

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

**Кваліфікаційна робота бакалавра**  
зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» освітня програма  
«Комп'ютерний інжиніринг обладнання хімічних виробництв»

Тема роботи: «Сушильна установка для сушіння хлориду натрія. Розробити барабанну сушарку».

Виконав:  
студент групи ХМ-71  
Ганжа Є.Б.

Залікова книжка № 17510013

Кваліфікаційна робота бакалавра  
захищена на засіданні ЕК  
з оцінкою \_\_\_\_\_  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.  
Підпис голови  
(заступника голови) комісії

Керівник:  
к.т.н., доцент  
Юхименко М.П.



## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 68с., 5 рис., 1 додаток, 11 джерел.

Графічні матеріали: технологічна схема установки, складальне креслення апарату, складальне креслення вузла,- всього 3 аркушів формату А1.

Тема роботи «Сушильна установка для сушіння хлориду натрія. Розробити барабанну сушарку».

Наведено теоретичні основи і особливості процесу сушіння, виконані технологічні розрахунки апарату, визначені його розміри, гідравлічне опір, обґрунтований вибір матеріалу для виготовлення апарату, розраховане і вибрано допоміжне обладнання.

Розрахунками на міцність і герметичність показана надійність роботи запроєктованого апарату.

Ключові слова: АПАРАТ, УСТАНОВКА, ХЛОРИД НАТРІЮ, СУШАРКА БАРАБАННА, РОЗРАХУНОК.

## Зміст

Вступ.....	4
1. Технологічна частина.....	6
1.1 Опис технологічної схеми установки.....	6
1.2 Теоретичні основи процесу.....	7
1.3 Опис конструкції апарату, вибір матеріалів об'єкта розробки .....	10
2. Технологічні розрахунки процесу і апарату.....	13
2.1 Матеріальні та технологічні розрахунки.....	13
2.2 Конструктивні розрахунки.....	19
3. Розрахунки апарату на міцність і герметичність.....	28
3.1 Визначення товщини стінки апарату.....	28
3.2 Визначення товщини опорного бандажа сушарки .....	31
4. Проектні розрахунки.....	35
4.1 Будова і принцип роботи апарату.....	35
4.2 Порівняння конструкції проектуваного апарату з аналогами .....	37
4.3 Конструктивні розрахунки.....	43
4.4 Розрахунок гідравлічного опору сушарки.....	51
4.5 Вибір допоміжного обладнання.....	53
5. Ремонт та монтаж апарата.....	57
5.1 Монтаж апарата.....	57
5.2 Ремонт апарата.....	59
6. Охорона праці.....	61
6.1 Аналіз потенційних небезпек і шкідливостей під час роботи.....	63
Список літератури .....	68

додаток

						XI.C 00.00.00.ПЗ		
ЗМН	Арк.	№ докум.	підпис	Дата				
Розроб.		Ганжа			<b>Сушильна установка</b>	Літ.	Арк.	Акрушіє
Перевір.		Юхименко					3	68
Рецензії.						СумДУ, ХМ-71		
Н. Контр.								
Затверд.								

## Вступ

Видалення вологи з твердих і пастоподібних матеріалів дозволяє здешевити їх транспортування, надати їм необхідні властивості (наприклад, зменшити злежуваність добрив або поліпшити розчинність барвників), а також зменшити корозію апаратури і трубопроводів при зберіганні або подальшій обробці цих матеріалів.

Вологу можна видаляти з матеріалів механічними способами (віджиманням, відстоюванням, фільтруванням, центрифугуванням). Однак більш повне зневоднення досягається шляхом випаровування вологи і відведення утворюються пари, тобто, з допомогою теплового сушіння.

Цей процес широко використовується в хімічній технології. Він часто є останньою операцією на виробництві, що передує випуску готового продукту. При цьому попереднє видалення вологи зазвичай здійснюється більш дешевими механічними способами (наприклад, фільтруванням), а остаточне - сушінням. Такий комбінований спосіб видалення вологи дозволяє підвищити економічність процесу.

У хімічних виробництвах, як правило, застосовується штучна сушка матеріалів в спеціальних сушильних установках, так як природна сушка на відкритому повітрі - процес занадто тривалий.

По своїй фізичній суті сушка є складним дифузійним процесом, швидкість якого визначається швидкістю дифузії вологи з глибини висушується в навколишнє середовище. Як буде показано нижче, видалення вологи при сушінні зводиться до переміщення тепла і речовини (вологи) усередині матеріалу і їх перенесення з поверхні матеріалу в навколишнє середовище. Таким чином, процес сушіння є поєднанням пов'язаних один з одним процесів тепло- і масообміну (вологообміну).

За способом підведення тепла до висушують матеріалу розрізняють наступні види сушіння:

- 1) конвективна сушка - шляхом безпосереднього зіткнення висушуваного матеріалу з сушильним агентом, в якості якого зазвичай використовують нагріте повітря або топкові гази (як правило, в суміші з повітрям);

					ХІ.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
						4
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		

2) контактна сушка - шляхом передачі тепла від теплоносія до матеріалу через розділяє їх стінку;

3) радіаційна сушка - шляхом передачі тепла інфрачервоними променями;

4) діелектрична сушка - шляхом нагрівання в полі струмів високої частоти;

5) сушка сублімації - сушка в замороженому стані при глибокому вакуумі. За способом передачі тепла цей вид сушки аналогічний контактної, але своєрідність процесу змушує сублімаційну сушку виділяти в особливу групу.

Останні три види сушіння застосовуються відносно рідко і зазвичай називаються спеціальними видами сушки.

Висушуваний матеріал при будь-якому методі сушки знаходиться в контакті з вологим газом (в більшості випадків повітрям). При конвективного сушіння вологого газу (що є сушильним агентом) належить основна роль в процесі. Тому вивчення властивостей вологого газу необхідно при розгляді процесів сушіння та їх розрахунках.

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		5

# 1. Технологічна частина

## 1.1 Опис технологічної схеми установки

Принципова схема барабанної сушарки показана на рисунку 1.1.

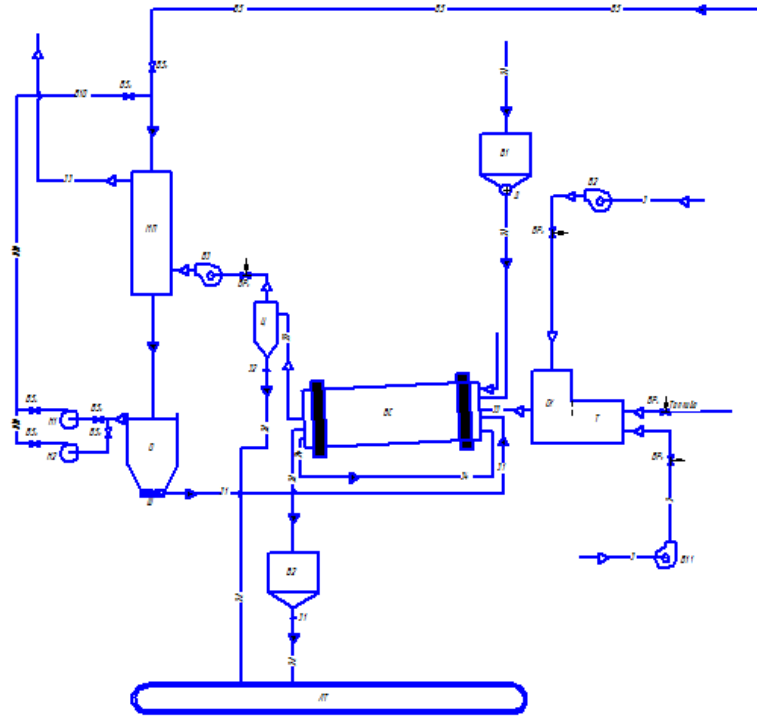


Рисунок 1.1 - Принципова схема барабанної сушарки.

Вихідний продукт надходить в бункер Б1. Потім через дозатор Д подається в барабанну сушарку БС, де відбувається висушування матеріалу топковим газами. Після чого висушений матеріал подається в бункер висушеного матеріалу Б2. Потім пройшовши через затвор 31 подається на стрічковий транспортер ЛТ.

Топкові гази утворюються в топці Т при згорянні палива, яке проходить через вентиль регульований ВР4. Для горіння палива в топку, за допомогою вентилятора В1, подається повітря що проходить через вентиль регульований ВР1. Після згорання палива топкові гази надходять в змішувальну камеру, де вони розбавляються до потрібної температури повітрям, який подається вентилятором В2 через вентиль регульований ВР2.

										Арк.
										6
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата	ХІ.С.00.00.00 ПЗ					

Сушильний агент виходить з камери змішувача та подається в барабанну сушарку БС. Відпрацьований сушильний агент, разом з пилом виводиться з барабана БС і надходить в циклон Ц де під дією відцентрових сил тверді частки осідають і пройшовши затвор надходять на стрічковий транспортер СТ. Газ після циклону проходить вентиль регульований ВРЗ і за допомогою вентилятора ВЗ подається в вологий пиловловлювач ВП для подальшого очищення газів, що відходять, для чого в верхню частину пиловловлювача подається вода, яка проходить вентиль запірний ВЗ1 на своєму шляху. Очищений газ скидається в атмосферу.

Осад, що складається з пилу і води утворився в вологому пиловловлювачі ВП, подається в відстійник. Тут суспензія відстоюється, після чого осад з нижньої частини відстійника за допомогою шнека Ш подається знову в сушильний барабан БС. Освітлена рідина з верхньої частини відстійника проходячи через вентиль запірний ВЗ3 відкачується насосом Н1 і проходячи через запірні вентилі З 2. і ВЗ4 подається в мокрий пиловловлювач як вода. У відстійнику передбачений резервний насос Н2.

## 1.2 Теоретичні основи розроблювального процесу

Сушка різних матеріалів в барабанних сушарках набула широкого поширення завдяки специфіці процесу. По-перше, цим методом можна висушувати зернисті, сипучі, пастоподібні і рідкі матеріали; по-друге, процес протікає дуже інтенсивно. Об'ємний коефіцієнт теплообміну, віднесений до шару матеріалу, дорівнює  $500 \text{ ккал} / (\text{м}^3 \cdot \text{год} \cdot \text{град})$ . Знімання вологи з  $1 \text{ м}^2$  сітки в залежності від дисперсності матеріалу і температурного режиму сушіння дорівнює  $AF = 60-3000 \text{ кг} / (\text{м}^2 \cdot \text{год})$ .

В установках можливо одночасно проводити кілька процесів: сушку і випалення, сушку і класифікацію за розмірами частинок, сушку і гранулювання і т. д. Однак ці сушарки мають і недоліки: підвищена витрата

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						7
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		



електроенергії (а в деяких випадках і палива), невисока інтенсивність процесу при сушінні тонкодисперсних продуктів і ін.

Ці сушарки широко застосовуються в хімічній промисловості для сушіння зернистих, сипучих, а в ряді випадків і пастоподібних матеріалів. Вапняк, пісок, паливо, сульфат амонію, хлористий калій, поліетилен, а також ряд інших продуктів. Внаслідок безперервності процесу сушіння в деяких виробництвах сушарки з киплячим шаром витісняють сушарки барабанного типу (наприклад, при сушінні палив). Переваги цього способу сушіння - в інтенсивному перемішуванні твердих частинок і теплоносія, у великій поверхні контакту фаз і простоті конструкції сушарки.

У барабанних сушарках зазвичай сушиться продукт з розмірами зерен від 0,1 до 5 мм. Як правило, ці сушарки відрізняються високою надійністю. Вони можуть працювати як холодильники для продукту в струмі холодного повітря. Сушарки поділяються за технологічним призначенням на періодичні, напівбезперервні і безперервні. Найбільш поширені сушарки безперервної дії. Сушарки періодичної дії використовуються в основному для дрібних виробництв. По виду теплоносія сушарки поділяються на повітряні, газові. Сушка проводиться гарячим повітрям або гарячими димовими або інертними газами.

При сушінні процес передачі речовини з однієї фази в іншу (тобто випаровування рідини) супроводжується процесом теплопередачі. При цьому температури фаз не однакові. На початку сушіння тепло, яке передається від газоподібного сушильного агента до рідини шляхом конвекції, буде витрачатися на нагрів матеріалу, що висушується.

У міру нагрівання починається випаровування вологи. Кількість випарованої рідини визначиться з відомого рівняння масопередачі:

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		8

$$M = K \cdot F \cdot \Delta X, \text{ кг / м}^2.,$$

де: К - коефіцієнт масопередачі, F - поверхня випаровування, ΔX - рушійна сила масопередачі. Ця кількість рідини переходить у вигляді пари в газову фазу і передає від рідини до газу тепло, відповідне теплоті випаровування рідини. Сушка йде до тих пір, поки виконується умова  $P_m > P_n$ .

Якщо  $P_m = P_n$  процес обміну вологою між матеріалом і газовим середовищем припиняється.

Зв'язок вологи з матеріалом може бути механічним, фізичним і хімічним (гідратірованієм матеріалу). Останній вид вологи зазвичай при сушінні не видаляється, для цього потрібна більш висока температура.

Залежно від температури процесу, на практиці в якості сушить агента найчастіше використовують:

- 1) Сушку підігрітим повітрям;
- 2) Сушку топковим газами.;

Кінетика сушіння багато в чому залежить від напрямку руху агента, тобто розрізняють схеми сушіння:

- 1) при прямотоці, коли висушуваний матеріал і сушительний агент рухаються в одному напрямку;
- 2) при противотоке, коли висушуваний матеріал рухається назустріч сушительному агенту.

Розрізняють два періоди сушки: період постійної швидкості і період падаючої швидкості процесу. Протягом першого періоду волога випаровується з усієї поверхні вологого матеріалу. У цей період швидкість

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		9

сушіння постійна і визначається лише швидкістю зовнішньої дифузії, тобто дифузії парів вологи з поверхні матеріалу в газову фазу.

У промисловості найчастіше застосовують такі типи конвективних сушарок:

- 1) барабанні сушарки;
- 2) розпилювальні сушарки;
- 3) сушарки з киплячим (псевдорідинному) шаром;
- 4) пневматичні сушарки;
- 5) тунельні (коридорні сушарки)

Найбільш поширені барабанні сушарки і сушарки киплячого шару.

### 1.3 Пристрій і принцип роботи апарату

Барабанна сушарка (рис. 1.2) має циліндричний барабан 1, встановлений з невеликим нахилом до горизонту ( $1/15-1/50$ ) і спирається за допомогою бандажів 2 на ролики 3. Барабан приводиться в обертання електродвигуном через зубчасту передачу 4 і редуктор. Число оборотів барабана зазвичай не перевищує 5-8 об/хв; становище його в осьовому напрямку фіксується наполегливими роликами 5. Матеріал подається в барабан живильником 6, попередньо підсушується, перемішуючись лопатями 7 приймально-гвинтовий насадки, а потім надходить на внутрішню насадку, розташовану вздовж майже всієї довжини барабана.

