

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

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВР**  
зі спеціальності 6.133: Галузеве машинобудування

Тема роботи: Виробництво сульфату амонію. Спроектувати барабанна сушарка продуктивністю 8 т/год.

Виконав студент

Горбач А.С.

Залікова книжка:

№ \_\_\_\_\_

Захищений з оцінкою:

Керівник проекту

\_\_\_\_\_

Романько С.М.

ШІ Сум ДУ 2024

## Реферат

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

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

Тема: Виробництво сульфату амонію. Спроекувати барабанна сушарка продуктивністю 8 т/год.

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

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

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

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

Ключові слова: АПАРАТ, СУШАРКА БАРАБАННА, СУЛЬФАТ АМОНІЙ, КОРПУС

## Зміст

Вступ .....	5
1 Технологічна частина .....	6
1.1 Опис технологічної схеми виробництва .....	6
1.2 Теоретичні основи процесу .....	7
1.3 Опис конструкції та матеріалу апарату .....	8
2 Технологічні розрахунки процесу та апарату .....	11
2.1 Матеріальний баланс процесу .....	11
2.2 Тепловой баланс процесу .....	12
2.3 Конструктивні розрахунки апарата .....	19
2.4 Гідравлічний опір апарата .....	21
2.5 Вибір допоміжного обладнання .....	23
3 Розрахунки апарату на міцність та герметичність .....	30
3.1 Визначення товщини стінки барабана .....	30
3.2 Розрахунок товщини опорного бандажа сушилки .....	34
3.3 Розрахунок упорного ролика .....	37
3.4 Розрахунок лабіринтного ущільнення .....	38
3.5 Розрахунок товщини ізоляції апарату .....	39
4 Монтаж і ремонт апарата .....	43
4.1 Монтаж апарата .....	43
4.2 Ремонт апарата .....	44
5 Охорона праці .....	47
5.1 Аналіз потенційних небезпек .....	47
5.2 Вимоги з охорони праці .....	48
5.3 Вимоги до виробництва .....	49
Висновки .....	52
Література .....	53
Додатки .....	54

## Вступ

Виробництво сульфату амонію є важливим джерелом мінеральних добрив. За масштабами споживання сульфат амонію значно перевищує решту азототукових добрив. Це частково пояснюється тим, що за вмістом азоту він займає одне з перших місць, поступаючись лише сечовині та нітрату амонію.

У балансі виробництва азотних добрив частку сульфату амонію припадає близько 27% від загального виробництва цих добрив. Внаслідок хорошої розчинності сульфат амонію легко поглинається вологою, що міститься в ґрунті, завдяки чому рослини добре засвоюють його азот. При цьому аміачна форма останнього забезпечує рослинам повільне та поступове поглинання його. Сірчана кислота, що звільняється, при тривалому періоді внесення сульфату амонію в ґрунт (20 - 25 років) може призвести до закислення ґрунту і ослаблення удобрювального ефекту. Тому сульфат амонію як фізіологічно кисле добриво не слід вносити до кислих ґрунтів. Його не слід застосовувати на піщаних ґрунтах, де протягом осені та зими втрати азоту бувають неприпустимо високі.

Сульфат амонію особливо ефективний як осіннє добриво на важких і добре поглинаючих ґрунтах. Внесення сульфату амонію під картопля, озиме жито, пшеницю та інші культури, які не бояться підвищеної кислотності, дає чудові результати. Здатність сульфату амонію підкислювати ґрунт у ряді випадків корисно використовується. У деяких районах віддають перевагу сульфату амонію ще тому, що при підкисленні ґрунту створюються сприятливі умови для боротьби з паршею.

На підкислених ґрунтах добре розвиваються кавуни, цитрусові та інші культури. Якщо при цьому взяти до уваги порівняльну простоту виробництва сульфату амонію, то можна зрозуміти, чому він протягом тривалого часу займає чільне місце в асортименті азотних добрив.

## 1 Технологічна частина

### 1.1 Опис технологічної схеми виробництва

Принципова схема прямої барабанної сушильної установки показана на рисунку 1.

