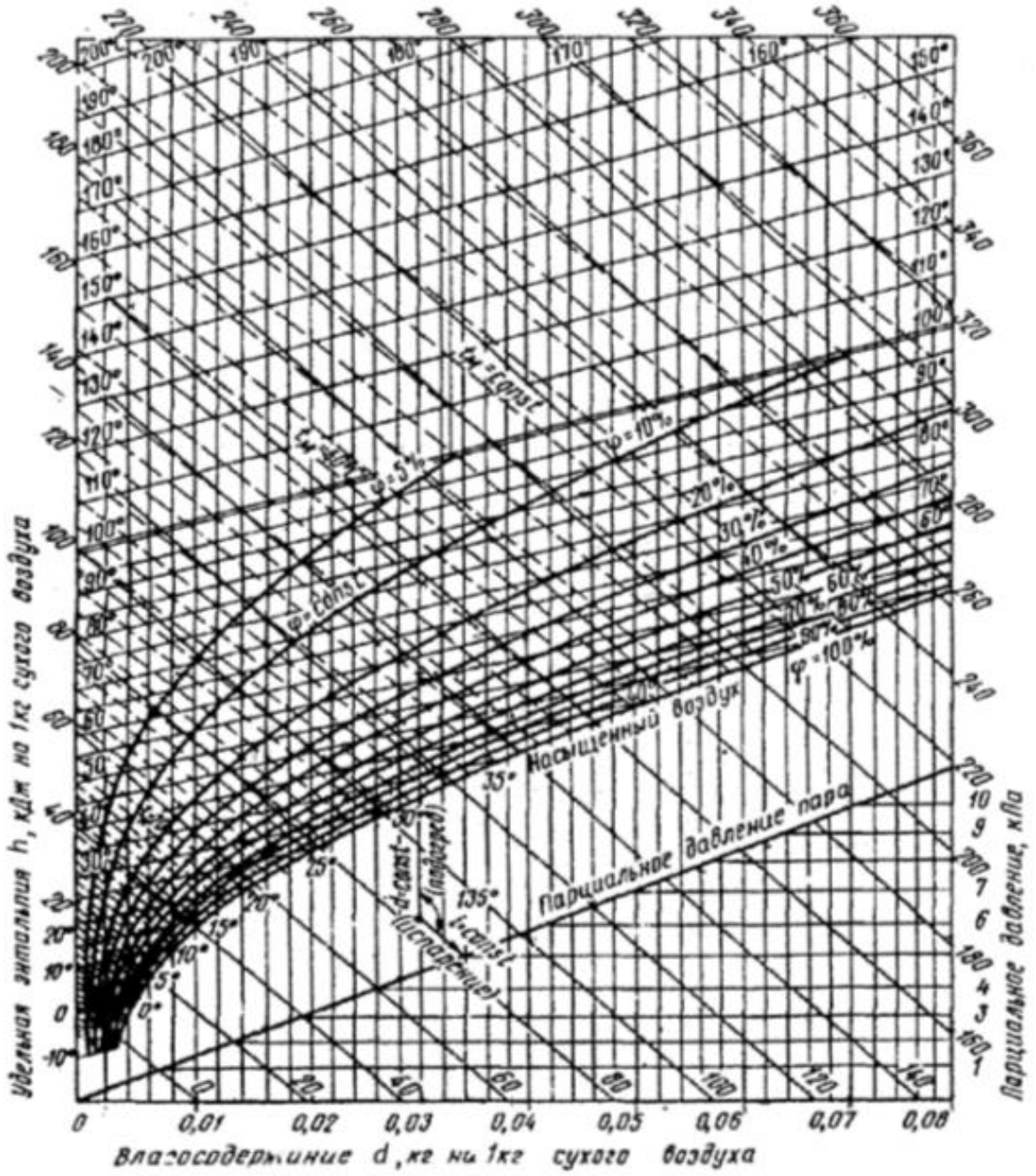
Описаний монтаж та ремонт апарату та основні вимоги з охорони праці.

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	інв. № дубл.	Підп. і дата	3 м	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата	6.133.22.04.00.00.00 ПЗ	Аркуш
											52

Література

1. Плановский А. Н., Рамм В. М., Каган С. З. Процессы и аппараты химической технологии. Москва, Химия, 1968, 848 с.
2. Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Ленинград, Химия, 1987, 576 с.
3. Соколов В. Н. Машины и аппараты химических производств. Примеры и задачи. Ленинград, Машиностроение, 1982, 384 с.
4. Дытнерский Ю. И. Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие по проектированию. Москва, Химия, 1983, 272 с.
5. Джон Г. Перри. Справочник инженера – химика. Ленинград, Химия, 1969, 280 с.
6. Михалев М. Ф. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. Примеры и задачи. Ленинград, Машиностроение, 1984, 640 с.
7. Чечель П. С. Процессы и аппараты химической технологии. Киев, Высшая школа, 1974, 276 с.
8. Лащинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов, Справочник. Ленинград, Машиностроение, 1981, 382 с.
9. Чернобыльский И. И., Тананайко Ю. М. Сушильные установки химической промышленности. Киев, Техника, 1969, 280 с.
10. Муштаев В. И., Ульянов В. М. Сушка дисперсионных материалов. Москва, Химия, 1988, 352 с.

Інв. № подл.	Підп. і дага	Взам. інв. №	інв. № дубл.	Підп. і дага	3 м	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата	6.133.22.04.00.00.00 ПЗ	Аркуш
											53



Діаграма Рамзіна

Інв. № подл.	Підп. і дата
Взам. інв. №	Підп. і дата
інв. № дубл.	Підп. і дата

3	м	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата
---	---	-------	----------	-------	------

6.133.22.04.00.00.00 ПЗ