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						10
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		

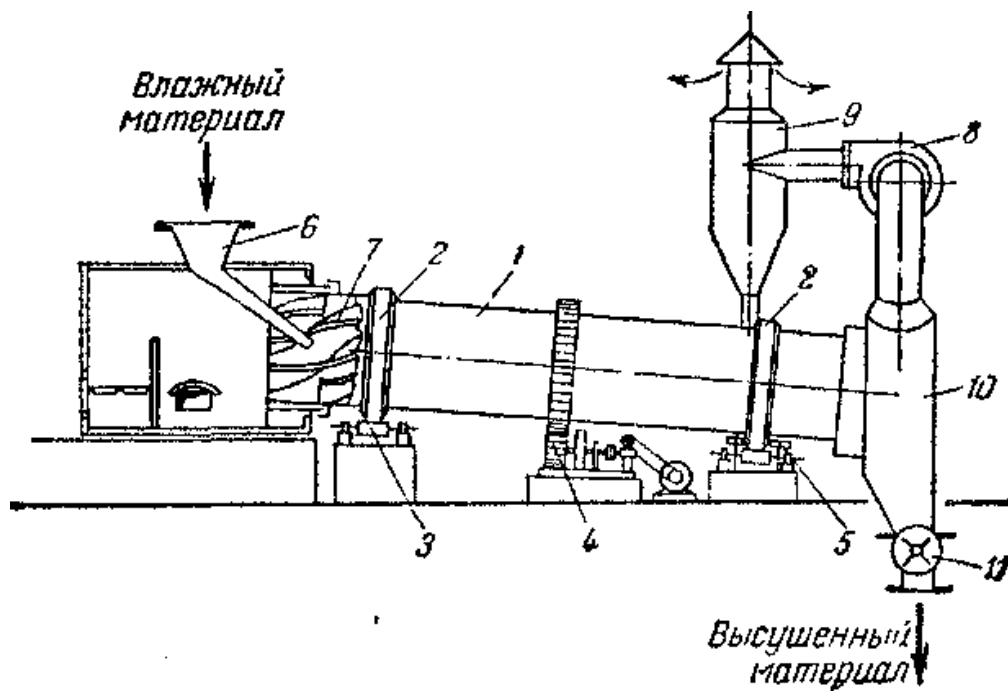


Рисунок 1.2 - Барабанна сушарка:

1 - барабан; 2 - бандажі; 3 - опорні ролики; 4 - передача; 5 - опорно-наполегливі ролики; 6 - живильник; 7 - лопаті; 8 - вентилятор; 9 - циклон; 10 - розвантажувальна камера; 11 - розвантажувальний пристрій.

Насадка забезпечує рівномірний розподіл і добре перемішування матеріалу по перетину барабана, а також його тісне зіткнення при пересипанні з сушильним агентом - топковим газами. Гази і матеріал особливо часто рухаються прямою дорогою, що допомагає уникнути перегріву матеріалу, так як в цьому випадку найбільш гарячі гази стикаються з матеріалом, що має найбільшу вологість. Щоб уникнути посиленого виносу пилу з газами останні просасиваються через барабан вентилятором 8 із середньою швидкістю, що не перевищує 2-3 м/сек. Перед викидом в атмосферу відпрацьовані гази очищаються від пилу в циклоні 9. На кінцях барабана часто встановлюють ущільнюючі пристрої (наприклад, лабіринтові), що затрудняють витік сушильного агента.

ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата

ХІ.С.00.00.00 ПЗ

Арк.

11

У розвантажувального кінця барабана є підпирний пристрій у вигляді суцільного кільця або кільця, утвореного кільцеподібно розташованими поворотними лопатками (у вигляді жалюзі). Призначення цього кільця - підтримувати певний рівень заповнення барабана матеріалом; як правило, ступінь заповнення не перевищує 20%. Час перебування зазвичай регулюється швидкістю обертання барабана і рідше - зміною кута його нахилу. Висушений матеріал видаляється з камери 10 через розвантажувальний пристрій 11, за допомогою якого герметизується камера 10 і запобігає надходження в неї повітря ззовні. Підсосі повітря призвели б до марної збільшення продуктивності і енергії, споживаної вентилятором 8.

Пристрій внутрішньої насадки барабана залежить від розміру шматків і властивостей матеріалу, що висушується.

Підйомно-лопатева насадка використовується для сушки крупнокускових і схильних до налипання матеріалів, а секторная насадка - для малосипкого і крупнокускових матеріалів з великою щільністю. Для дрібнокускових, сильно сипучих матеріалів широко застосовуються розподільні насадки. Сушка тонкоподрібнених, які пилять проводиться в барабанах, що мають перевалочну насадку з закритими осередками. Іноді використовують комбіновані насадки, наприклад підйомно-лопатеву (в передній частині апарату) і розподільну.

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						12
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		

2 Технологічні і проектні розрахунки  
Розрахунок проведений за методами [2,3,5,7,8,9]

2.1 Матеріальні баланси і технологічні розрахунки

Початкові дані:

- висушуваний матеріал – хлорид натрія
- кількість вологого матеріалу -  $G = 10000$  кг / год;
- вологість матеріалу, % мас.,  
початкова - 4,8;  
кінцева - 0,4;
- температура матеріалу, ° С:  
початкова - 25;  
кінцева - 55;
- сушильний агент - топкові гази  
початкова - 200;  
кінцева - 90;

2.1.1 Параметри топкових газів, що подаються в сушарку

В якості палива використовують природний сухий газ наступного складу [в% (об.)]: 92,0 CH<sub>4</sub>; 0,5 C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>; 5 H<sub>2</sub>; 1 CO<sub>2</sub>; 1,5 N<sub>2</sub>.

Теоретична кількість сухого повітря L<sub>0</sub>, що витрачається на спалювання 1 кг палива равно:

$$L_0 = 138 \left[ 0.0179CO + 0.24H_2 + \sum(m + \frac{n}{4})C_m H_n \right] / (12m + n), \quad (2.1)$$

Де склади горючих газів виражені в об'ємних частках. Підставивши відповідні значення, отримаємо:

$$L_0 = 138 \left[ 0.0179 \cdot 0.01 + 0.248 \cdot 0.09 + \left(1 + \frac{4}{4}\right) \cdot \frac{0.92}{12 \cdot 1 + 4} + \left(2 + \frac{6}{4}\right) \times \frac{0.005}{12 \cdot 2 + 6} \right] = 17.68 \text{ кг / кг}$$

Для визначення теплоти згорання палива скористаємося характеристиками горіння простих газів.

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		13

Кількість тепла  $Q_v$ , що виділяється при спалюванні  $1 \text{ м}^3$  газу, так само:

$$Q_v = 0.92 \cdot 35741 + 0.005 \cdot 63797 + 0.05 \cdot 10810 + 0.01 \cdot 12680$$

$$Q_v = 33868 \text{ кДж} / (\text{м}^3)$$

Щільність газоподібного палива:  $\rho_T$

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

Де  $M_i$  - молярна маса палива, кмоль / кг;  $t_T$  - температура палива, що дорівнює  $20^\circ \text{C}$ ;  $v_0$  - молярний об'єм, рівний  $22,4 \text{ м}^3 / \text{кмоль}$ . Підставивши отримаємо:

$$\rho_T = \frac{(0,92 \cdot 16 + 0,005 \cdot 30 + 0,05 \cdot 2 + 0,01 \cdot 28 + 0,015 \cdot 28) \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + 20)}$$

$$\rho_T = 0,65 \text{ кг} / \text{м}^3$$

Кількість тепла, що виділяється при спалюванні  $1 \text{ кг}$  палива:

$$Q = \frac{Q_v}{\rho_T} = \frac{33868}{0.652} = 51945 \text{ кДж} / \text{кг} \quad (2.3)$$

Маса сухого газу, що подається в сушильний барабан, в розрахунку на  $1 \text{ кг}$  палива, що спалюється визначається загальним коефіцієнтом надлишку повітря  $\alpha$ , необхідного для спалювання палива та розведення топкових газів до температури суміші  $t_{см} = 200^\circ \text{C}$ .

Значення  $\alpha$  знаходять з рівняння матеріального і теплового балансів.

Рівняння матеріального балансу:

$$1 + \alpha \cdot L_0 = L_{с.г} + \sum \frac{9n}{12m+n} \cdot C_m H_n \quad (2.4)$$

Де  $L_{с.г}$  - маса сухих газів, що утворюються при згорянні  $1 \text{ кг}$  палива;  
 $C_m H_n$  - масова частка компонентів, при згорянні яких утворюється вода, кг / кг.

					<b>ХІ.С.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						14
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		

Рівняння теплового балансу:

$$Q\eta + c_T t_T + \alpha L_0 I_0 = [L_{с.г} + L_0(\alpha - 1)]i_{с.г} + [\alpha L_0 x_0 + \sum \frac{9n}{12m+n} C_m H_n]i_{п} \quad (2.5)$$

Де  $\eta$  - загальний коефіцієнт корисно дії, що враховує ефективність роботи топки (повноту згоряння палива і т.д.) і втрати тепла топкою в навколишнє середовище, що дорівнює 0,95;  $c_T$  - теплоємність газоподібного палива при температурі  $t_T = 20^\circ \text{C}$ , рівна 1,34 кДж / (КГК);  $I_0$  - ентальпія свіжого повітря, кДж / кг;  $i_{с.г}$  - ентальпія сухих газів, кДж / кг;  $i_{с.г} = c_{с.г} t_{с.г}$ ;  $c_{с.г}$ ,  $t_{с.г}$  - відповідно теплоємність і температура сухих газів:  $c_{с.г} = 1,05$  кДж / КГК,  $t_{с.г} = 200^\circ \text{C}$ ;  $x_0$  - вологовміст свіжого повітря, кг / кг сухого повітря, при температурі  $t_0 = 20,3^\circ \text{C}$  і відносній вологості  $\phi_0 = 65\%$ ;  $i_{п}$  - ентальпія водяної пари, кДж / кг;  $i_{п} = r_0 + c_{п} t_{п}$ ;  $r_0$  - теплота випаровування води при температурі  $0^\circ \text{C}$ , дорівнює 2500 кДж/кг;  $c_{п}$  - середня теплоємність водяної пари, що дорівнює 1,97 кДж / КГК;  $t_{п}$  - температура водяної пари;  $t_{п} = t_{с.г} = t_{с.м} = 200^\circ \text{C}$

Вирішуючи спільно рівняння (4) і (5), отримаємо:

$$Q\eta + c_T t_T - i_{с.г} \left(1 - \sum \frac{9n}{12m+n} C_m H_n\right) - \alpha = \frac{-i_{п} \sum \frac{9n}{12m+n} C_m H_n}{L_0(i_{с.г} + i_{п} x_0 - I_0)} \quad (2.6)$$

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

$$C H_4 = 0,92 \cdot 16 \cdot \frac{273}{[22,4 \cdot 0,652(273 + 20)]} = 0,939;$$

$$C_2 H_6 = 0,005 \cdot 30 \cdot \frac{273}{[22,4 \cdot 0,652(273 + 20)]} = 0,0096;$$

$$H_2 = 0,05 \cdot 2 \cdot \frac{273}{[22,4 \cdot 0,652(273 + 20)]} = 0,0064;$$

Кількість вологи, що виділяється при згорянні 1 кг палива, так само:

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

Коефіцієнт надлишку повітря знаходимо по рівнянню (6):

					<b>ХІ.С.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		15



$$\alpha = \frac{51945 \cdot 0,95 + 1,34 \cdot 20 - 1,05 \cdot 130 \cdot (1 - 2,19) - (200 + 1,97 \cdot 200) \cdot 2,19}{17,68 \cdot [1,05 \cdot 200 + (200 + 1,97 \cdot 200) \cdot 0,01 - 45]} = 9,76$$

Загальна питома маса сухих газів, одержуваних при спалюванні 1 кг палива та розведення топкових газів повітрям до температури суміші 250 °С, дорівнює:

$$G_{с.г} = 1 + \alpha \cdot L_0 - \sum \frac{9n}{12m+n} C_m H_n \quad (2.7)$$

$$G_{с.г} = 1 + 9,76 \cdot 17,68 - 2,19 = 198,4 \text{ кг/кг}$$

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

$$G_{п} = \sum \frac{9n}{12m+n} C_m H_n + \alpha \cdot x_0 \cdot L_0 \quad (2.8)$$

$$G_{п} = 2,19 + 9,76 \cdot 0,01 \cdot 17,68 = 3,48 \text{ кг / кг}$$

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

$$x_1 = \frac{G_{п}}{G_{с.г}}$$

$$x_1 = \frac{3,48}{198,4} = 0,0177$$

Ентальпія газів на вході в сушарку:

$$I_1 = \frac{Q \cdot \eta + c_T \cdot t_T + \alpha \cdot L_0 \cdot I_0}{G_{с.г}} \quad (2.9)$$

$$I_1 = \frac{51945 \cdot 0,95 + 1,34 \cdot 20 + 9,76 \cdot 17,68 \cdot 45}{171,4} = 217,976 \text{ кДж/кг}$$

Оскільки коефіцієнт надлишку повітря  $\alpha$  великий, фізичні властивості газової суміші, яку використовують як сушильного агента, практично не відрізняється від фізичних властивостей повітря. Це дає можливість використання в розрахунках діаграму стану вологого повітря  $I - x$ .

					<b>ХІ.С.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		16

## 2.1.2 Параметри відпрацьованих газів. Витрата сушильного агента.

З рівняння матеріального балансу сушарки визначимо витрата вологи  $W$ , видаляється з матеріалу, що висушується:

$$W = G_H \frac{\omega_H - \omega_K}{100 - \omega_K} \quad (2.10)$$

$$W = 10000 * \frac{4,8 - 0,4}{100 - 0,4} = 441,8 \text{ кг/ч или } 0,123 \text{ кг/с}$$

Кількість висушеного матеріалу:

$$G_K = G_H - W \quad (2.11)$$

$$G_K = 10000 - 441,8 = 9558,2 \text{ кг/ч или } 2,65 \text{ кг/с}$$

Запишемо рівняння внутрішнього теплового балансу сушарки:

$$\Delta = c\theta_1 + q_{\text{доп}} - (q_T + q_M + q_P) \quad (2.12)$$

де  $\Delta$  - різниця між питомими приходом і витратою тепла безпосередньо в сушильній камері,  $z$  - теплоємність вологи у вологому матеріалі при температурі  $\theta_1$ , кДж / (КГК);  $q_{\text{доп}}$  - питома додаткове підведення тепла в сушильну камеру, кДж / кг ваги; при роботі сушарки по нормальному сушильному варіанту  $q_{\text{доп}} = 0$ ;  $q_T$  - питома підведення тепла в сушилку з транспортними засобами, кДж / кг вологи; в даному випадку  $q_T = 0$ ;  $q_M$  - питома підведення тепла в сушильний барабан з висушують матеріалом, кДж / кг вологи;

$$q_M = G_K c_M (\theta_2 - \theta_1) / W$$

де  $c_M$  - теплоємність висушеного матеріалу, рівна 1,421 кДж / КГК;  $\theta_2$  - температура висушеного матеріалу на виході з сушарки, ° С;

$$q_M = 2,65 \cdot 1,421 \cdot (55 - 25) / 0,123 = 918,4 \text{ кДж/кг вологи}$$

$q_P$  - питома втрати тепла в навколишнє середовище, кДж / кг вологи.