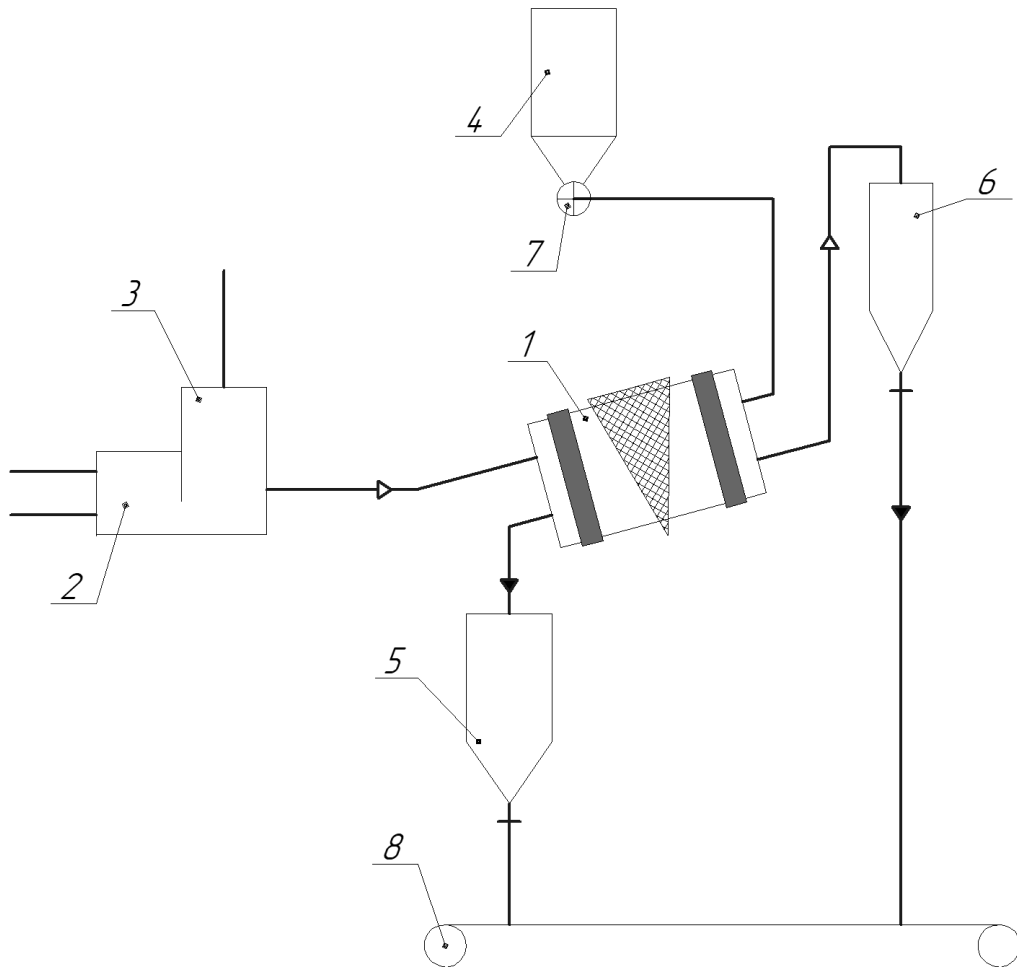


Рисунок 1 – Схема виробництва сульфату амонію

1 – барабанна сушарка, 2 – топка, 3 – змішувальна камера, 4 – бункер із вологим матеріалом, 5 – бункер із сухим матеріалом, 6 – циклон, 7 – дозатор, 8 – конвеєр

Вологий матеріал з бункера 4 за допомогою дозатора 7 подається в обертовий сушильний барабан 1. Паралельно матеріалу в сушарку подається сушильний агент, що утворюється від згоряння палива в топці 2 і змішування топкових газів з повітрям в камері змішувача 3. Повітря в топку та змішувальну камеру подається вентилятором. Висушений матеріал з протилежного кінця сушильного барабана надходить у проміжний бункер 5, а з нього на транспортуючий пристрій 8.

Відпрацьований сушильний агент перед викидом в атмосферу очищається від пилу в циклоні 6. При необхідності проводиться додаткове мокре пиловловлення.

Транспортування сушильного агента через сушильну установку здійснюється за допомогою вентилятора. При цьому установка зазвичай знаходиться під невеликим розрідженням, що виключає витік сушильного агента через нещільність установки.

Барабан приводиться у обертання через вінцеве зубчасте колесо за допомогою зубчастої передачі дроту.

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

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

## 1.2 Теоретичні основи процесу [2]

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

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

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

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

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

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

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

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

Механічно пов'язані з матеріалом поверхнева волога і волога, що заповнює великі капіляри матеріалу в результаті змочування. Ця волога (іноді звана зовнішньою) найменш міцно пов'язана з матеріалом і найбільш легко видаляється з нього.

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

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

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

### 1.3 Опис конструкції та матеріалу апарату [9]

Барабанна сушарка є циліндричний похилий барабан з двома бандажами, які при обертанні барабана котяться по опорних роликах. Матеріал надходить з піднятого кінця барабана через живильник, захоплюється гвинтовими лопатями, на яких він підсушується, після чого переміщається вздовж барабана, що має кут нахилу до горизонту до  $6^\circ$ . Осьове зміщення барабана запобігає завзятим роликам.

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

Зазвичай у барабанних сушарках матеріал і сушильний агент рухаються прямострумом, завдяки цьому запобігає пересушуванню матеріалу та винесення матеріалу топковими газами у бік, протилежний його руху. Для зменшення винесення при прямотоці швидкість газів у барабані підтримують трохи більше 2-3 м/с, залежно від розмірів частинок матеріалу. Гази надходять з топки, що

примикає до барабана з боку входу матеріалу і з змішувальною камерою для охолодження газів до потрібної температури зовнішнім повітрям.

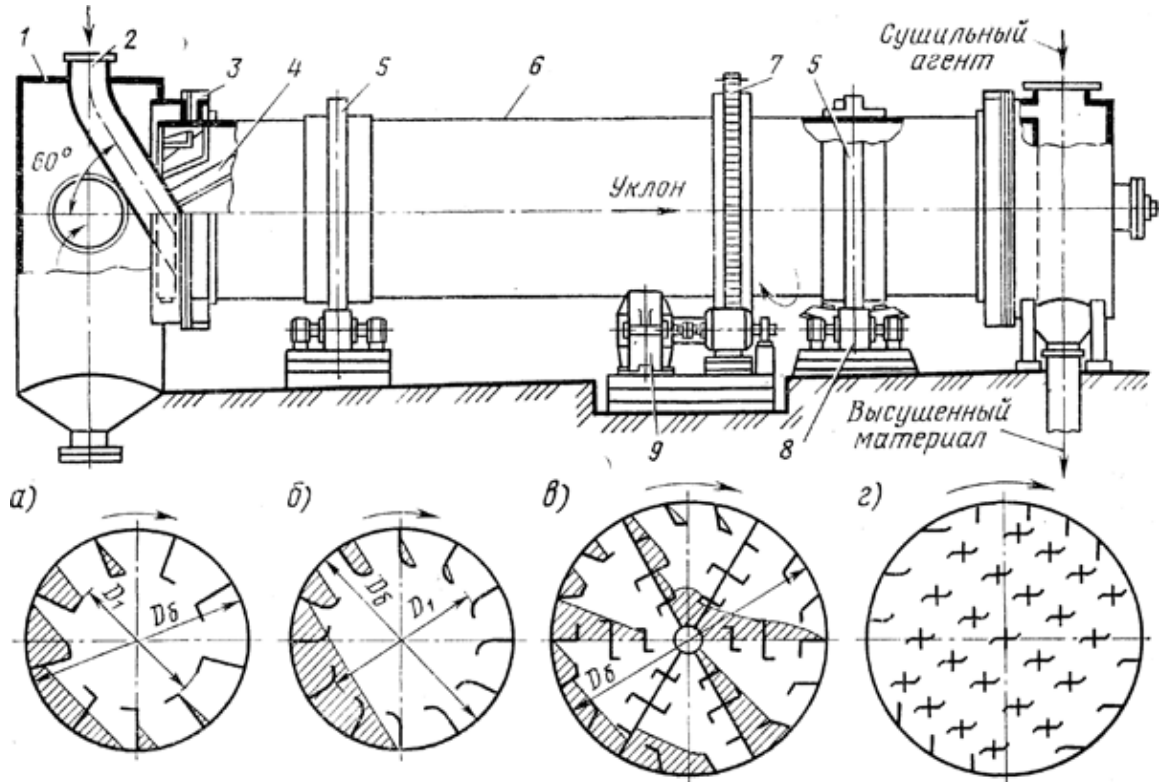


Рисунок 2 - Барабанна сушарка

1 - камера для відведення сушильного агента; 2 – подача сирого матеріалу; 3 – ущільнювальне кільце; 4 – головка; 5 – скільзна опора; 6 – барабан; 7 – колесо приводу; 8 – опорно-упорний підшипник; 9 - електродвигун з редуктором; а і б – підйомно-лопатева система насадки; в – розподільчо-перевалочна система із закритими камінками; г – розподільна система

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

Гази просмоктуються через барабан за допомогою димососа, встановленого за сушаркою. Для уловлювання з газів пилу між барабаном та димососом розташований циклон. При такій схемі установки барабан працює при розрідженні, при цьому значно зменшується зношування вентилятора частинками пилу.

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

Барабанні сушарки широко застосовуються для сушіння сипких і дрібнокускових матеріалів (колчедан, вугілля, фосфорити, мінеральні солі та ін.).

Переваги барабанних сушарок:



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

- велика напруга барабана по волозі, що досягає 100 кг/м<sup>3</sup> ч і більше; - Компактність установки. Суть вибору конструкції барабанної сушарки визначається вибором типу насадки барабана. Вибір типу насадки залежить від умов сушіння, від властивостей матеріалу, що висушується. Так в залежності від номінального розміру частинок матеріалу, що висушується, а також того що сульфат амонію має мале значення насипної щільності, вибираємо лопатеву насадку.

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

Таблиця 1.1 - Хімічний склад та механічні властивості сталі 20

C, %	Mn, %	Si, %	Cr, %	Ni, %	Cu, %	As, %	S, %	P, %	E·10 <sup>5</sup> МПа	σ МПа	σ МПа	δ %
0,23- 0,3	0,5- 0,8	0,05- 0,19	0,3	0,5	0,3	0,08	0,05	0,04	2,0	280	400	23

## 2 Технологічні розрахунки процесу та апарату

### 2.1 Матеріальний баланс процесу

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

Тоді матеріальний баланс у всій кількості речовини висловиться рівнянням

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

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

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

Спільне рішення рівнянь матеріального балансу дозволяє отримати залежність визначення кількості:

висушеного матеріалу

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

$$G_k = 8000 \cdot \frac{100 - 4,8}{100 - 0,3} = 7639 \text{ кг/год}$$

випареної вологи

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

$$W = 8000 \cdot \frac{4,8 - 0,3}{100 - 0,3} = 361 \text{ кг/год.}$$

Секундна продуктивність:

по вологому матеріалу

$$G_0 = \frac{9000}{3600} = 2,2 \text{ кг/с;}$$

за висушеним матеріалом

$$G_k = \frac{7639}{3600} = 2,1 \text{ кг/с};$$

по випареній волозі

$$W = \frac{361}{3600} = 0,11 \text{ кг/с}.$$

## 2.2 Тепловой баланс процесу

Внаслідок незначної різниці ентальпій топкових газів та повітря (не більше 0,8%) [1] при розрахунку газових сушарок можна користуватися I – x діаграмою вологого повітря.

Прийmemo, що як паливо використовується природний сухий газ (як найбільш екологічно чисте паливо) наступного складу (об'ємних %):

92,0% CH<sub>4</sub>; 0,5% C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>; 5,0% H<sub>2</sub>; 1,0% CO; 1,5% N<sub>2</sub>.

Теоретична кількість сухого повітря L<sub>0</sub>, витрачається на спалювання 1 кг палива, що дорівнює (формула X.1) [4]:

$$L_0 = 138 \cdot (0,0179CO + 0,24H_2) + \sum \frac{m + \frac{n}{4}}{12 \cdot m + n} C_m H_n, \quad (2.5)$$

де склади газових газів виражені в об'ємних частках. Підставляючи відповідні значення, отримаємо:

$$L_0 = 138 \cdot (0,0179 \cdot 0,01 + 0,248 \cdot 0,05 + \frac{1 + \frac{4}{4}}{12 \cdot 1 + 4} \cdot 0,92 + \frac{2 + \frac{6}{4}}{12 \cdot 2 + 6} \cdot 0,005) =$$
$$= 17,68 \text{ кг/кг}.$$

Для визначення теплоти згоряння палива скористаємося характеристиками горіння простих газів (див. с. 163) [4]:

Газ	Реакція	Тепловий ефект реакції, кДж/м <sup>3</sup>
Водень	H <sub>2</sub> + 0,5O <sub>2</sub> = H <sub>2</sub> O	10810
Окис вуглецю	CO + 0,5O <sub>2</sub> = CO <sub>2</sub>	12680
Метан	CH <sub>4</sub> + 2O <sub>2</sub> = CO <sub>2</sub> + 2H <sub>2</sub> O	35741
Етан	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> + 3,5O <sub>2</sub> = 2CO <sub>2</sub> + 3H <sub>2</sub> O	63797

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

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

Щільність газоподібного палива  $\rho_T$

$$\rho_T = \frac{\sum C_m H_n \cdot M_i}{V_0} \cdot \frac{T_0}{T_0 + t_T}, \quad (2.6)$$

де  $M_i$  – мольна маса палива, кмоль/кг;  $t_T$  – температура палива,  $t_T = 18^\circ\text{C}$ ;  $V_0$  – мольний обсяг,  $V_0 = 22,4 \text{ м}^3/\text{кмоль}$ . Тоді

$$\rho_T = \frac{(0,92 \cdot 16 + 0,005 \cdot 30 + 0,05 \cdot 2 + 0,01 \cdot 28 + 0,015 \cdot 28) \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + 18)} = 0,652 \text{ кг/м}^3.$$

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

$$Q = \frac{Q_v}{\rho_T} \quad (2.7)$$

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

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  $t_1 = 160^\circ\text{C}$ . Значення коефіцієнта  $\alpha$  за формулою Х.6 [4]:

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

де  $\eta$  – ккд топки,  $\eta = 0,95$ ;  $c_T$  – теплоємність газоподібного палива за температури

$t_T = 18^\circ\text{C}$ ,  $c_T = 1,34 \text{ кДж/кг}\cdot\text{K}$ ;  $I_0$  – ентальпія свіжого повітря,  $\text{кДж/кг}$ ;  $i_{c,r}$  – ентальпія сухих газів,  $\text{кДж/кг}$ ;

$$i_{c,r} = c_{c,r} \cdot t_{c,r}; \quad (2.9)$$

$c_{с.г}$  – теплоємність сухих газів,  $c_{с.г} = 1,05$  кДж/кг·к;  $t_{с.г}$  – температура сухих газів,