					<b>ХІ.С.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						17
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		

Підставивши відповідні значення отримаємо:

$$\Delta = 4,185 \cdot 25 - 918,4 - 1845 \cdot 0,1 = -1945,8 \text{ кДж/кг вологи}$$

Запишемо рівняння робочої лінії сушки:

$$\Delta = I - I_1 / (x - x_1), \text{ или } I = I_1 + \Delta(x - x_1) \quad (2.13)$$

Для побудови робочої лінії сушки на діаграмі Іх необхідно знати координати (х і І) мінімум двох точок. Координати однієї точки відомі:  $x_1 = 0,177, I_1 = 217,976$ .

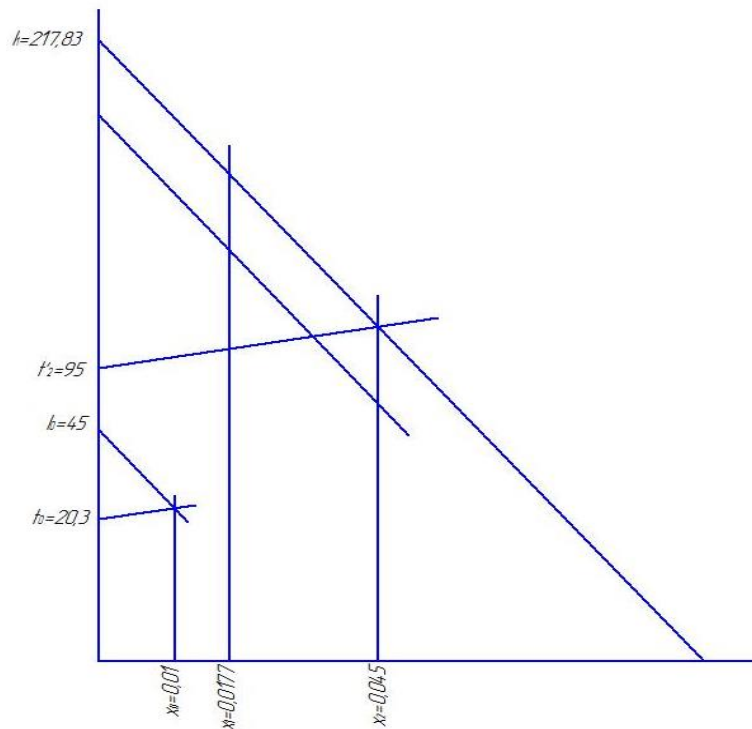


Рисунок 2.1 - Використання діаграми Іх

За діаграмою Іх знайшли  $x_2 = 0,045 \text{ кг / кг}$ ,  $I_2 = 171,11 \text{ кДж / кг}$

Витрата сухого газу:

$$L_{с.г} = \frac{w}{x_2 - x_1} \quad (2.14)$$

$$L_{с.г} = \frac{0,123}{0,045 - 0,0177} = 4,5 \text{ кг/с}$$

					<b>ХІ.С.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		18

Витрата тепла на сушку:

$$Q_c = L_{c.g} \cdot (I_1 - I_0) \quad (2.15)$$

$$Q_c = 4,5 \cdot (217,976 - 45) = 973,69 \text{ кДж/с или } 973 \text{ кВт}$$

Витрата палива на сушку:

$$G_T = \frac{Q_c}{Q}$$

$$G_T = \frac{973,69}{51945} = 0,0187 \text{ кг/с или } 67,48 \text{ кг/год}$$

## 2.2 Конструктивні розрахунки

Основні розміри барабана вибирають за нормативами і каталогами довідників відповідно до обсягу сушильного простору. Обсяг сушильного простору  $V$  складається з обсягу  $V_n$ , необхідного для прогріву вологого матеріалу до температури, при яких починається інтенсивне випаровування вологи (до температури мокрого термометра сушильного агента), і обсягу  $V_c$ , необхідного для проведення процесу випаровування вологи, тобто .:

$$V = V_c + V_n$$

Обсяг сушильного простору може бути обчислений за модифікованим рівнянням масопередачі:

$$V_c = \frac{W}{K_v \cdot \Delta x'_{cp}} \quad (2.17)$$

де  $\Delta x'_{cp}$  - середня рушійна сила масопередачі, кг вологи / м<sup>3</sup>;  $K_v$  - об'ємний коефіцієнт масопередачі, 1/с.

При сушінні кристалічних матеріалів відбувається видалення поверхневої вологи, тобто, процес протікає в першому періоді сушіння, коли швидкість процесу визначається тільки зовнішнім дифузійним опором. При

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		19

паралельному русі матеріалу і сушильного агента температура вологого матеріалу дорівнює температурі мокрого термометра. У цьому випадку коефіцієнт масопередачі чисельно рівний коефіцієнту массоотдачи  $K_v = \beta_v$ .

Для барабанної сушарки коефіцієнт массоотдачи  $\beta_v$  може бути обчислений по емпіричному рівнянню:

$$\beta_v = 1,62 \cdot 10^{-2} \cdot (\omega \rho_{cp})^{0,9} \cdot n^{0,7} \cdot \beta^{0,54} \cdot P_0 / [c \rho_{ch} (P_0 - P)] \quad (2.18)$$

де  $\rho_{cp}$  - середня щільність сушильного агента, кг / м<sup>3</sup>;  $c$  - теплоємність сушильного агента при середній температурі в барабані, що дорівнює 1 кДж / КГК;  $\beta$  - оптимальне заповнення барабана висушують матеріалом, %;  $P_0$  - тиск, при якому здійснюється сушка, Па;  $p$  - середнє паріальное тиск водяної пари в сушильному барабані, Па.

Дане рівняння справедливо для значень  $\omega \rho_{cp} = 0,6-1,8$  кг / м<sup>2</sup>с,  $n = 1,5-5,0$  об / хв,  $\beta = 10-25\%$

Робоча швидкість сушильного агента в барабані залежить від дисперстності і щільності матеріалу, що висушується. Для вибору робочих швидкостей ( $\omega$ , м / с) при сушінні монодисперсних матеріалів можна керуватися даними, наведеними в табл. 9.1. [1].

Для частинок насипною щільністю  $\rho_m = 860$  кг/м<sup>3</sup> зазвичай приймають швидкість газів в барабані  $\omega = 1$  м/ с

Щільність сушильного агента при середній температурі в барабані:

$$t_{cp} = \frac{200 + 90}{2} = 145^\circ\text{C}$$

Практично відповідає щільності повітря при цій температурі:

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						20
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		

$$\rho_{\text{cp}} = \frac{M}{v_0} \cdot \frac{T_0}{T_0 + t}$$

$$\rho_{\text{cp}} = \frac{29}{22,4} \cdot \frac{273}{273 + 145} = 0,789 \text{ кг/м}^3$$

При цьому

$$\omega \rho_{\text{cp}} = 1 \cdot 0,789 = 0,789 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}$$

що чи не порушує справедливості рівняння.

Частота обертання барабана зазвичай не перевищує 5-8 об / хв;  
приймаємо  $n = 5$  об / хв.

Оптимальне заповнення барабанависушіваним матеріалом  $\beta$  для різних конструкцій перевалочних пристроїв по-різному. Для даної конструкції сушильного барабана  $\beta = 12\%$ .

Процес сушіння здійснюється при атмосферному тиску, тобто. При  $P_0 = 105$  Па. Парціальний тиск водяної пари в сушильному барабані визначимо як середньоарифметичну величину між парціальними тисками на вході газу в сушарку і на виході з неї.

Парціальний тиск водяної пари в газі визначимо за рівнянням:

$$p = \left( \frac{x}{M_B} \right) \cdot \frac{P_0}{\frac{1}{M_{\text{с.в}}} + \frac{x}{M_B}} \quad (2.19)$$

Тоді на вході в сушарку

$$p_1 = \left( \frac{0,0177}{18} \right) \cdot \frac{10^5}{\frac{1}{29} + \frac{0,0177}{18}} = 2773,464 \text{ Па}$$

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		21

На виході з сушарки

$$p_2 = \left(\frac{0,045}{18}\right) \cdot \frac{10^5}{\frac{1}{29} + \frac{0,045}{18}} = 6759,907 \text{ Па}$$

Звідси:

$$p = (p_1 + p_2)/2$$

$$p = \frac{2773,464 + 6759,907}{2} = 4766,685 \text{ Па}$$

Таким чином, об'ємний коефіцієнт масоотдачі дорівнює:

$$\beta_v = 1,62 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{0,789^{0,9} \cdot 5^{0,7} \cdot 12^{0,54} \cdot 10^5}{1 \cdot 0,877 \cdot (10^5 - 4766,685)} = 0,203 \text{ с}^{-1}$$

Рушійну силу масопередачі  $\Delta x'_{\text{ср}}$  визначимо за рівнянням:

$$\Delta x'_{\text{ср}} = \frac{\Delta x'_6 - \Delta x'_m}{\ln \frac{\Delta x'_6}{\Delta x'_m}} = \frac{\Delta P_{\text{ср}} \cdot M_v}{P_0 \cdot v_0 \cdot (T_0 + t_{\text{ср}}) / T_0} \quad (2.20)$$

де  $\Delta x'_6 = x^* 1 - x'1$  - рушійна сила на початку процесу сушіння, кг / м<sup>2</sup>;  
 $\Delta x'_m = x^* 2 - x'1$  - рушійна сила в кінці процесу сушіння, кг / м<sup>3</sup>;  $x^* 1$ ,  $x^* 2$  -  
 рівноважний вміст вологи на вході в сушарку і на виході з неї, кг / м<sup>3</sup>.

Середня рушійна сила  $\Delta P_{\text{ср}}$ , виражається через одиниці тиску (Па),  
 дорівнює:

$$\Delta P_{\text{ср}} = \frac{\Delta P_6 - \Delta P_m}{\ln \frac{\Delta P_6}{\Delta P_m}} \quad (2.21)$$

Для прямолинійного руху сушильного агента і висушується маємо: -  
 рушійна сила на початку процесу сушіння, Па; - рушійна сила в кінці процесу  
 сушіння, Па; , - давоєніє насичених парів над вологим матеріалом на початку  
 і в кінці процесу сушіння, Па.  $\Delta P_6 = p_1^* - p_1 \Delta P_m = p_2^* - p_2 p_1^* p_2^*$

Значення і визначають по температурі мокрого термометра сушильного  
 агента на початку (tm1) і в кінці (tm2) процесу сушіння. За діаграмою Іх  
 знайдемо: tm1 = 55 ° С, tm2 = 52 ° С; при цьому, Тоді  $p_1^* p_2^* p_1^* =$   
**9581,604 Па**  $p_2^* = 8197,95 \text{ Па}$ .

					<b>ХІ.С.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		22

$$\Delta P_{\text{cp}} = \frac{(9581,604 - 2773,464) - (8197,95 - 6759,907)}{\ln((9581,604 - 2773,464)/(8197,95 - 6759,907))} = 3453,804 \text{ Па}$$

Висловимо рушійну силу в кг / м<sup>3</sup> за рівнянням

$$\Delta x'_{\text{cp}} = \frac{3453,804 \cdot 18}{10^5 \cdot 22,4 \cdot (273 + 145)/273} = 0,0088 \text{ кг/м}^3$$

Обсяг сушильного барабана знаходимо, необхідний для проведення процесу випаровування вологи, без урахування апарату, необхідного на прогрів вологого матеріалу, знаходимо за рівнянням

$$V_c = \frac{0,123}{0,203 \cdot 0,0088} = 53,9 \text{ м}^3$$

Обсяг сушарки, необхідний для прогріву вологого матеріалу, знаходять за модифікованим рівнянням теплопередачі:

$$V_{\text{п}} = \frac{Q_{\text{п}}}{K_v \cdot \Delta t_{\text{cp}}} \quad (2.22)$$

Де  $Q_{\text{п}}$  - витрата тепла на прогрів матеріалу до температури  $t_{\text{м1}}$ , кВт; - об'ємний коефіцієнт теплопередачі, кВт / м<sup>3</sup>К;  $\Delta t_{\text{cp}}$  - середня різниця температур, град. $K_v$

Витрата тепла  $Q_{\text{п}}$  дорівнює:

$$Q_{\text{п}} = G_{\text{к}} c_{\text{м}} (t_{\text{м1}} - \theta_1) + W_{\text{в}} c_{\text{в}} (t_{\text{см1}} - \theta_1) \quad (2.23)$$

$$Q_{\text{п}} = 2,65 \cdot 1,421 \cdot (55 - 25) + 0,123 \cdot 4,185 \cdot (55 - 25) = 208,388 \text{ кВт}$$

Об'ємний коефіцієнт теплопередачі визначають по емпіричному рівнянню:

$$K_v = 16(\omega \rho_{\text{cp}})^{0,9} n^{0,7} \beta^{0,54} \quad (2.24)$$

$$K_v = 16 \cdot 0,789^{0,9} \cdot 5^{0,7} \cdot 12^{0,54} = 167,8277 \text{ Вт/м}^3\text{К} \text{ или } 0,168 \text{ кВт/м}^3\text{К}$$

Для обчислення  $\Delta t_{\text{cp}}$  необхідно знайти температуру сушильного агента  $t_x$ , до якої він охолоне, віддаючи тепло на нагрівання матеріалу, що

					<b>ХІ.С.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						23
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		



висушується до  $t_{m1}$ . Цю температуру можна визначити з рівняння теплового балансу:

$$Q_{\text{п}} = L_{\text{с.г}}(1 + x_1)c_{\text{г}}(t_1 - t_x) \quad (2.25)$$

$$208,3879 = 8,9(1 + 0,0177)1,05(200 - t_x)$$

$$t_x = 188,6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Середня різниця температур дорівнює:

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{(t_1 - \theta_1) + (t_x - t_{m1})}{2} \quad (2.26)$$

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{(200 - 25) + (188,6 - 55)}{2} = 165,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Підставами отримане значення в рівняння:

$$V_{\text{п}} = \frac{208,388}{0,168 \cdot 165,8} = 7, \text{ м}^3$$

Загальний обсяг сушильного барабана:

$$V = 53,9 + 7,4 = 61,3 \text{ м}^3$$

При відсутності розрахункових залежностей для визначення коефіцієнтів масо-і теплопередачі обсяг сушильного барабана може бути орієнтовно визначено за допомогою об'ємного напруги по волозі  $A_v$ , кг / м<sup>3</sup>год. При використанні величини  $A_v$  обсяг сушильного барабана сушильного барабана розраховують за рівнянням

$$V = \frac{3600W}{A_v} \quad (2.27)$$

де  $A_v = 8$  кг / м<sup>3</sup>год

$$V = \frac{441,8}{8} = 55,2 \text{ м}^3$$

Розбіжність з результатом, отриманим при використанні кінетичних закономірностей, з відмінностями параметрів сушильного агента, що істотно

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						24
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		

відбивається на рушійну силу сушки. Цей результат задовільно збігається з отриманим в прикладі.