$t_{с.г} = 160^{\circ}\text{C}$ ;  $x_0$  – вміст свіжого повітря при місцевих умовах (прийнятих): температурі  $18^{\circ}\text{C}$  та відносної вологості  $\varphi_0 = 72\%$ ;  $i_{п}$  – ентальпія водяної пари, кДж/кг;

$$i_{п} = r_0 + c_{п} \cdot t_{п}, \quad (2.10)$$

$r_0$  – теплота випаровування води за температури  $0^{\circ}\text{C}$ ,  $r_0 = 2500$  кДж/кг;  $c_{п}$  – середня теплоємність водяної пари,  $c_{п} = 1,97$  кДж/кг·к;  $t_{п}$  – температура водяної пари,

$$t_{п} = t_{с.г} = t_1 = 160^{\circ}\text{C}.$$

Перерахуємо вміст компонентів палива, при згорянні яких утворюється вода, з об'ємних часток у масові:

$$\text{CH}_4 = \frac{0,92 \cdot 16 \cdot 273}{22,4 \cdot 0,652 \cdot (273 + 18)} = 0,939;$$

$$\text{C}_2\text{H}_6 = \frac{0,005 \cdot 30 \cdot 273}{22,4 \cdot 0,652 \cdot (273 + 18)} = 0,0096;$$

$$\text{H}_2 = \frac{0,05 \cdot 2 \cdot 273}{22,4 \cdot 0,652 \cdot (273 + 18)} = 0,0064.$$

Кількість вологи, що виділилася при згорянні 1 кг палива, дорівнює:

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

Коефіцієнт надлишку повітря

$$\alpha = \frac{51945 \cdot 0,95 + 1,34 \cdot 18 - 1,05 \cdot 160 \cdot (1 - 2,19) - (2500 + 1,97 \cdot 160) \cdot 2,19}{17,68 \cdot (1,05 \cdot 160 + (2500 + 1,97 \cdot 160) \cdot 0,0092 - 41,9)} = 16,1.$$

Загальна питома маса сухих газів, що отримується при спалюванні 1 кг палива та розведенні топкових газів повітрям до температури суміші  $t_1 = 160^{\circ}\text{C}$ , дорівнює:

$$G_{c,r} = 1 + \alpha \cdot L_0 - \sum \frac{9 \cdot n}{2 \cdot m + n} \cdot C_m H_n \quad (2.11)$$

$$G_{c,r} = 1 + 16,1 \cdot 17,68 - 2,19 = 283,5 \text{ кг/кг.}$$

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

$$G_n = \sum \frac{9 \cdot n}{12 \cdot m + n} \cdot C_m H_n + \alpha \cdot x_0 \cdot L_0 \quad (2.12)$$

$$G_n = 2,19 + 16,1 \cdot 0,0092 \cdot 17,68 = 4,81 \text{ кг/кг.}$$

Вологовміст газів на вході в сушарку

$$x_1 = \frac{G_n}{G_{c,r}} \quad (2.13)$$

$$x_1 = \frac{4,81}{283,5} = 0,017 \text{ кг/кг.}$$

Оскільки коефіцієнт надлишку повітря  $\alpha$  великий, фізичні властивості газової суміші, що використовується як сушильний агент, практично не відрізняються від фізичних властивостей повітря. Це дозволяє використовувати в розрахунках діаграму стану вологого повітря I - x.

За параметрами повітряної суміші на вході у сушарку

( $x_1 = 0,017$  кг/кг и  $t_1 = 160^\circ\text{C}$ ) визначаємо ентальпію суміші:

$$I_1 = 209 \text{ кДж/кг.}$$

Враховуючи, що температура відпрацьованої повітряної суміші повинна бути на  $10\text{-}30^\circ\text{C}$  вище кінцевої температури матеріалу, приймаємо

$$t_2' = t_{\text{км}} + 20 = 80 + 20 = 100^\circ\text{C.}$$

Тоді параметри повітряної суміші на виході із сушарки за I - x діаграмою:

$t_2' = 100^\circ\text{C}$ ;  $I_2' = I_1 = 209$  кДж/кг;  $x_2 = 0,039$  кг/кг. Далі складаємо тепловий баланс сушарки.

Тепло, що надходить із повітрям

$$Q_1 = L \cdot I_0 \quad (2.14)$$

тепло, що надходить із матеріалом

$$Q_2 = G_k \cdot c_m \cdot t_{HM} \quad (2.15)$$

тепло, що надходить з випаровуваною вологою матеріалу

$$Q_3 = W \cdot c_b \cdot t_{HM} \quad (2.16)$$

тепло, отримане в калорифері, позначимо через  $Q_4$ ;

тепло, винесене сушильним агентом

$$Q_5 = L \cdot I_2 \quad (2.17)$$

тепло, винесене із сушарки з парами вологи, що випарувалася з матеріалу

$$Q_6 = W \cdot i_{II} \quad (2.18)$$

тепло, що пішло з висушеним матеріалом

$$Q_7 = G_k \cdot c_m \cdot t_{KM} \quad (2.19)$$

тепло втрат  $Q_{пот}$ .

Запишемо рівняння приходу та витрати тепла

$$Q_{прих} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \quad (2.20)$$

$$Q_{расх} = Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_{пот} \quad (2.21)$$

звідки рівняння теплового балансу

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_{пот} \quad (2.22)$$

Вирішуючи рівняння теплового балансу щодо ентальпії відпрацьованої суміші, отримаємо

$$I_2 = I_1 - \frac{\Delta}{1} \quad (2.23)$$

де  $\Delta$  – різниця питомих витрат теплоти в реальній та теоретичній сушарках, що враховує витрату тепла на нагрівання матеріалу та втрати тепла на нагрівання матеріалу та втрати теплоти у навколишнє середовище

$$\Delta = \frac{G_k}{W} \cdot c_m \cdot (t_{km} - t_{nm}) - c_b \cdot t_{nm} + q_p \quad (2.24)$$

де  $c_m = 0,72$  кДж/кг·К – теплоємність матеріалу,  $c_b = 4,19$  кДж/кг·К - теплоємність води.

$$t_{cp} = \frac{t_{nm} + t_{km}}{2} = \frac{28 + 80}{2} = 54^\circ\text{C}.$$

Витрата сухого газу  $L_{c.g}$

$$L_{c.g} = \frac{W}{x_2 - x_1} \quad (2.25)$$

$$L_{c.g} = \frac{0,11}{0,039 - 0,017} = 5,0 \text{ кг/с}.$$

Витрата сухого повітря  $L$

$$L = \frac{W}{x_2 - x_0} \quad (2.26)$$

$$L = \frac{0,11}{0,039 - 0,0092} = 3,7 \text{ кг/с}.$$

Витрата тепла на сушіння

$$Q_c = L_{c.g} \cdot (I_1 - I_0) \quad (2.27)$$

$$Q_c = 5,0 \cdot (209 - 41,9) = 836 \text{ кВт}.$$



Витрата палива на сушіння

$$G_T = \frac{Q_c}{Q} \quad (2.28)$$

$$G_T = \frac{836}{51945} = 16,1 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с.}$$