Далі за довідковими даними знаходимо основні характеристики барабанної сушарки - довжину і діаметр.

У табл. 9.3 [1] наведені основні характеристики барабанних

сушарок, що випускаються заводами «Уралхиммаш» і «Прогрес». По таблиці вибираємо барабанну сушилку №7208 з наступними характеристиками: об'єм  $V = 86,2 \text{ м}^3$ , діаметр  $d = 2,8 \text{ м}$ , довжина  $l = 14 \text{ м}$ .

Визначимо дійсну швидкість газів в барабані:

$$\omega_{\text{д}} = \frac{v_{\text{г}}}{0,785d^2} \quad (2.28)$$

Об'ємна витрата вологого сушильного агента на виході з барабана (в  $\text{м}^3 / \text{с}$ ) дорівнює:

$$v_{\text{г}} = L_{\text{с.г}} v_0 \frac{(T_0 + t_{\text{ср}})}{T_0} \left( \frac{1}{M_{\text{с.г}}} + \frac{x_{\text{ср}}}{M_{\text{в}}} \right) \quad (2.29)$$

де  $x_{\text{ср}}$  - середній вміст води в сушильній агенті,  $\text{кг} / \text{кг}$  сухого повітря. Підставивши отримаємо:

$$v_{\text{г}} = 8,9 \cdot 22,4 \frac{273+145}{273} \cdot \left( \frac{1}{29} + \frac{0,0314}{18} \right) = 9,7 \text{ м}^3 / \text{с}$$

тоді:

$$\omega_{\text{д}} = \frac{9,7}{0,785 \cdot 2,8^2} = 1,55 \text{ м/с}$$

Визначимо середній час перебування матеріалу в сушарці:

$$\tau = \frac{G_{\text{м}}}{G_{\text{к}} + W/2} \quad (2.30)$$

Кількість що знаходиться в сушарці матеріалу (в  $\text{кг}$ ) дорівнює:

$$G_{\text{м}} = V \beta \rho_{\text{м}}$$

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						25
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		



$$\omega_{c.B} = \frac{2,6 \cdot 10^{-5}}{0,3 \cdot 10^{-3} \cdot 0,86} \left( \frac{997,23}{18 + 0,575(\sqrt{597,23})} \right)$$

$$\omega_{c.B} = 2,875 \text{ м/с}$$

Робоча швидкість сушильного агента в сушарці менше, ніж швидкість виносу частинок меншого розміру, тому розрахунок основних розмірів сушильного барабана закінчуємо.

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		27

### 3,Розрахунки на міцність апарату

Розрахунок проведений за методиками [7.8.9]

#### 3.1 Визначення товщини стінки апарату

Початкові дані:

внутрішній діаметр  $D = 2800$  мм;

середня температура середовища в апараті  $t = 145$  °С;

матеріал апарату - листовий прокат зі сталі 12Х18ХН10Т;

швидкість корозії  $\Pi = 0,01$  мм/рік;

термін експлуатації  $\tau = 10$  років.

Допустима напруга:

в робочому стані

При розрахунку сушильного барабана необхідно визначити товщину стінки і прогин барабана. Барабан розглядається як балка, вільно лежить на двох опорах. Вага барабана, насадки, бандажів, що завантажуються і ізоляції являє собою рівномірно розподілене навантаження на довжині барабана, вага венцової шестерні - зосереджену силу.

Товщину стінки барабана вибирають по каталогу або попередньо розраховують за емпіричною формулою

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

$$\delta = (0,007...0,011) \cdot 2,8 = 0,02...0,031 \text{ м,}$$

приймаємо  $\delta = 0,02 \text{ м} = 20 \text{ мм}$ .

Маса матеріалу в сушильній барабані

$$G_m = 0,785 \cdot D^2 \cdot L_{\delta} \cdot \beta \cdot \rho \quad (3.2)$$

$$G_m = 0,785 \cdot 2,8^2 \cdot 12 \cdot 0,15 \cdot 1160 = 12850 \text{ кг.}$$

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		28

маса барабана

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

$$G_{\text{бар}} = 3,14 \cdot 2,8^2 \cdot 0,02 \cdot 7800 \cdot 12 = 75920 \text{ кг.}$$

маса ізоляції

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

де  $\delta_3 = 0,1$  м - товщина ізоляції, яка приймається в межах  $\delta_3 = 0,1 \dots 0,2$  м;  $\rho_3 = 250$  кг / м<sup>3</sup> - щільність ізоляції (табл. XXVIII) [2]

$$G_{\text{из}} = 3,14 \cdot (2,8 + 2 \cdot 0,02) \cdot 0,1 \cdot 250 \cdot 12 = 1914 \text{ кг}$$

сумарне навантаження

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

$$p = (12850 + 1914 + 70920) \cdot 9,81 = 564 \cdot 10^3 \text{ Н} = 0,564 \text{ МН.}$$

Питома навантаження на довжині барабана

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

$$q = \frac{0,564}{12} = 47 \cdot 10^{-3} \text{ МН / м.}$$

Відстань між опорами

$$l_0 = 0,586 \cdot L_{\text{б}} = 0,586 \cdot 12 = 7,03 \text{ м.}$$

Згинальний момент від рівномірно розподіленого навантаження

$$M_1 = \frac{q \cdot l_0^2}{8} \quad (3.7)$$

$$M_1 = \frac{47 \cdot 10^{-3} \cdot 7,03^2}{8} = 0,085 \text{ МН} \cdot \text{м.}$$

					<b>ХІ.С.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						29
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		

Для діаметра барабана  $D = 2,8$  м вага венцової шестерні (див. С. 163) [5]:  
 $P_{\text{венц}} = 13000$  Н.

Згинальний момент від зосередженого навантаження венцової шестерні.

$$M_2 = \frac{P_{\text{венц}} \cdot l_0}{4} \quad (3.8)$$

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

Сумарний вигинальний момент

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

$$M_{\text{и}} = 0,85 + 0,023 = 0,108 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

Крутний момент на барабані

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

$$M_{\text{кр}} = \frac{24 \cdot 10^{-3} \cdot 60}{2 \cdot 3,14 \cdot 3,2} = 0,072 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

Розрахунковий (наведений) момент

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

$$M_p = 0,35 \cdot 0,108 + 0,65 \cdot \sqrt{0,108^2 + 0,072^2} = 0,122 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Момент опору перетину кільцевої стінки барабана

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

$$W = 0,785 \cdot 2,8^2 \cdot 0,02 = 0,123 \text{ м}^3.$$

Напруга в стінці барабан

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

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						30
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		

$$\sigma_u = \frac{0,122}{0,123} = 0,99 \text{ МН / м}^2,$$

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

Кільцевий момент інерції стінки барабана

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

$$I = \frac{3,14}{8} (2,8 + 0,02)^3 \cdot 0,02 = 0,1515 \text{ М}^4.$$

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

Прогин барабана від рівномірно розподіленого навантаження

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

$$f_1 = \frac{5 \cdot 47 \cdot 10^{-3} \cdot 7,03^4}{384 \cdot 1,9 \cdot 10^5 \cdot 0,1515} = 0,45 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

Прогин під дією сили ваги венцової шестерні

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

$$f_2 = \frac{13000 \cdot 10^{-6} \cdot 7,03^3}{48 \cdot 1,9 \cdot 10^5 \cdot 0,1515} = 0,1 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

Згинальний прогин

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

$$f = (0,45 + 0,1) \cdot 10^{-4} = 0,55 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

Допустимий прогин

$$[f] = 0,0003 \cdot l_o = 0,0003 \cdot 7,03 = 211 \cdot 10^{-4} \text{ м,}$$

тобто умова жорсткості барабана виконується.

### 3.2 Визначення товщини опорного бандажа сушарки

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						31
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		



Бандажі служать для передачі тиску від ваги барабана і завантаженого в нього матеріалу на опорні ролики. Бандажі представляють собою кільця прямокульно або коробчатого перетину. Для барабанів з  $D > 1,0$  мнайчастіше застосовують вільне кріплення бандажів, які надягають на чавунні або сталеві черевики. Башмаки повернені наполегливими головками в різні боки для попередження осьового зсуву бандажа.

Реакцію опорного ролика визначаємо за формулою

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

$$R_p = \frac{(0,164 + 0,013) \cdot \cos 3^\circ 42'}{2 \cdot 2 \cdot \cos 15^\circ} = 0,046 \text{ МН},$$

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

Діаметр опорного ролика

$$d_p = \frac{D}{3 \dots 4} = \frac{2800}{3 \dots 4} = 933 \dots 700 \text{ мм},$$

приймаємо  $d_p = 700$  мм.

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

Матеріал черевика і роликів - Сталь 45 Л, Модуль пружності якої  $E_1 = E_2 = 2 \cdot 10^5$  МПа, допустиме напруження на вигин  $[\sigma_i] = 50$  МПа, допустиме контактне напруження  $[\sigma_{\text{до}}] = 500$  МПа (див. С. 256) [4].

Кут між черевиками

$$j = \frac{2 \cdot \pi}{n_b} \quad (3.20)$$

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

Число черевиків в одному квадраті

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		32

$$n_{61} = \frac{n_6 - 2}{4} \quad (3.21)$$

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

приймаємо  $n_{61} = 2$ .

Сила, що діє на найнижчий черевик

$$Q_0 = \frac{4 \cdot R_{0п}}{n_6} \quad (3.22)$$

$$Q_0 = \frac{4 \cdot 46}{8} = 23 \text{ кН.}$$

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

$$D_{\text{ср.б}} = 1,2 \cdot D_{\text{н}} \quad (3.23)$$

$$D_{\text{ср.б}} = 1,2 \cdot (2,8 + 2 \cdot 0,02) = 3,4 \text{ м} = 3400 \text{ мм;}$$

$$R_{\text{ср}} = \frac{D_{\text{ср.б}}}{2} \quad (3.24)$$

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						33
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		

$$R_{cp} = \frac{3400}{2} = 1700 \text{ мм} = 1,7 \text{ м.}$$

Згинальний момент в місцях докладання зусиль по формулі 3.154 [4]

$$M_{o0} = -\frac{Q_0 \cdot R_{cp}}{2 \cdot \pi} \cdot \left(1 + \frac{1}{\cos \beta} - (\pi - \beta) \cdot \operatorname{tg} \beta\right) \quad (3.25)$$

$$M_{o0} = -\frac{23 \cdot 1,7}{2 \cdot 3,14} \cdot \left(1 + \frac{1}{\cos 150^\circ} - (3,14 - 2,61) \cdot \operatorname{tg} 150^\circ\right) = -0,65 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_{o1} = -\frac{Q_1 \cdot R_{cp}}{\pi} \cdot \left(1 - \frac{\cos \Theta_1}{\cos \beta} - (\pi - \Theta_1) \cdot \sin \Theta_1 + (\pi - \beta) \cdot \cos \Theta_1\right) \quad (3.26)$$

$$M_{o1} = -\frac{16,3 \cdot 1,7}{3,14} \cdot \left(1 - \frac{\cos 135^\circ}{\cos 150^\circ} - (3,14 - 2,355) \cdot \sin 135^\circ + (3,14 - 2,61) \cdot \cos 135^\circ \cdot \operatorname{tg} 150^\circ\right) = 0,91 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

Сумарний вигинає момент в ключовому перетині

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

Ширина бандажа за формулою 3.163 [10] при  $D_{н.б} > D_{ср.б}$  ( $D_{н.б} = 2,9 \text{ м}$ )

$$b = 0,59^2 \cdot \frac{R_p \cdot E_1 \cdot E_2 \cdot 2 \cdot (D_{н.б} + d_p)}{[\sigma_k]^2 \cdot (E_1 + E_2) \cdot D_{н.б} \cdot d_p} \quad (3.27)$$

$$b = 0,59^2 \cdot \frac{0,046 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 2 \cdot (2,8 + 0,55)}{500^2 \cdot (2 \cdot 10^5 + 2 \cdot 10^5) \cdot 2,8 \cdot 0,55} = 0,137 \text{ м} = 137 \text{ мм},$$

приймаємо  $b = 140 \text{ мм}$ .

Висота перерізу бандажа

$$h_б = \sqrt{\frac{6 \cdot M_{\max}}{b \cdot [\sigma_{и}]}} \quad (3.28)$$

$$h_б = \sqrt{\frac{6 \cdot 0,26 \cdot 10^3}{0,04 \cdot 50 \cdot 10^6}} = 0,149 \text{ м} = 149 \text{ мм},$$

приймаємо  $h_б = 150 \text{ мм}$

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		34

## 4. Проектні розрахунки

Розрахунки проведені за методиками [4,7,8]

### 4.1 Будова і принцип роботи апарату

Барабанна сушарка (рис. 4.1) має циліндричний барабан 1, встановлений з невеликим нахилом до горизонту (1/15-1/50) і спирається за допомогою бандажів 2 на ролики 3. Барабан приводиться в обертання електродвигуном через зубчасту передачу 4 і редуктор. Число оборотів барабана зазвичай не перевищує 5-8 об/хв; становище його в осьовому напрямку фіксується напологливими роликами 5. Матеріал подається в барабан живильником 6, попередньо підсушеним, перемішуючись лопатями 7 приймально-гвинтової насадки, а потім надходить на внутрішню насадку, розташовану вздовж майже всієї довжини барабана.

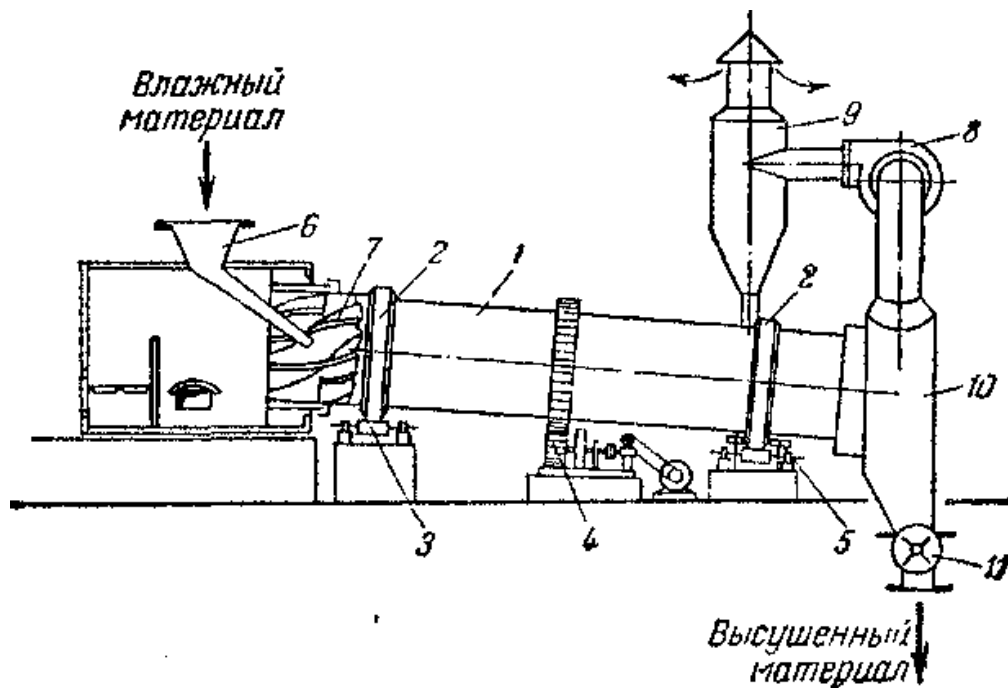


Рисунок 4.1 - Барабанна сушарка:

1 - барабан; 2 - бандажі; 3 - опорні ролики; 4 - передача; 5 - опорно-напологливі ролики; 6 - живильник; 7 - лопаті; 8 - вентилятор; 9 - циклон; 10 - розвантажувальна камера; 11 - розвантажувальний пристрій.

ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата

ХІ.С.00.00.00 ПЗ

Арк.

35

Насадка забезпечує рівномірний розподіл і хороше перемішування матеріалу по перетину барабана, а також його тісне зіткнення при пересипанні з сушильним агентом - топковим газами. Гази і матеріал особливо часто рухаються прямоютоком, що допомагає уникати перегріву матеріалу, так як в цьому випадку найбільш гарячі газы стикаються з матеріалом, що має найбільшу вологість. Щоб уникнути посиленого виносу пилу з газами останні просочуються через барабан вентилятором 8 із середньою швидкістю, що не перевищує 2-3 м/сек. Перед викидом в атмосферу відпрацьовані газы очищаються від пилу в циклоні 9. На кінцях барабана часто встановлюють ущільнюючі пристрої (наприклад, лабіринтові), що затрудняють витік сушильного агента.

У розвантажувального кінця барабана є підпирні пристрій у вигляді суцільного кільця або кільця, утвореного кільцеподібними розташованими поворотними лопатками (у вигляді жалюзі). Призначення цього кільця - підтримувати певний рівень заповнення барабана матеріалом; як правило, ступінь заповнення не перевищує 20%. Час перебування зазвичай регулюється швидкістю обертання барабана і рідше - зміною кута його нахилу. Висушений матеріал видаляється з камери 10 через розвантажувальний пристрій 11, за допомогою якого герметизується камера 10 і унеможливує надходження в неї повітря ззовні. Підсоси повітря призвели б до марного збільшення продуктивності і енергії, споживаної вентилятором 8.

Пристрій внутрішньої насадки барабана залежить від розміру шматків і властивостей матеріалу, що висушується.

Підйомно-лопатова насадка використовується для сушки великошматкових і схильних до налипання матеріалів, а секторна насадка - для малосипкого і великошматкових матеріалів з великою щільністю. Для

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						36
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		

дрібношматкових, сильно сипучих матеріалів широко застосовуються розподільні насадки. Сушка тонкоподрібнених, які пилять проводиться в барабанах, що мають перевалочну насадку з закритими осередками. Іноді використовують комбіновані насадки, наприклад підйомно-лопатову (в передній частині апарату) і розподільну.

#### 4.2 Порівняння конструкції проектного апарату з аналогами

По своїй фізичній суті сушка є складним дифузійним процесом, швидкість якого визначається швидкістю дифузії вологи з глибини матеріалу в навколишнє середовище. Як буде показано нижче, видалення вологи при сушінні зводиться до переміщення тепла і речовини волога вітру матеріалу і їх перенесення з поверхні матеріалу в навколишнє середовище. Таким чином, процес сушіння є поєднанням пов'язаних один з одним процесів тепло - і масообміну (вологодобміну). За способом підведення тепла до висушуваного матеріалу розрізняють наступні види сушіння:

1) конвективна сушка - шляхом безпосереднього зіткнення висушуваного матеріалу з сушильним агентом, в якості якого зазвичай використовують нагріте повітря або топкові гази (як правило, в суміші з повітрям);

2) контактна сушка - шляхом передачі тепла від теплоносія до матеріалу через розділяючу їх стінку:

3) радіаційна сушка - шляхом передачі тепла інфрачервоними променями;

4) діелектрична сушка- шляхом нагрівання в полі струмів високої частоти,

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						37
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		

5) сушка сублімації - сушка в замороженому стані при глибокому вакуумі. За способом передачі тепла цей вид сушки аналогічний контактній, але своєрідність процесу змушує сублімаційну сушку виділяти в особливу групу.

Для організації процесу сушіння таких продуктів застосовують спеціальні сушильні апарати: вакуум-гребкові, барабанні, вальцьові сушарки, сушарки з фонтануючим і псевдозрідженим шаром.

Стратегія вибору оптимального апаратно-технологічного оформлення процесу сушіння конкретного матеріалу повинна включати шість основних етапів: 1) комплексний аналіз матеріалу як об'єкта сушіння; 2) визначення типу сушарки на основі комплексного аналізу та наявних класифікацій сушильних апаратів; 3) визначення оптимального режиму сушки з урахуванням технологічних вимог до якості висушеного продукту; 4) розрахунок апарату з урахуванням необхідної продуктивності; 5) забезпечення екологічної та виробничої безпеки технологічного процесу; 6) економічний розрахунок.

Сушарки, які працюють за принципом зваженого шару матеріалу, є найбільш прогресивними серед установок для сушіння не тільки дрібно-, грубодисперсних сипучих матеріалів, а й грудкують, пастоподібних речовин, а також для зневоднення розчинів і суспензій.

У процесі сушіння у завислому шарі значно збільшується площа контакту між сушильним агентом і частинками речовини, що, в свою чергу, інтенсифікує швидкість випаровування вологи з матеріалу і скорочує до декількох хвилин тривалість сушіння. Висока інтенсивність тепломасообмінних процесів забезпечує компактність установки і скорочення виробничих площ, а можливість повної автоматизації дозволяє спростити експлуатацію установок. Вважається, що найбільш

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						38
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		

перспективний безперервний метод сушіння, так як він здатний створювати умови для інтенсивної, тонкого регулювання і тісного узгодження процесів подрібнення, змішування, грануляції, сушки і автоматизації технологічного процесу в цілому. Однак, в разі малотонажного виробництва, доцільно застосування сушильних пристроїв періодичної дії.

Для сушіння дрібнодисперсних матеріалів у завислому стані потрібні сушарки найбільш прості за конструкцією. У найпростішому випадку сушарка є вертикальну трубу довжиною до 20 м, по якій матеріал і газ рухається прямоютоком. При цьому частинки інтенсивно омиваються потоком нагрітого газу і висушуються.

Використання труб-сушарок знижує можливість регулювання швидкості теплоносія, щоб уникнути порушення транспортування матеріалу і, як наслідок, зниження коефіцієнта продуктивності агрегату і виробничої ефективності.

Найбільш простий і радикальний спосіб дозволяє збільшити відносну швидкість руху частинок в газовому потоці, є використання відцентрової сили, яка виникає при русі пилегазової суспензії по криволінійній траєкторії.

Пневмосушарки дозволяють вдало поєднати процеси фільтрації, сушки і транспорту продукту до місця розвантаження.

Сушильні апарати з закрученим потоком.

Циклонні і вихрові сушарки відносять до апаратів з закрученим потоком газосуспензії. Їх використання виявилось найбільш доцільним в вітамінній промисловості при виробництві деяких продуктів і напівпродуктів.

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						39
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		



Їх відмінність від спіральних в тому, що матеріальний потік здійснює рух не по каналу, а всередині порожнього циліндричного або циліндроконічного корпусу, при цьому, за рахунок тангенціального входу, відбувається обертання або рух по спіралі. Нерідко це досягається за допомогою газорозподільного пристрою, що забезпечує інтенсивність закручування потоку. Основними перевагами даних сушарок є як простота конструкції, так і досить тривалий період проходження речовиною зони сушки, яке на порядок триваліше, ніж рух по спіралі в пневматичних сушарках. Дана перевага дозволяє проводити сушку речовин, у яких зв'язана волога, до її мінімально залишкового вмісту.

До недоліків відносяться як зменшення русійної сили процесу сушіння внаслідок активного перемішування, так і великий гідравлічний опір.

Сушильні апарати з киплячим шаром матеріалу.

Сушильні апарати киплячого шару по режиму роботи діляться на періодичної і безперервної дії.

Сушильні апарати періодичної дії найчастіше застосовуються в малотонажному виробництві для набуття продуктом однорідної вологості. Позитивними рисами таких агрегатів є конструктивна простота і можливість регулювання режимів подачі теплоносія з різноманітними параметрами на різних стадіях сушки.

Основною перевагою полочних сушарок сушарок є їх висока продуктивність за рахунок інтенсифікації процесу, що дозволяє для висушування однієї і тієї ж кількості продукту витратити набагато менше часу (до 1 год. замість 1 доб.), ніж в сушарках з стаціонарно розміщеним продуктом. Вони відрізняються невеликими енерговитратами, займають

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						40
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		

невелику виробничу площу, полегшують операції завантаження і вивантаження.

Останнім часом для заміни поличних сушарок встановлюють періодичні сушарки з киплячим шаром.

До цих сушарок відносяться і апарати з режимом імпульсного (Пульсуючого) киплячого шару. Розрізняють два методи сушіння в режимах імпульсного киплячого шару:

режим - імпульсний киплячий шар;

режим - імпульсний киплячий шар з піддувкою газу.

Сушку в імпульсному киплячому шарі застосовують для сушіння органічних дрібнозернистих матеріалів, які отримують після центрифугування (з вмістом рідкої фази до 25%). Періодично під шар вологого матеріалу вводиться нагрітий теплоносій, він на короткий час переводить речовину в стан інтенсивного псевдозрідження, яке з часом згасає. Далі слід повторити цикл. Весь процес сушіння складається з ряду таких циклів.

Також широке застосування знайшли односекційні сушильні апарати з розширеним догори перетином сушильної камери, зокрема, конічні.

Швидкість газу знизу такої камери повинна бути вище швидкості осадження найбільших часток, а вгорі швидкість повинна бути нижче швидкості осадження найменших. Саме така форма камери дозволяє досягти більш організованої циркуляції твердих частинок, які прагнуть вгору в центрі і опускаються вниз у периферії апарату. Завдяки тому, що швидкість газового потоку знижується по висоті, поліпшується розподіл часток в її обсязі по крупності, так само зменшується і величина виносу. Це

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		41

призводить до підвищення рівномірності прогріву частинок і дозволяє зменшити висоту камери.

У багатосекційних сушильних апаратах може бути як часткова подача свіжого теплоносія в кожную секцію і послідовний рух матеріалу, так і східчасто-протитечійний рух, де рух матеріалу і газу здійснюється в протитечії один до одного. Таким чином, в кожній секції можуть створюватися різні гідродинамічні і температурні режими.

Перевага багатосекційних сушарок - забезпечення більш рівномірного висушування матеріалу . До недоліків можна віднести таку обставину: при сушінні тонкодисперсних матеріалів необхідно створювати перепад тиску між секціями, які розташовані одна над іншою. Тому такі апарати слід рекомендувати для великозернистих матеріалів з хорошими сипучими властивостями.

Сушарки псевдозрідженого шару мають безліч модифікацій, які пов'язані головним чином із застосуванням різних механічних збудників, що дозволяють істотно розширити область результативного використання киплячого шару.

Сушарки з віброкиплячим шаром вібраційним впливом на об'єкт сушіння вирішують завдання підвищення інтенсивності тепло- і масообміну між частинками і теплоносієм, що в результаті турбулює шар і забезпечує стійкий гідродинамічний режим.

З урахуванням великої різноманітності вібросушок, раціонально розподілити їх на основі конструктивного ознаки: горизонтальні, лоткові і вертикальні. За гідродинамічної умови апарати вібраційного сушіння можливо розділити на 2 групи: з режимами віброаерокиплячого шару і віброкиплячого шару, тобто псевдозріджений шар може створюватися, як в

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						42
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		

результаті продування через опорну решітку теплоносія, так і за рахунок механічних вібраційних коливань.

#### 4.3 Конструктивні розрахунки

Основні розміри барабана обирають за нормативами і каталогами довідників відповідно до обсягу сушильного простору. Обсяг сушильного простору  $V$  складається з обсягу  $V_n$ , необхідного для прогріву вологого матеріалу до температури, при якій починається інтенсивне випаровування вологи (до температури вологого термометру сушильного агента), і обсягу  $V_c$ , необхідного для проведення процесу випаровування вологи, тобто .:

$$V = V_c + V_n \quad (4.1)$$

Обсяг сушильного простору може бути обчислений за модифікованим рівнянням масопередачі:

$$V_c = \frac{W}{K_v \cdot \Delta x'_{cp}} \quad (4.2)$$

де  $\Delta x'_{cp}$  - середня рушійна сила масопередачі, кг вологи / м<sup>3</sup>;  $K_v$  - об'ємний коефіцієнт масопередачі, 1/с.

При сушінні кристалічних матеріалів відбувається видалення поверхневої вологи, тобто, процес протікає в першому періоді сушіння, коли швидкість процесу визначається тільки зовнішнім дифузійним опором. При паралельному русі матеріалу і сушильного агента температура вологого матеріалу дорівнює температурі мокрого термометра. У цьому випадку коефіцієнт масопередачі чисельно рівний коефіцієнту масоотдачі  $K_v = \beta_v$ .

Для барабанної сушарки коефіцієнт масовіддачі  $\beta_v$  може бути вирахований по емпіричному рівнянню:

$$\beta_v = 1,62 \cdot 10^{-2} \cdot (\omega \rho_{cp})^{0,9} \cdot n^{0,7} \cdot \beta^{0,54} \cdot P_0 / [c \rho_{ch} (P_0 - P)] \quad (4.3)$$

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						43
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		

де  $\rho_{cp}$  - середня щільність сушильного агента, кг / м<sup>3</sup>;  $c$  - теплоємність сушильного агента при середній температурі в барабані, що дорівнює 1 кДж / КГК;  $\beta$  - оптимальне заповнення барабана висушуючим матеріалом, %;  $P_0$  - тиск, при якому здійснюється сушка, Па;  $p$  - середнє парціальний тиск водяної пари в сушильному барабані, Па.

Дане рівняння справедливе для значень  $\omega\rho_{cp} = 0,6-1,8$  кг / м<sup>2</sup>с,  $n = 1,5-5,0$  об / хв,  $\beta = 10-25\%$

Робоча швидкість сушильного агента в барабані залежить від дисперстності і щільності матеріалу, що висушується. Для вибору робочих швидкостей ( $\omega$ , м / с) при сушінні монодисперсних матеріалів можна керуватися даними, наведеними в табл. 9.1. [1].