Питома витрата повітряної суміші

$$\ell = \frac{L}{W} \quad (2.29)$$

$$\ell = \frac{3,7}{0,11} = 33,6 \text{ кг/кг.}$$

Питома витрата тепла на сушіння

$$q = \ell \cdot (I_1 - I_0) \quad (2.30)$$

$$q = 33,6 \cdot (209 - 41,9) = 5615 \text{ кДж/кг.}$$

Втрати тепла

$$q_{\text{пот}} = 0,1 \cdot q \quad (2.31)$$

$$q_{\text{пот}} = 0,1 \cdot 5615 = 561,5 \text{ кДж/кг.}$$

Отже

$$\Delta = \frac{2,39}{0,11} \cdot 0,72 \cdot (80 - 28) - 4,19 \cdot 28 + 561,5 = 874 \text{ кДж/кг.}$$

Тоді ентальпія повітряної суміші на виході із сушарки

$$I_2 = 209 - \frac{874}{33,6} = 183 \text{ кДж/кг.}$$

Значенням  $I_2 = 183$  кДж/кг и  $x_2 = 0,037$  кг/кг відповідає за I – x діаграмі температура повітряної суміші  $t_2 = 85^\circ\text{C}$ , т. е.  $t_2 > t_{\text{км}}$

### 2.3 Конструктивні розрахунки апарата

Відповідно до рекомендацій (табл. 10.2) [3] приймаємо при насипній щільності

$\rho = 1160$  кг/м<sup>3</sup> (табл. 9) [5], швидкість повітря в сушарці  $\omega_r = 1,6$  м/с. По табл. 9 [5] коефіцієнт заповнення барабана при лопатевій насадці:  $\beta = 0,2$ . Щільність повітряної суміші за середньої температури

$$t_{\text{cp}} = \frac{t_1 + t_2}{2} \quad (2.32)$$

$$t_{\text{cp}} = \frac{160 + 85}{2} = 123^\circ\text{C}$$

має значення

$$\rho_B = \frac{M \cdot T_0}{22,4 \cdot (T_0 + t_{\text{cp}})} \quad (2.33)$$

$$\rho_B = \frac{29 \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + 123)} = 0,89 \text{ кг/м}^3.$$

Попередньо визначаємо внутрішній діаметр сушильного барабана

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot L}{\pi \cdot \rho_B \cdot (1 - \beta) \cdot \omega_r}} \quad (2.34)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,7}{3,14 \cdot 0,89 \cdot (1 - 0,2) \cdot 1,6}} = 2,03 \text{ м,}$$

приймаємо  $D = 2,0$  м.

Згідно табл. 9 [5] приймаємо напругу барабана сушарки з вологи

$A_v = 11$  кг/м<sup>3</sup>·ч, залежить від типу сушарки, виду матеріалу, що висушується і ін. факторів.

Об'єм сушильного барабана

$$V_{\delta} = \frac{W}{A_v} \quad (2.35)$$

$$V_{\delta} = \frac{361}{11} = 37,9 \text{ м}^3.$$

Попередня довжина барабана

$$L_{\delta} = \frac{4 \cdot V_{\delta}}{\pi \cdot D^2} \quad (2.36)$$

$$L_{\delta} = \frac{4 \cdot 37,9}{3,14 \cdot 2,0^2} = 12,1 \text{ м},$$

приймаємо  $L_{\delta} = 12,0 \text{ м}$ .

Товщину футерування та обичайки барабана приймаємо:  $\delta = 0,1 \text{ м}$ .

Зовнішній діаметр барабана

$$D_H = D + 2 \cdot \delta \quad (2.37)$$

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

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

діаметр барабана  $D_H = 2000 \text{ мм}$ ;

довжина барабана  $L = 12000 \text{ мм}$ ;

Маса матеріалу в сушильному барабані

$$M = 0,785 \cdot D^2 \cdot L_{\delta} \cdot \beta \cdot \rho \quad (2.38)$$

$$M = 0,785 \cdot 2,0^2 \cdot 12 \cdot 0,2 \cdot 1160 = 6557 \text{ кг}.$$

Час перебування матеріалу, що висушується в сушарці

$$\tau = \frac{M}{G_k} \quad (2.39)$$

$$\tau = \frac{6557}{2,39} = 2744 \text{ с} = 45,7 \text{ хв} = 0,76 \text{ год.}$$

Число обертів барабана стосовно даних умов експлуатації

$$n = \frac{L}{a \cdot \tau \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot D} \quad (2.40)$$

По табл. 34 [1] значення коефіцієнта для сушарки діаметром  $D = 2000$  мм та лопатевою насадкою:  $a = 1,2$ . Кут нахилу барабана приймаємо:  $\alpha = 3^\circ$ , тоді  $\operatorname{tg} \alpha = 0,0524$ . Отже

$$n = \frac{12000}{1,2 \cdot 45,7 \cdot 0,0524 \cdot 2000} = 0,88 \text{ об/хв.}$$

Потужність, що витрачається на обертання барабана

$$N = 0,078 \cdot D^3 \cdot L \cdot \rho \cdot \sigma \cdot n \quad (2.41)$$

$$N = 0,078 \cdot 2,0^3 \cdot 12 \cdot 6557 \cdot 0,053 \cdot 0,0147 = 24,0 \text{ кВт}$$

де  $\sigma = 0,053$  – коефіцієнт, що залежить від виду насадки та ступеня заповнення барабана (табл. 35) [1];  $n = 0,0147$  об/с – частота обертання барабана.

З діапазону потужностей приводу барабана для вибраної сушарки приймаємо  $N = 27,4$  кВт, при цьому враховуємо ККД приводу та наявність пускових моментів.

## 2.4 Гідравлічний опір апарата

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

$$\Pi = \pi \cdot D + 2 \cdot z \cdot l_0 \quad (2.42)$$

$$\Pi = 3,14 \cdot 2,0 + 2 \cdot 8 \cdot 0,28 = 10,76 \text{ м.}$$

Вільна площа перерізу корпусу сушарки без урахування товщини лопатей

$$f = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (2.43)$$

$$f = \frac{3,14 \cdot 2,0^2}{4} = 3,14 \text{ м}^2.$$

Еквівалентний діаметр сушильного барабана

$$d_{\text{экв}} = \frac{4 \cdot f}{\Pi} \quad (2.44)$$

$$d_{\text{экв}} = \frac{4 \cdot 3,14}{10,76} = 1,17 \text{ м.}$$

Уточнимо швидкість руху сушильного агента за прийнятим діаметром барабана ( $D = 2000$  мм):

$$\omega_{\Gamma} = \frac{4 \cdot L}{\pi \cdot \rho_{\text{в}} \cdot (1 - \beta) \cdot D^2} \quad (2.45)$$

$$\omega_{\Gamma} = \frac{4 \cdot 3,7}{3,14 \cdot 0,89 \cdot (1 - 0,2) \cdot 2,0^2} = 1,65 \text{ м/с.}$$

В'язкість сушильного агента за середньої температури

$$t_{\text{ср}} = 123^{\circ}\text{C} \text{ по табл. XIII [1]: } \mu = 0,0238 \cdot 10^{-3} \text{ Па.}$$

Значення критерію Re для сушильного агента

$$\text{Re} = \frac{\omega_{\Gamma} \cdot d_{\text{экв}} \cdot \rho_{\text{в}}}{\mu_{\text{в}}} \quad (2.46)$$

$$\text{Re} = \frac{1,65 \cdot 1,17 \cdot 0,89}{0,0238 \cdot 10^{-3}} = 72191 > \text{Re} = 10000,$$

отже, режим руху турбулентний.

Коефіцієнт тертя

$$\lambda = \frac{0,316}{\text{Re}^{0,25}} \quad (2.47)$$

$$\lambda = \frac{0,316}{72191^{0,25}} = 0,0192$$

Втрата тиску на довжині сушильного барабана

$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{L}{d_{\text{екв}}} \cdot \frac{\omega_r^2 \cdot \rho}{2} \quad (2.48)$$

$$\Delta p = 0,0192 \cdot \frac{12}{1,17} \cdot \frac{1,65^2 \cdot 0,89}{2} = 72 \text{ Па.}$$

За досвідченими даними опір барабанної сушарки  $\Delta p = 100 \dots 200$  Па (см. с. 167) [6] при швидкості повітря  $\omega_r = 2,0$  м/с та коефіцієнті заповнення  $\beta = 0,2$ . В даному випадку також враховується гідравлічний опір матеріалу, що пересипається з лопатей.

## 2.5 Вибір допоміжного обладнання

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

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

Вихідні дані для розрахунку:

продуктивність по сушильному агенту

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

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

найменший діаметр уловлюваних частинок:

$$d_{\min} = 0,3 \text{ мм};$$

швидкість газової суміші  
при вході в циклон:

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

в циклоні:

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

у вихлопній трубі:

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

Площа перерізу вхідного патрубку

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

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

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

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

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

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

Орієнтовне значення діаметра циклону

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

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

приймаємо  $D = 1,5$  м.

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

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

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

Перевіряємо правильність застосування цієї формули за рівнянням

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

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

тобто формула застосовна.

Внутрішній діаметр вихлопної труби

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

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

Зовнішній діаметр вихлопної труби

$$d_{\text{н}} = d_{\text{вн}} + 2 \cdot \delta \quad (2.56)$$



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

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

Діаметр циклону

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

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

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

Висота циліндричної частини циклону

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

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

Висота конусної частини циклону

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

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

Гідравлічний опір циклону

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

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

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

Далі вибираємо вентилятор.

Потужність, яку споживає вентилятор.

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

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

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

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

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

де

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

опір тертя повітроводів, Па;

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

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

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

швидкісний натиск, Па.

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

Загальна довжина повітроводів  $l = 20$  м;

Кількість засувок  $n_3 = 2$  шт.;

Кількість відводів під кутом  $90^\circ$   $n_{от} = 2$  шт.

Швидкість газів у трубопроводах допускається в межах 10–20 м/с, приймаємо  $\omega_1 = 20$  м/с.

З рівняння витрати знаходимо діаметр повітроводу між апаратами

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

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

Приймаємо повітропровід з листового заліза діаметром 563 x 2 мм.

Уточнюємо швидкість руху повітряної суміші

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

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

Швидкісний напір

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

Величина критерію Re

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

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

Значення коефіцієнта тертя

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

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

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

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

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

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

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

Повний опір сушильної установки

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

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

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

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

### 3 Розрахунки апарату на міцність та герметичність

#### 3.1 Визначення товщини стінки барабана

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

Товщину стінки барабана вибирають за каталогом або попередньо розраховують за емпіричною формулою

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

$$\delta = (0,007 \dots 0,011) \cdot 2,0 = 0,014 \dots 0,022 \text{ м,}$$

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

Маса матеріалу в сушильному барабані

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

$$G_M = 0,785 \cdot 2,0^2 \cdot 12 \cdot 0,15 \cdot 1160 = 6557 \text{ кг.}$$

Маса барабана

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

$$G_{\text{бар}} = 3,14 \cdot 2,0^2 \cdot 0,016 \cdot 8530 \cdot 12 = 10285 \text{ кг.}$$

Маса ізоляції

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

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

$$G_{\text{из}} = 3,14 \cdot (2,0 + 2 \cdot 0,016) \cdot 0,1 \cdot 250 \cdot 12 = 1914 \text{ кг}$$

Сумарне навантаження

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

$$p = (6557 + 1914 + 10285) \cdot 9,81 = 164 \cdot 10^3 \text{ Н} = 0,164 \text{ МН.}$$

Питоме навантаження на довжині барабана

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

$$q = \frac{0,164}{12} = 13,7 \cdot 10^{-3} \text{ МН/м.}$$

Відстань між опорами

$$l_o = 0,586 \cdot L_6 = 0,586 \cdot 12 = 7,03 \text{ м.}$$

Згинальний момент від рівномірно розподіленого навантаження

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

$$M_1 = \frac{13,7 \cdot 10^{-3} \cdot 7,03^2}{8} = 0,085 \text{ МН}\cdot\text{м.}$$

Для діаметра барабана  $D = 2,0$  м вага в'язцевої шестерні (см. с. 163) [6]:  $p_{венц} = 13000$  Н.

Згинальний момент від зосередженого навантаження в'язцевої шестерні.