Для частинок насипною щільністю  $\rho_m = 860$  кг/м<sup>3</sup> зазвичай приймають швидкість газів в барабані  $\omega = 1$  м/ с

Щільність сушильного агента при середній температурі в барабані:

$$t_{cp} = \frac{200+90}{2} = 145^{\circ}\text{C} \quad (4.4)$$

Практично відповідає щільності повітря при цій температурі:

$$\rho_{cp} = \frac{M}{v_0} \cdot \frac{T_0}{T_0+t} \quad (4.5)$$

$$\rho_{cp} = \frac{29}{22,4} \cdot \frac{273}{273+145} = 0,789 \text{ кг/м}^3$$

При цьому

$$\omega\rho_{cp} = 1 \cdot 0,789 = 0,789 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}$$

					<b>ХІ.С.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						44
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		

що не порушує справедливості рівняння.

Частота обертання барабана зазвичай не перевищує 5-8 об / хв;  
приймаємо  $n = 5$  об / хв.

Оптимальне заповнення барабанависушіваним матеріалом  $\beta$  для різних конструкцій перевалочних пристроїв по-різному. Для даної конструкції сушильного барабана  $\beta = 12\%$ .

Процес сушіння здійснюється при атмосферному тиску, тобто, при  $P_0 = 105$  Па. Парціальний тиск водяної пари в сушильному барабані визначимо як середньоарифметичну величину між парціальними тисками на вході газу в сушарку і на виході з неї.

Парціальний тиск водяної пари в газі визначимо за рівнянням:

$$p = \left( \frac{x}{M_B} \right) \cdot \frac{P_0}{\frac{1}{M_{с.в}} + \frac{x}{M_B}} \quad (4.5)$$

Тоді на вході в сушарку

$$p_1 = \left( \frac{0,0177}{18} \right) \cdot \frac{10^5}{\frac{1}{29} + \frac{0,0177}{18}} = 2773,464 \text{ Па}$$

На виході з сушарки

$$p_2 = \left( \frac{0,045}{18} \right) \cdot \frac{10^5}{\frac{1}{29} + \frac{0,045}{18}} = 6759,907 \text{ Па}$$

Звідси:

$$p = (p_1 + p_2) / 2 \quad (4.6)$$

$$p = \frac{2773,464 + 6759,907}{2} = 4766,685 \text{ Па}$$

Таким чином, об'ємний коефіцієнт масовіддачі дорівнює:

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						45
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		

$$\beta_v = 1,62 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{0,789^{0,9} \cdot 5^{0,7} \cdot 12^{0,54} \cdot 10^5}{1 \cdot 0,877 \cdot (10^5 - 4766,685)} = 0,203 \text{ c}^{-1}$$

Рушійну силу масопередачі  $\Delta x'_{\text{cp}}$  визначимо за рівнянням:

$$\Delta x'_{\text{cp}} = \frac{\Delta x'_b - \Delta x'_m}{\ln \frac{\Delta x'_b}{\Delta x'_m}} = \frac{\Delta P_{\text{cp}} \cdot M_B}{P_0 \cdot v_0 \cdot (T_0 + t_{\text{cp}}) / T_0} \quad (4,7)$$

де  $\Delta x'_b = x^* 1 - x'1$  - рушійна сила на початку процесу сушіння, кг / м<sup>2</sup>;  
 $\Delta x'_m = x^* 2 - x'1$  - рушійна сила наприкінці процесу сушіння, кг / м<sup>3</sup>;  $x^* 1, x^* 2$  - рівноважний вміст вологи на вході в сушарку і на виході з неї, кг / м<sup>3</sup>.

Середня рушійна сила  $\Delta P_{\text{cp}}$ , виражається через одиниці тиску (Па), дорівнює:

$$\Delta P_{\text{cp}} = \frac{\Delta P_b - \Delta P_m}{\ln \frac{\Delta P_b}{\Delta P_m}} \quad (4.8)$$

Для прямого руху сушильного агента і висушується маємо: - рушійна сила на початку процесу сушіння, Па; - рушійна сила в кінці процесу сушіння, Па; , - тиск насичених парів над вологим матеріалом на початку і в кінці процесу сушіння, Па.  $\Delta P_b = p_1^* - p_1$   $\Delta P_m = p_2^* - p_2$

Значення визначають по температурі вологого термометра сушильного агента на початку ( $t_{m1}$ ) і в кінці ( $t_{m2}$ ) процесу сушіння. За діаграмою Іх знайдемо:  $t_{m1} = 55 \text{ }^\circ \text{C}$ ,  $t_{m2} = 52 \text{ }^\circ \text{C}$ ; при цьому, Тоді  $p_1^* p_2^* p_1^* = 9581,604$  Па  $p_2^* = 8197,95$  Па.

$$\Delta P_{\text{cp}} = \frac{(9581,604 - 2773,464) - (8197,95 - 6759,907)}{\ln \left( \frac{9581,604 - 2773,464}{8197,95 - 6759,907} \right)} = 3453,804 \text{ Па}$$

Висловимо рушійну силу в кг / м<sup>3</sup> за рівнянням

$$\Delta x'_{\text{cp}} = \frac{3453,804 \cdot 18}{10^5 \cdot 22,4 \cdot (273 + 145) / 273} = 0,0088 \text{ кг/м}^3$$

Обсяг сушильного барабана , необхідний для проведення процесу випаровування вологи, без урахування апарату, необхідного на прогрів вологого матеріалу, знаходимо за рівнянням

					<b>ХІ.С.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		46

$$V_c = \frac{0,123}{0,203 \cdot 0,0088} = 53,9 \text{ м}^3$$

Обсяг сушарки, необхідний для прогріву вологого матеріалу, знаходять за модифікованим рівнянням теплопередачі:

$$V_{\Pi} = \frac{Q_{\Pi}}{K_v \cdot \Delta t_{cp}} \quad (4.9)$$

Де  $Q_{\Pi}$  - витрата тепла на прогрів матеріалу до температури  $t_{m1}$ , кВт; - об'ємний коефіцієнт теплопередачі, кВт / м<sup>3</sup>К;  $\Delta t_{cp}$  - середня різниця температур, град.  $K_v$

Витрата тепла  $Q_{\Pi}$  дорівнює:

$$Q_{\Pi} = G_k c_m (t_{m1} - \theta_1) + W_b c_b (t_{cm1} - \theta_1) \quad (4.10)$$

$$Q_{\Pi} = 2,65 \cdot 1,421 \cdot (55 - 25) + 0,123 \cdot 4,185 \cdot (55 - 25) = 208,388 \text{ кВт}$$

Об'ємний коефіцієнт теплопередачі визначають по емпіричному рівнянню:

$$K_v = 16(\omega \rho_{cp})^{0,9} n^{0,7} \beta^{0,54} \quad (4.11)$$

$$K_v = 16 \cdot 0,789^{0,9} \cdot 5^{0,7} \cdot 12^{0,54} = 167,8277 \text{ Вт/м}^3\text{К или } 0,168 \text{ кВт/м}^3\text{К}$$

Для обчислення  $\Delta t_{cp}$  необхідно знайти температуру сушильного агента  $t_x$ , до якої він охолоне, віддаючи тепло на нагрівання матеріалу, що висушується до  $t_{m1}$ . Цю температуру можна визначити з рівняння теплового балансу:

$$Q_{\Pi} = L_{c.r} (1 + x_1) c_r (t_1 - t_x) \quad (4.12)$$

$$208,3879 = 8,9(1 + 0,0177)1,05(200 - t_x)$$

$$t_x = 188,6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Середня різниця температур дорівнює:

					<b>ХІ.С.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						47
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		



$$\Delta t_{cp} = \frac{(t_1 - \theta_1) + (t_x - t_{M1})}{2} \quad (4.13)$$

$$\Delta t_{cp} = \frac{(200 - 25) + (188,6 - 55)}{2} = 165,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Підставимо отримане значення в рівняння:

$$V_{\Pi} = \frac{208,388}{0,168 \cdot 165,8} = 7, \text{ м}^3$$

Загальний обсяг сушильного барабана:

$$V = 53,9 + 7,4 = 61,3 \text{ м}^3$$

При відсутності розрахункових залежностей для визначення коефіцієнтів масо-і теплопередачі обсяг сушильного барабана може бути орієнтовно визначено за допомогою об'ємного напруги по волозі  $A_v$ , кг / м<sup>3</sup>год. При використанні величини  $A_v$  обсяг сушильного барабана сушильного барабана розраховують за рівнянням

$$V = \frac{3600W}{A_v} \quad (4.14)$$

де  $A_v = 8 \text{ кг / м}^3\text{год}$

$$V = \frac{441,8}{8} = 55,2 \text{ м}^3$$

Розбіжність з результатом, отриманим при використанні кінетичних закономірностей, з відмінностями параметрів сушильного агента, що істотно відбивається на русійну силу сушки. Цей результат задовільно збігається з отриманим в прикладі.

Далі за довідковими даними знаходимо основні характеристики барабанної сушарки - довжину і діаметр.

У табл. 9.3 [1] наведені основні характеристики барабанних

сушарок, що випускаються заводами «Уралхиммаш» і «Прогрес». По таблиці вибираємо барабанну сушилку №7208 з наступними характеристиками: об'єм  $V = 86,2 \text{ м}^3$ , діаметр  $d = 2,8 \text{ м}$ , довжина  $l = 14 \text{ м}$ .

					<b>ХІ.С.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						48
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		

Визначимо дійсну швидкість газів в барабані:

$$\omega_{\text{д}} = \frac{v_{\text{г}}}{0,785d^2} \quad (4.15)$$

Об'ємна витрата вологого сушильного агента на виході з барабана (в м<sup>3</sup> / с) дорівнює:

$$v_{\text{г}} = L_{\text{с.г}} v_0 \frac{(T_0 + t_{\text{ср}})}{T_0} \left( \frac{1}{M_{\text{с.г}}} + \frac{x_{\text{ср}}}{M_{\text{в}}} \right) \quad (4.16)$$

де  $x_{\text{ср}}$  - середній вміст вологи в сушильній агента, кг / кг сухого повітря.  
Підставивши отримаємо:

$$v_{\text{г}} = 8,9 \cdot 22,4 \frac{273+145}{273} \cdot \left( \frac{1}{29} + \frac{0,0314}{18} \right) = 9,7 \text{ м}^3/\text{с}$$

тоді:

$$\omega_{\text{д}} = \frac{9,7}{0,785 \cdot 2,8^2} = 1,55 \text{ м}^3/\text{с}$$

Визначимо середній час перебування матеріалу в сушарці:

$$\tau = \frac{G_{\text{м}}}{G_{\text{к}} + W/2} \quad (4.17)$$

Кількість що знаходиться в сушарці матеріалу (в кг) дорівнює:

$$G_{\text{м}} = V \beta \rho_{\text{м}}$$

$$G_{\text{м}} = 86,2 \cdot 0,12 \cdot 1800 = 7553,64 \text{ кг}$$

Звідси

$$\tau = \frac{7553,64}{5,35 + 0,123/2} = 1385,2 \text{ с}$$

Знаючи час перебування, розрахуємо кут нахилу барабана:

$$\alpha' = \left[ \frac{301}{d_{\text{нт}}} + 0,007 \omega_{\text{д}} \right] \left( \frac{180}{\pi} \right) \quad (4.18)$$

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						49
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		

$$\alpha' = \left[ 30 \cdot \frac{14}{2,8 \cdot 5 \cdot 1385,2} + 0,007 \cdot 1,55 \right] \left( \frac{180}{3,14} \right) = 2,285^\circ$$

Далі необхідно перевірити допустиму швидкість газів, виходячи з умови, що частинки, що висушується найменшого діаметра не повинні нестися потоком сушильного агента з барабана. Швидкість виносу, рівну швидкості вільного витання  $\omega_{с.в.}$ , визначають за рівнянням:

$$\omega_{с.в.} = \frac{\mu_{ср}}{d\rho_{ср}} \left( \frac{Ar}{18+0,575\sqrt{Ar}} \right) \quad (4.19)$$

де  $\mu_{ср}$  і  $\rho_{ср}$  - в'язкість і щільність сушильного агента ін середній температурі;  $d$  - найменший діаметр частинок матеріалу, м;  $Ar$  - критерій Архімеда;  $\rho_{ч}$  - щільність частинок матеріалу, що висушується, рівна для хлориду натрію 1800 кг / м<sup>3</sup>.

Середня щільність сушильного агента дорівнює:

$$\rho_{ср} = [M_{с.в.}(P_0 - p) + M_{в.р}] \frac{T}{V_0 P_0 (T + t_{ср})}$$

$$\rho_{ср} = [29 \cdot (10^5 - 4766,685) + 18 \cdot 4766,685] \cdot \frac{273}{22,4 \cdot 10^5 \cdot (273 + 145)} = 0,86 \text{ кг/м}^3$$

Критерій Архімеда:

$$Ar \approx d^3 \rho_{ч} \rho_{ср} g / \mu_{ср}^2$$

$$Ar = \frac{(1 \cdot 10^{-3})^3 \cdot 1800 \cdot 0,789 \cdot 9,81}{(2,6 \cdot 10^{-5})^2} = 997,23$$

Тоді швидкість виносу:

$$\omega_{с.в.} = \frac{2,6 \cdot 10^{-5}}{0,3 \cdot 10^{-3} \cdot 0,86} \left( \frac{997,23}{18 + 0,575(\sqrt{597,23})} \right)$$

$$\omega_{с.в.} = 2,875 \text{ м/с}$$

Робоча швидкість сушильного агента в сушарці менше, ніж швидкість виносу частинок меншого розміру, тому розрахунок основних розмірів сушильного барабана закінчуємо.

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						50
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		

#### 4.4 Розрахунок гідравлічного опору сушарки

Визначимо еквівалентний діаметр сушильного барабана. Довжина лопаті  $l_0 = 380$  мм, кількість лопатей  $z = 8$ , отже, периметр поверхні, що контактує з сушильним агентом

$$\Pi = \pi \cdot D + 2 \cdot z \cdot l_0 \quad (4.20)$$

$$\Pi = 3,14 \cdot 2,8 + 2 \cdot 8 \cdot 0,28 = 13,27 \text{ м.}$$

Вільна площа перетину корпусу сушарки без урахування товщини лопатей

$$f = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (4.21)$$

$$f = \frac{3,14 \cdot 2,8^2}{4} = 6,1 \text{ м}^2.$$

Еквівалентний діаметр сушильного барабана

$$d_{\text{екв}} = \frac{4 \cdot f}{\Pi} \quad (4.22)$$

$$d_{\text{екв}} = \frac{4 \cdot 6,1}{13,27} = 1,83 \text{ м.}$$

Уточнимо швидкість руху сушильного агента по прийнятому діаметру барабана ( $D = 2800$  мм):

$$\omega_r = \frac{4 \cdot L}{\pi \cdot \rho_v \cdot (1 - \beta) \cdot D^2} \quad (4.23)$$

$$\omega_r = \frac{4 \cdot 4,75}{3,14 \cdot 0,52 \cdot (1 - 0,2) \cdot 2,8^2} = 2,55 \text{ м / с.}$$

В'язкість сушильного агента при середній температурі  $t_{\text{ср}} = 165^\circ\text{C}$  по табл. XIII [1]:  $\mu = 0,0238 \cdot 10^{-3}$  Па.