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

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

Сумарний згинальний момент

$$M_{и} = M_1 + M_2 \quad (3.9)$$

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

Крутний момент на барабані

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

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

Розрахунковий (наведений) момент

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

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

Момент опору перерізу кільцевої стінки барабана

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

$$W = 0,785 \cdot 2,0^2 \cdot 0,016 = 0,0502 \text{ м}^3.$$

Напруга в стінці барабана

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

$$\sigma_u = \frac{0,122}{0,0502} = 2,43 \text{ МН/м}^2,$$

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

Кільцевий момент інерції стінки барабана

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

$$I = \frac{3,14}{8} (2,0 + 0,016)^3 \cdot 0,016 = 0,0515 \text{ м}^4.$$

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

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

$$f_1 = \frac{5 \cdot 13,7 \cdot 10^{-3} \cdot 7,03^4}{384 \cdot 1,9 \cdot 10^5 \cdot 0,0515} = 0,45 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

Прогин під дією сили ваги вінцевої шестерні

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

$$f_2 = \frac{13000 \cdot 10^{-6} \cdot 7,03^3}{48 \cdot 1,9 \cdot 10^5 \cdot 0,0515} = 0,1 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

Загальний прогин

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

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

Прогин, що допускається

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

тобто. умова жорсткості барабана виконується.



### 3.2 Розрахунок товщини опорного бандажа сушилки

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

Реакцію опорного ролика визначаємо за формулою

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

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

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

Діаметр опорного ролика

$$d_p = \frac{D}{3..4} = \frac{2000}{3..4} = 500..667 \text{ мм},$$

приймаємо  $d_p = 550$  мм.

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

Матеріал черевика та роликів – Сталь 45 Л, модуль пружності якої  $E_1 = E_2 = 2 \cdot 10^5$  МПа, допустима напруга на вигин  $[\sigma_w] = 50$  МПа, допустима контактна напруга  $[\sigma_k] = 500$  МПа (см. с. 256) [4].

Кут між черевиками

$$j = \frac{2 \cdot \pi}{n_6} \quad (3.20)$$

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

Число черевиків в одному квадранті

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

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

Приймаємо  $n_{61} = 2$ .

Сила, що діє на нижній 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

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

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

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

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

Згинальний момент у місцях докладання сил по формулі 3.154 [4]

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

$$M_{o0} = -\frac{23 \cdot 1,22}{2 \cdot 3,14} \cdot \left(1 + \frac{1}{\cos 150^\circ} - (3,14 - 2,61) \cdot \operatorname{tg} 150^\circ\right) = -0,65 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

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

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

$$= 0,91 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

Сумарний згинальний момент у ключовому перерізі

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

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

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

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

Приймаємо  $b = 140 \text{ мм}$ .

Висота перерізу бандажа

$$h_b = \sqrt{\frac{6 \cdot M_{max}}{b \cdot [\sigma_n]}} \quad (3.28)$$

$$h_6 = \sqrt{\frac{6 \cdot 0,26 \cdot 10^3}{0,04 \cdot 50 \cdot 10^6}} = 0,149 \text{ м} = 149 \text{ мм},$$

приймаємо  $h_6 = 150 \text{ мм}$ .

### 3.3 Розрахунок упорного ролика

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

$$A = p \cdot \sin \alpha \quad (3.29)$$

$$A = (0,164 + 0,013) \cdot \sin 2^\circ 18' = 0,00864 \text{ МН} = 8,64 \text{ кН}.$$

Середній діаметр бандажу

$$D_{\text{cp}} = D_{\text{н.б}} - h_6 \quad (3.30)$$

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

Кут  $\gamma$  при вершині конуса завязаного ролика

$$\frac{\gamma}{2} = \text{arctg} \frac{d_{\text{yp}}}{d_{\text{cp}}}, \quad (3.31)$$

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

де  $d_{\text{yp}} = 300 \text{ мм}$ , середній діаметр завязаного ролика прийнятий за нормаллями. Сила  $T$ , нормальна до бічної поверхні ролика

$$T = \frac{A}{\cos \frac{\gamma}{2}} \quad (3.32)$$

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

Контактна напруга матеріалу завязаного ролика

$$\sigma_k = 0,418 \cdot \sqrt{\frac{T \cdot E}{h_{yp} \cdot \left(\frac{D_{cp}}{2}\right) \cdot \sin \frac{\gamma}{2}}} \quad (3.33)$$

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

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

$$\sigma_k < [\sigma_k]$$

Виконується,

### 3.4 Розрахунок лабіринтного ущільнення

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### 3.5 Розрахунок товщини ізоляції апарату

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

Загальна втрата тепла випромінюванням та конвекцією знаходимо за формулою

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

де  $\alpha$  - сумарний коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням та конвекцією, Вт/м<sup>2</sup> · К.

Для об'єктів, розташованих усередині приміщення, при температурі стінки до  $150^\circ\text{C}$

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

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

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

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

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

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

Кількість тепла, що передається теплопровідністю ізоляції:

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

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

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

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

Умовна довжина поверхні ізоляції, що розраховується.

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

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

значить

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

Приймаємо середню температуру сушильного агента

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

і позначаємо ставлення  $\frac{\delta_{\text{из}}}{d_{\text{из,сп}}}$  через А; знаходимо

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

При  $A = 0,024$  відношення

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

Визначаємо товщину ізоляції

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

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

Якщо знаходити із спрощеного співвідношення (для плоскої стінки):

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

то

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

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



Перевіряємо температуру внутрішньої поверхні ізоляції

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

звідси

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

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

що збігається з розрахунковим значенням температури.

## 4 Монтаж і ремонт апарата

### 4.1 Монтаж апарата [9]

Особливістю приймання підстав для монтажу апарату є перевірка його осьових та висотних позначок, відхилення яких від проектних не повинні виходити за межі допусків, наведених у БНіП. Такі вимоги диктуються тим, що апарат, що монтується, послідовно пов'язаний з суміжними апаратами короткими трубопроводами або патрубками, які повинні збігатися без зміщення і перекосу.

Висотні позначки опорних основ кожного апарата рекомендується перевіряти гідростатичним рівнем чи нівеліром. Висотні позначки на підставах з металоконструкцій вирівнюють шляхом укладання тонких металевих підкладок, які після встановлення та вивіряння апарата прихоплюють до основи електрозварюванням.

На підставах із збірного залізобетону до встановлення апарату бажано вивести опорну поверхню на проектну відмітку шляхом додавання бетонної суміші з подальшим вирівнюванням та залізненням. Якщо в процесі вивіряння апарата потрібно його вирівнювання, це виконують укладання металевих підкладок під опорні лапи апарату. Остаточне регулювання апарата при його вивірянні здійснюється за допомогою регулювальних гвинтів в опорних лапах.