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						51
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		

Значення критерію Re для сушильного агента

$$Re = \frac{\omega_{\Gamma} \cdot d_{\text{ЭКВ}} \cdot \rho_{\text{В}}}{\mu_{\text{В}}} \quad (4.24)$$

$$Re = \frac{2,55 \cdot 1,83 \cdot 0,52}{0,0438 \cdot 10^{-3}} = 37136 > Re = 10000,$$

отже, режим руху турбулентний.

Коефіцієнт тертя

$$\lambda = \frac{0,316}{Re^{0,25}} \quad (4.25)$$

$$\lambda = \frac{0,316}{37136^{0,25}} = 0,0246$$

Втрата тиску на довжині сушильного барабана

$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{L}{d_{\text{ЭКВ}}} \cdot \frac{\omega_{\Gamma}^2 \cdot \rho}{2} \quad (4.26)$$

$$\Delta p = 0,0246 \cdot \frac{4,75}{1,83} \cdot \frac{2,55^2 \cdot 0,52}{2} = 122 \text{ Па.}$$

За досвідченим даними опір барабанної сушарки  $\Delta p = 100 \dots 200$  Па при швидкості повітря  $\omega_{\Gamma} = 2,55$  м / с і коефіцієнті заповнення  $\beta = 0,2$ . В даному випадку також враховується гідравлічний опір пересипаного з лопатей матеріалу.

#### 4.5 Вибір допоміжного обладнання

У сушильному барабані відбувається часткове стирання матеріалу. Найбільш дрібні частинки виносяться з барабана потоком газу. Для

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						52
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		

уловлювання таких часток використовують циклони. Найчастіше для цієї мети використовуються циклони НІІОГАЗ. Циклони НІІОГАЗ є найбільш поширеними апаратами для пиловловлювання і працюють в системах газоочистки, що знаходяться під атмосферним і близьким до нього тиском.

Об'ємна витрата вологих газів на вході і виході з барабана:

$$V_{\text{вх}} = \frac{L \cdot (1 + x_1)}{\rho_1},$$

де  $\rho_1 = 0,345 \text{ кг/м}^3$  - щільність топкових газів на вході при  $t = 200 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

$$V_{\text{вх}} = \frac{2 \cdot (1 + 0,017)}{0,345} = 5,89 \text{ м}^3/\text{с} \text{ або } 21224 \text{ м}^3/\text{год.}$$

$$V_{\text{вих}} = \frac{L \cdot (1 + x_2)}{\rho_2},$$

де  $\rho_2 = 0,859 \text{ кг/м}^3$  - щільність димових газів на виході ( $t_2 = 95 \text{ }^\circ\text{C}$ ) з сушарки.

$$V_{\text{вих}} = \frac{2 \cdot (1 + 0,045)}{0,859} = 2,43 \text{ м}^3/\text{с} \text{ або } 8759 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Примітка: розрахунок  $\rho_1$  і  $\rho_2$  проводився за формулою  $\rho = 1,293 \cdot \frac{T}{T + t}$ , Придатної для повітря, через що вийшов дещо завищена витрата газів через барабан, так як щільність димових газів більше щільності повітря через підвищеного вмісту  $\text{CO}_2$ .

Нехай кількість циклонів для очищення газу дорівнюватиме 4. Тоді витрата пилогазової суміші, що припадає на один циклон, буде дорівнює:

$$\frac{8759}{4} = 2189,7 \text{ м}^3/\text{г.}$$

Приймемо циклон ЦН -24.

					<b>ХІ.С.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		53

Вентилятор вибирається по максимально можливій витраті газу, необхідного для сушіння матеріалу.

Максимальне навантаження по газу  $V_{\text{вих}} = 5,89 \text{ м}^3/\text{с}$ . Нехай швидкість газу, що надходить в вентилятор дорівнює  $10 \text{ м/с}$ . Розрахуємо внутрішній діаметр трубопроводу:

$$d = \sqrt{4 \cdot V / \pi \cdot \omega}; \quad (2.41)$$

$$d = \sqrt{4 \cdot 5.87 / 3.14 \cdot 10} = 1,1 \text{ м.}$$

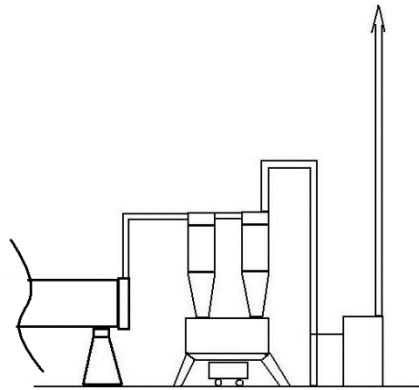


Рисунок 4.4 - Схема трубопроводу до розрахунку вентилятора.

Для вибору вентилятора необхідно розрахувати гідравлічний опір системи сушарка - циклон - вентилятор  $\Delta P_{\text{об}}$  (Рисунок 4.1):

$$\Delta P_{\text{об}} = \Delta P_{\text{суш}} + \Delta P_{\text{ц}} + \Delta P_{\text{м.с.}} + \Delta P_{\text{пр}}, \quad (4.27)$$

де  $\Delta P_{\text{суш}} = 100 \text{ Па}$  (приймаємо);

$\Delta P_{\text{ц}} = 757 \text{ Па}$  - опір циклону;

$\Delta P_{\text{м.с.}}$  - сума гідравлічних втрат на місцевих опорах, Па;

$\Delta P_{\text{пр}}$  - опір прямих ділянок.

Опір прямих ділянок:

					<b>ХІ.С.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		54

$$\Delta P_{\text{пр}} = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{\rho_r \cdot \omega^2}{2}, \quad (4.28)$$

де  $\lambda$  - коефіцієнт тертя, що залежить від числа Рейнольдса і шорсткості  $e$ ;

$L$  - довжина прямих ділянок, м.

$$Re = \omega \cdot d \cdot \rho / \mu, \quad (4.29)$$

де  $\rho$  - щільність,  $\text{кг/м}^3$ ;

$\mu$  - в'язкість,  $\text{Па} \cdot \text{с}$ , пилогазового потоку беруться при кінцевій температурі сушіння  $95^\circ \text{C}$ .

$$\rho = 0,759 \text{ кг / м}^3;$$

$$\mu = 0,03 \text{ МПа} \cdot \text{с};$$

$$Re = 9 \cdot 1,1 \cdot 0,759 / 0,03 \cdot 10^{-3} = 164928.$$

Прийmemo  $e = 0,8$  мм (труби суцільнотягнені сталеві, які зазнали значної корозії) [15]. знайdemo відносну шорсткість стінки трубопроводу:

$$\varepsilon = E / d = 0,8 \cdot 10^{-3} / 1,1 = 1,25 \cdot 10^{-3};$$

$$1 / e = 1250; 10 \cdot 1 / e = 12500; 560 \cdot 1 / e = 700000;$$

$$12500 < Re = 164928 < 700000.$$

тоді розрахунок  $\lambda$  слід проводити для зони змішаного тертя по формулі:

$$\lambda = 0,11 \cdot (E + 68 / Re)^{0,25}; \quad (4.30)$$

$$\lambda = 0,11 \cdot (0,8 \cdot 10^{-3} + 68 / 164928)^{0,25} = 0,021.$$

Прийmemo довжину прямих ділянок рівної  $L = 20$  м. Опір прямих ділянок одно:

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						55
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		



$$\Delta P_{\text{пр}} = 0,021 \cdot \frac{20}{0,64} \cdot \frac{0,859 \cdot 9^2}{2} = 22,8 \text{ Па.}$$

Сума гідравлічних втрат на місцевих опорах:

$$\Delta P_{\text{м.с.}} = \sum \xi \cdot \rho_{\text{г}} \cdot \omega^2 / 2, \quad (4.31)$$

де  $\sum \xi$  - сума коефіцієнтів місцевих опорів, визначається по технологічній схемі.

$$\sum \xi = \xi_{\text{вх}} + \xi_{\text{вих}} + 3 \cdot \xi_{\text{пов}}, \quad (4.32)$$

де  $\xi_{\text{вх}}, \xi_{\text{вих}}, \xi_{\text{пов}}$  – коефіцієнти місцевих опорів для входу в трубу, виходу з труби і поворотів відповідно.  $\xi_{\text{ао}} = 0,2$ ;  $\xi_{\text{аіо}} = 1$ ;  $\xi_{\text{іа}} = 1,1$  [15].

$$\sum \xi = 0,2 + 1 + 3 \cdot 1,1 = 4,7;$$

$$\Delta P_{\text{м.с.}} = 4,7 \cdot 0,789 \cdot 10^2 / 2 = 163,51 \text{ Па.}$$

Підставивши отримані значення визначимо  $\Delta P_{\text{об}}$ :

$$\Delta P_{\text{іа}} = 100 + 808 + 163,51 + 22,8 = 1094,31 \text{ Па.}$$

Так як характеристики вентиляторів складені для стандартних умов повітря, тобто для  $t = 20^\circ \text{C}$  і  $P = 760 \text{ мм. рт. ст.}$ , то необхідно гідравлічний опір перерахувати на стандартні умови:

$$\Delta P_{\text{ст}} = \Delta P \cdot \rho_{\text{ст}} / \rho, \quad (4.33)$$

де  $\rho_{\text{об}} = 1,20 \text{ кг / м}^3$  - щільність повітря при стандартних умовах.

$$\Delta P_{\text{ст}} = 1094,31 \cdot 1,2 / 0,859 = 1528,72 \text{ Па.}$$

По витраті газу  $V = 2,817 \text{ м}^3/\text{С}$  і  $\Delta P_{\text{ст}} = 1528,72 \text{ Па}$  вибираємо по [22] газодувки ТБ-350-1,06 з продуктивністю  $10,86 \text{ м}^3/\text{С}$ , і з максимально можливим опором 6000 Па.

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						56
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		

## 5. Ремонт та монтаж апарата

### Розділ складений відповідно інформації [10,9]

#### 5.1 Монтаж апарата

Монтаж барабаних сушарок складається з наступних основних операцій:

- установка і вивірка плит під опорні і наполегливі ролики;
- установка і вивірка опорних роликів;
- установка обичайок з натягнутими бандажами;
- установка наполегливих роликів;
- установка зубчастого вінця;
- установка редуктора і провідної шестерні;
- установка обладнання гарячого і холодного кінців барабана.

Основним монтажним механізмом служить потужний автомобільний або гусеничний кран.

При установці опорних роликів здійснюється їх вивірка по висотним позначок за допомогою нівеліра. Так як ролики мають ухил осі сушарки до  $6^\circ$ , то для уникнення помилки рейку при вивірці треба встановлювати у всіх роликів на одне і те ж місце.

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

Зазвичай корпус сушарки доставляють до місця монтажу з натягнутими бандажами. Встановлюють його або за допомогою крана, або накочуванням по нахильної естакаді за допомогою двох лебідок, троси яких намотуються на корпус сушарки на відстані 1,5 - 2 м від кінців.

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

					ХІ.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
						57
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		

Відстань від струни до центру найближчого бандажа повинна дорівнювати відстані від струни до центру відповідної пари роликів. Якщо замір показав, що барабан змістився, наприклад, вправо, 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 лівої лебідкою вирівнюють барабан, поки його вісь не опиниться паралельній проектній осі сушарки. Діючи таким чином, домагаються точного попадання бандажа на ролики.

Після закінчення наочування барабан опускається бандажами на опорні ролики за допомогою домкратів.

Потім встановлюється венцова шестерня. Половинки венцової шестерні за допомогою крана надягають на корпус барабана і сболчують. Потім проводиться вивірка шестерні на осьовий і радіальне биття за допомогою жорстко закріплені індикатора. Биття як в осьовому, так і в радіальному напрямку не повинно перевищувати 2 мм. Венцових шестерня кріпиться до корпусу барабана на пластинчатих пружинах. Пружини прикріплені до венцової шестерні болтами, а до корпусу заклепками. По закінченню вивірки шестерні встановлюють пружини. Пружини повинні прилягати до корпусу барабана без зазору, але і без значного натягу.

Використовуючи отвори в встановлених пружинах як кондуктор, в корпусі барабана свердять отвори під заклепки. Після того як пружини підготовлені, проводиться клепка, і після неї - повторна перевірка шестерні на радіальне і осьове биття.

Подвенцова шестерня повинна бути встановлена під тим же кутом нахилу, що і корпус барабана. За базу при її вивірці служить встановлена і вивірена венцова шестерня.

При цьому радіальний зазор не повинен перевищувати  $0,2m + (5 \div 7)$  мм, а боковий -  $1 \div 1,5$  мм ( $m$  - модуль зачеплення).

Після вивірки подвенцової шестерні встановлюється редуктор приводу, який також повинен бути встановлений під тим же кутом нахилу, що і корпус барабана. Встановлюють і вивіряють редуктор на клинах. Вивірка в вертикальній площині проводиться за допомогою рівня з ціною ділення поділів 0,1 мм на 1 м. Допустимі відхилення при вивірці в межах  $\pm 5$  поділів рівня. Співвісність валів перевіряють за допомогою скоб шляхом заміру зазорів через  $20^\circ$  повороту валів. Після закінчення вивірки і обтягування анкерних болтів все регулюючі подкладки зварюються і підливають бетоном. Також встановлюється і вивіряється електродвигун.

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						58
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		

Після монтажу барабану сушарку піддають обкатці. Перед пробним пуском повинно бути перевірено наявність мастила і надходження її до всіх місць, що підлягають мастилі. При обкатці всі механізми повинні працювати (переміщатися) плавно, без заїдань, а також без вібрацій і 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°C. Бандажи повинні котитися по роликam всією поверхнею. Не повинно бути витоків масла з масляної системи.

При роботі барабан не повинен мати осьового зсуву в бік холодного або гарячого кінця. Осьовий зсув барабана усувається шляхом розвороту опорних роликів на кут, що встановлюється дослідним шляхом. Потім проводиться обкатка сушильного барабана без навантаження протягом 36 годин і під навантаженням - протягом 48 годин.

## 5.2 Ремонт апарата

Барабанні сушарки об'єднують в собі ознаки апарату і машини і їм притаманні несправності, характерні для обох типів обладнання.

У барабанних сушарках швидкого зносу піддаються вкладиші підшипників роликів опор, ущільнювальні кільця, ролики, бандажі, первинна шестерня. У місці подачі гарячих газів можливий прогар ділянки кожуха або деформація його внаслідок впливу високих температур. Поточний ремонт сушарки проводять через 720 ч. Протягом 6 - 16 год. з праце-витратами 10 - 40 чол/год. Середній ремонт проводять через 8640 год протягом 48 - 120 год при затратах 94 - 600 чол/год. Капітальний ремонт проводять один раз в 3 роки (через 25920 год.) протягом 96 - 360 год. при затратах 230 - 1200 чол/год.

Під час поточного ремонту проводять ревізію маслосистеми; перевіряють герметичність вузлів харчування сушарки і вивантаження готового продукту; оглядають калорифер або топку; підтягують кріплення вузлів і деталей; оглядають привід сушарки.

При середньому ремонті сушарку частково розбирають, при цьому виконують роботи по ремонту або часткової заміни насадки, зміні роликів, заміні підшипників, кілець ущільнювачів. Проводять середній ремонт приводу: повертають або замінюють подвезову шестерню, міняють масло в редукторі і, якщо потрібно, окремі зношені деталі. Ремонтують футеровку барабана, регулюють обертання барабана.

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						59
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		

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

Термін служби бандажа досягає 15 - 20 років. Під час капітального ремонту деформовані бандажі проточують за допомогою переносного супорта. Якщо необхідна заміна бандажа, барабан піднімають, розрізають бандаж і видаляють по частинах. Потім встановлюють новий в нагрітому стані або збирають його з двох - трьох частин з наступним зварюванням.

Поверхнева твердість опорних роликів трохи нижче, ніж бандажів. Вони посаджені на осі гарячою або 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).

У підвенцовій шестірні 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 недоцільно, однак продовжити їх термін служби можна поворотом на 180°.

Зазвичай венцових колесо складається з двох половин, маса його досягає 4 - 6 т., термін служби 15 - 20 років. У міру зношування венцових колесо повертають на кут 180°. В окремих випадках роблять наплавку зубів за шаблоном на зібраному колесі. Наплавлений зуб повинен бути встановлений в 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, відповідному обкатці барабана при його монтажі.

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						60
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		

## 6 Охорона праці

Інформацією подано відповідно до [11]

### 6.1 Аналіз потенційних небезпек і шкідливостей під час роботи

Завдання охорони праці - звести до мінімальної ймовірності поразки або захворювання працюючого, з одночасним забезпеченням комфорту при максимальній продуктивності праці. Продуктивність праці підвищується за рахунок збереження здоров'я і працездатності людини, продовження його активної трудової діяльності, зменшення кількості аварій і т.п. Поліпшення умов праці та й його безпеки призводить до зниження виробничого травматизму і професійних захворювань, що зберігає здоров'я трудящих.

У проектуваному апараті наступні потенційні небезпеки і шкідливості відповідно до ГОСТ 12.0.003 - 74:

#### 3.1.1 Небезпека отримання термічних опіків.

Ця небезпека відноситься до фізичної групи. Процес сушки відбувається при температурі 130°C, а отже поверхню барабанної сушарки, а також підводи і відводи комунікацій будуть нагріватися до зазначеної температури. При дотику до зовнішньої поверхні апарату, людина може отримати термічний опік. Відповідно до СН 245 - 79 температура зовнішніх поверхонь не повинна перевищувати 45°C;

#### 3.1.2 Небезпека ураження легень дрібнодисперсного пилом.

При оцінці токсичної дії пилу необхідно враховувати такі фактори, як дисперсність, форма частинок, розчинність, хімічний склад. Найбільшу небезпеку становлять пилу з частинками розміром від 3 до 10 мкм. Частинки розміром більше 10 мкм. осідають у верхніх дихальних шляхах, а розміром менше 3 мкм видихаються, не затримуючись в легенях.

Розчинність пилу в воді і тканинних рідинах може мати і позитивне і негативне значення. Якщо пила не токсична і дію її на тканину зводиться до механічного подразнення, то хороша розчинність такого пилу є благодійним фактором, який сприяє швидкому видаленню її з легких. У разі токсичного пилу хороша розчинність є негативним фактором.

Однак і не отруйний пил при значних концентраціях виявляє на організм шкідливий вплив. Вона засмічує і подразнює слизові оболонки очей, шкіру,

					ХІ.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
						61
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		

верхні дихальні шляхи і викликає різні легеневі захворювання. Захворювання легенів, пов'язані з впливом на них пилу, називаються пневмокониозами.

### 3.1.3 Небезпека вибуху і пожежі.

Суміш дрібнодисперсного пилу добрива з повітрям на підставі "Правил виготовлення вибухозахисного та рудникового обладнання" за класифікацією ПУЕ відноситься до четвертої категорії вибухонебезпечності

### 3.1.4 Небезпека падіння з висоти.

Висота барабанної сушарки більше 3 м. При обслуговуванні, ремонті або огляді апарату людина може впасти з висоти.

## 3.2 Загальні заходи безпеки

Предбачаються наступні заходи щодо усунення потенціальних небезпек і шкідливостей:

3.2.1 Для усунення небезпеки отримання термічних опіків застосувати теплоізоляцію, щоб знизити температуру стінки до 45°C.

3.2.2 Для усунення небезпеки появи пилу у робочому середовищі в проектуваному об'єкті передбачено: 1) застосування паронітових прокладок в місцях з'єднання сполучених поверхонь і фланців трубопроводів; 2) перевірка якості повітря в робочій зоні.

3.2.3 Для усунення небезпеки вибуху і пожежі виробничі приміщення забезпечити надійної загальнообмінною припливно-витяжною вентиляцією з застосуванням радіальних вентиляторів іскрозахищеного виконання.

3.2.4 Для усунення небезпеки падіння з висоти необхідно застосувати огорожі обслуговуючих майданчиків і стежити за їх чистотою.

3.2.5 Захист від статичної електрики проводити відповідно до чинних "Правил захисту від статичної електрики в виробництвах хімічної промисловості":

1) освітлювальна та силова електропроводки виконуються з дотриманням правил вибухонебезпечності і містяться в справному стані;

2) установка електроприводів, пускачів і засобів автоматизації допускаються тільки у вибухонебезпечному виконанні;

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						62
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		

- 3) опір токоотводів і контуру не повинно перевищувати 100 Ом;
- 4) вся силова електропроводка, що розміщується у виробничому приміщенні повинна прокладатися в місцях, доступних для зовнішнього огляду і не полягають заливання її рідиною.

Застосування перерахованих вище заходів допоможе поліпшити умови праці і звести виробничий травматизм до мінімуму.

Все виробниче обладнання повинно бути у справному стані, чистоті, порядку. Відповідальність за правильну експлуатацію технологічного обладнання, пристроїв і оснащення несуть начальник, технолог виробництва і особа, яка безпосередньо експлуатує обладнання.

Ремонт і контроль за станом обладнання повинен здійснюватися в терміни, передбачені графіком планово-попереджувального ремонту. За наявність і справність огорожувальних пристроїв до обладнання несе відповідальність механік виробництва, а за правильність їх використання - майстер зміни.

Все обладнання повинно бути заземлено. За справністю і надійністю заземлення повинен бути встановлений постійний контроль службою енергетика виробництва.

Все обладнання та ємності повинні бути доступні для внутрішнього огляду і очищення від залишків пожежонебезпечних матеріалів.

Конструкція і стан апаратів і окремих вузлів устаткування повинні виключати потрапляння пожежонебезпечних речовин продуктів в зазори між труться металевими або іншими твердими частинами обладнання.

Поверхня апаратів і комунікацій повинна бути гладкою, легко очищається від продукції.

Для очищення і промивання устаткування використовують, в основному, воду.

Повсякденне спостереження за роботою контрольно-вимірювальної апаратури (КВП) веде виробничий майстер, а метрологічний нагляд - майстер КВП.

На шкалах контрольно-вимірювальних приладів або близько приладів повинні бути чітко позначені показники гранично допустимих значень

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		63



заданих параметрів (червона риска, червона стрілка, цифрові показники і т.д.).

Все транспортують пристрої повинні бути доступні і зручні для огляду і очищення від продукту. Звільнення засувки, вентилів, кранів повинно бути зручно і доступно з підлоги або зі спеціальних майданчиків.

Захисні пристрої і огорожі призначені для захисту працюючих від механічних пошкоджень, що рухаються. Знімати огороження в разі ремонту обладнання допускається після повної зупинки обладнання і тільки з дозволу виробничого майстра. За наявність захисних огорожень, їх утримання та експлуатацію несуть відповідальність майстер зміни і начальник виробництва.

Роботу вентиляційних установок (перевірку їх справності та відповідності проекту, перевірку ефективності дії з відбором проб для аналізу повітряного середовища, ефективності очищення повітря, що викидається в атмосферу, своєчасність очищення вентиляційної системи, чистоти подається в припливну систему повітря і відповідності його заданим температурним режимом) контролює служба головного механіка (енергетика).

Ремонт вентиляційних систем забороняється проводити без попереднього очищення, промивання, продування і оформлення відповідного акту про очищення системи.

Перед початком роботи повинні бути ретельно перевірені справність обладнання, комунікацій, пристосувань, контрольно-вимірювальних приладів, приладів автоматики дистанційного керування, мережі електричного освітлення, вентиляції, допоміжного обладнання, захисно-огорожувальних та блокувальних пристроїв, засобів пожежогашіння і сигналізації, аварійних і запасних пристроїв для пуску і зупинки устаткування, наявність інструменту, а також наявність електроенергії, пара, води, стисненого повітря і підготовленість сировини і матеріалів, про що повинен бути зроблений відповідний запис в журналі приймання та здавання змін.

Все обладнання повинно бути оглянуто і перевірено пуском на холостому ході.

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						64
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		

Забороняється залишати без безпосереднього нагляду або контролю з пульта працююче обладнання.

Забороняється вести роботу на несправному або забрудненому обладнанні і з несправними приладами, некондиційними або забрудненими матеріалами і невідповідним інструментом, а також при непрацюючій вентиляції, несправній системі пожежогасіння або при відсутності відповідних засобів пожежогасіння.

Для поточного обслуговування обладнання в розпорядження виробничого майстра виділяються спеціально навчені і проінструктовані слюсарі і електромонтери. Технічне керівництво ними здійснюють механік, енергетик і майстер КВП.

На шкалах контрольно-вимірювальних приладів або близько приладів повинні бути чітко позначені показники гранично допустимих значень заданих параметрів (червона риска, червона стрілка, цифрові показники і т.д.).

Все транспортують пристрої повинні бути доступні і зручні для огляду і очищення від продукту. Звільнення засувки, вентилів, кранів повинно бути зручно і доступно з підлоги або зі спеціальних майданчиків.

Усі проведені види ремонту при поточному обслуговуванні обладнання слюсар і електромонтер заносять в журнал приймання і здавання зміни.

Ремонт, розбирання та складання технологічних транспортують коштів можна проводити тільки після повного очищення їх від продукції зі складанням акту про проведені роботи.

Захисні пристрої і огорожі призначені для захисту працюючих від механічних пошкоджень, що рухаються. Знімати огороження в разі ремонту обладнання допускається після повної зупинки обладнання і тільки з дозволу виробничого майстра. За наявність захисних о огорожень, їх утримання та експлуатацію несуть відповідальність майстер зміни і начальник виробництва.

Роботу вентиляційних установок (перевірку їх справності та відповідності проекту, перевірку ефективності дії з відбором проб для аналізу повітряного середовища, ефективності очищення повітря, що викидається в атмосферу, своєчасність очищення вентиляційної системи, чистоти подається в при-

										Арк.
										65
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата						

точну систему повітря і відповідності його заданому температурному режиму) контролює служба головного механіка (енергетика).

Ремонт вентиляційних систем забороняється проводити без попереднього котельної очищення, промивання, продування і оформлення відповідного акту про очищення системи.

Устаткування виробництва при підготовці до монтажних або ремонтних робіт очищається від залишків продукції шляхом промивання, протирання, випалу і т.д. Підготовленість обладнання (або всього приміщення) перевіряють комісії, які призначаються розпорядженням начальника виробництва.

Приміщення та обладнання при підготовці до монтажних і ремонтних робіт із застосуванням вогню (газоелектрозварення і ін.) приймає комісія під головуванням начальника виробництва в складі начальника ділянки, механіка (енергетика), заступника начальника виробництва з охорони праці та техніки безпеки і представника пожежної охорони.

Приміщення та обладнання при підготовці до монтажних і ремонтних робіт без застосування вогню приймає комісія в тому ж складі, але без участі представника пожежної охорони.

Комісія складає акт перевірки з висновком про можливість проведення ремонтно-монтажних робіт.

Забороняється проводити ремонт без зупинки решти устаткування на ділянках, де працює обладнання може становити загрозу для осіб, зайнятих ремонтними роботами.

Дрібні ремонтні роботи, проведення яких допускається (як виняток) без зупинки виробництва або без звільнення обладнання, повинні бути організовані так, щоб вони не могли стати причиною загоряння або вибуху устаткування, що ремонтується. Місце проведення ремонту повинно бути рясно змочена водою і підтримуватися в мокрому або вологому стані. Інструмент повинен бути виготовлений з іскробезпечного матеріалу.

Спецодяг: білизна натільна бавовняну, костюм бавовняний, комбінезон бавовняний, халат бавовняний, косинка, бере бавовняні; фартух з

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		66

прогумованої тканини, спецвзуття: тапочки (без металевих цвяхів, підківок і т.д.), калоші гумові, чоботи гумові.

Для захисту органів дихання працюючих на операціях з виділенням пилу - респіратор, для захисту рук від впливу розчинників і шкідливих речовин - рукавички гумові і бавовняні.

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						67
<i>ЗМН.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>підпис</i>	<i>Дата</i>		

## Список літератури

1. А.Г. Касаткін. Основні процеси та апарати хімічної технології. М.: Хімія, 1971, 784 с. (rus)
2. Основні процеси та апарати хімічної технології: Посібник з проектування / Г.С. Борисов, В.П. Бриків, Ю.І. Дитнерській і ін. Під ред. Ю.І. Дитнерській, 2-е изд., Перераб. і додатк. М.: Хімія, 1991. - 496 с. (rus)
3. Павлов К.Ф., Романків П.Г., Носков А.А. Приклади і задачі по курсу процесів і апаратів хімічної технології. Навчальний посібник для вузів / Під ред. Чл.-кор. АН СРСР П.Г. Романкова. - 10-е изд., Перераб. і доп. - Л.: Хімія, 1987. - 576 с., Іл. (rus)
4. П.Г. Романків, Н.Б. Рашковская. Сушка в киплячому шарі. Теорія, конструкції, розрахунок - Л.: Хімія, 1964. - 288 с. (rus)
5. Сушильні установки хімічної промисловості. Чорнобильський І.І., Тананайко Ю.М., «Техніка», 1969, 280 с.
6. М.В. Ликов. Сушка в хімічній промисловості. - М.: Хімія, 1970. - 432 с.
7. А.А. Лацинський. Конструювання зварних хімічних апаратів. Довідник. - Л.: Машинобудування. (rus)
8. Розрахунок і конструювання машин і апаратів хімічних виробництв. Приклади і задачі / Под ред. д-ра техн. наук проф. М.Ф. Михалева. - Л.: Машинобудування, 1984, 297 с. (rus)
9. Основи конструювання розрахунку хімічної апаратури. Лацинський А.А., Толчинский А.Р. Л., «Машинобудування», 1970, 752 с.
10. Єрмаков В.І., Шеїн В.С. Ремонт і монтаж хімічного обладнання. Л., "Хімія", Ленінградське отд-е, 1981 (rus)
11. Макаров Г.В., Стрельчук Н.А. "Охорона праці в хімічній промисловості". М.: Хімія, 1977, - 568с.

					<b>ХІ.С.00.00.00 ПЗ</b>	Арк.
ЗМН.	Арк.	№ докум.	підпис	Дата		68