Апарат перед його установкою надходить на складальний майданчик для блокового складання, гідравлічного випробування та нанесення ізоляції.

На підготовчому майданчику апарат випробовують на міцність і густину при тиску, вказаному в робочому кресленні.

Гідравлічні випробування апарату проводять перед встановленням на фундамент. При виявленні будь-яких дефектів здійснюються заходи щодо їх усунення.

На корпусі апарату заводом-виробником повинні бути передбачені спеціальні захватні пристрої для встановлення їх у проектне положення.

Залежно від місця встановлення апарату, його габаритних розмірів та ваги, підйом здійснюють із застосуванням вантажопідйомних механізмів та пристроїв, передбачених проектом виконання робіт.

При вивірці установки апарата на фундамент відхилення від проектних осей та позначок, а також горизонтальності та вертикальності не повинні перевищувати

- головних осей апарату у плані:  $\pm 20$  мм;
- фактичної висотної позначки встановленого апарату:  $\pm 10$  мм;
- Вертикальній осі апарату від вертикальності: 3 мм на 1 м, але не більше 35 мм.

Вивірка правильності встановлення апарата в проектне положення на фундаменті повинна проводитись

- вертикальних апаратів за допомогою тахометричного теодоліту по двох утворюючих, зрушених у плані щодо один одного на  $90^\circ$ ;
- осей опорних стійок каркасів – схилом;
- площин кронштейнів опорних стійок (несуть труби чи секції) від розташування в одній горизонтальній площині – по натягнутої струні.

При вивірці установки каркаса (опорної металоконструкції) апарата на фундаменті або інших підставах відхилення від проектних розмірів, а також горизонтальності та вертикальності не повинні перевищувати

- осей опорних стійок між собою:  $\pm 3$  мм;
- Осі опорної стійки від вертикальності: 1 мм на 1 м, але не більше 3 мм;
- площин кронштейнів опорних стійок, що несуть труби або секції, від розташування в одній горизонтальній площині не більше 2 мм. [9]

#### 4.2 Ремонт апарата [9]

У процесі тривалої роботи апарат піддається забруднення та зносу. Зношування апарату виражається в наступному:

- Зменшення товщини стінки корпусу, трубних решіток, кришок;
- випучини та вм'ятини на корпусі та кришках;
- нориці, тріщини на корпусі, трубах та фланцях;
- збільшення діаметра отворів у ґратах;
- Порушення гідро-і термоізоляції.

Підготовка до ремонту включає наступні заходи:

- знижується надлишковий тиск в апараті до атмосферного та апарат звільняється від продукту;

- відключається арматура, ставляться заглушки на всіх трубопроводах, що підводять і відводять;

- проводиться продування азотом або водяною парою з подальшим промиванням водою і продуванням повітрям;

- складається план і виходить дозвіл на вогневі роботи, якщо вони необхідні у процесі ремонту;

- Складається акт здачі в ремонт.

Далі виконуються такі роботи:

- зняття кришок апарату, люків, демонтаж обв'язки та арматури;
- Виявлення дефектів зварювання;
- ремонт футерування та антикорозійних покриттів деталей з частковою заміною;
- ремонт або заміна зносу арматури, трубопроводів, регулювання запобіжних клапанів;
- Зміна ущільнень розбірних з'єднань;

- Чищення внутрішньої поверхні корпусу апарату;
- заміна частини корпусу, кришок та зношених деталей;
- монтаж різьбових з'єднань;
- гідравлічне випробування апарату пробним тиском;
- Пневматичне випробування апарату.

Найбільш трудомісткими операціями під час ремонту апарату є: демонтаж різьбових з'єднань; очищення апаратури; випробування апарату.

Корпус апарату, що має різні випучини та вм'ятини, виправляється ударами кувалди по мідній підкладці. Усунення невеликих вм'ятин при товщині стінки корпусу або кришки, виготовлених з вуглецевої сталі, не більше 3-4 мм здійснюється нагріванням. Якщо неможливо усунути зазначені вище дефекти ударами та нагріванням, то пошкоджені частини або видаляються, або на них ставляться накладки.

Дефектні патрубки при досягненні максимальних величин зношування та прогину підлягають заміні.

Свищі та тріщини усуваються шляхом заварювання або постановкою накладок із попереднім видаленням дефектної ділянки.

За допомогою кольорової дефектоскопії визначають довжину та положення кінців тріщин, виявлених у корпусі. Ці кінці до заварювання засвердлюються свердлями діаметром 3-4 мм. Ненаскрізні тріщини глибиною трохи більше 0,4 товщини стіни обробляється під заварку односторонньої вирубкою

на максимальну глибину тріщини зі зняттям кромки під кутом 50-60 °. При тріщині понад 100 мм зварювання ведуть зворотноступінчастим методом. Наскрізні та ненаскрізні тріщини глибиною понад 0,4 товщини стінки обробляють на всю товщину вирубкою зубилом або газорізанням. При появі гніздоподібної тріщини пошкоджені місця вирізуються та закриваються латками, які не повинні мати гострих кутів. Латки вварюються врівень з основним металом. Площа латки має перевищувати одну третю площі аркуша апарата.

При частковій заміні корпусу апарата необхідно виконувати такі вимоги:

- матеріал для виготовлення нових частин корпусу повинен бути за механічними та хімічними властивостями однаковий з матеріалом ремонтного корпусу;

- товщиною листа заміної частини повинна бути не меншою за проектну;
- електроди повинні відповідати матеріалу, що зварюється;
- замикаючі обичайки повинні бути шириною не менше 400 мм;
- Поздовжні шви в горизонтальних апаратах не повинні бути в нижній частині апарату;

- кромки поверхні обичайки та основного металу на ширині 10 мм повинні бути зачищені перед зварюванням до чистого металу;

- поздовжні шви в окремих обичайках циліндричної частини апарату, а також меридіональні або хордові шви днищ, що примикають до обичайок, повинні бути зміщені відносно один одного не менше ніж на 100 мм;

- відстань між поздовжніми швами в окремих обичайках має бути не менше 200 мм;

- при зварюванні стиків необхідно передбачити плавний перехід від одного елемента до іншого. [9]

## 5 Охорона праці

### 5.1 Аналіз потенційних небезпек [7]

У цеху можливі такі небезпеки:

1. Поразка струмом.
2. Травматизм частинами обладнання, що рухаються.
3. Запиленість.

До кожного хімічного виробництва складається нормативно-технічна документація, у якій вказується:

- 1) Характеристика властивостей продукту, що переробляється, вихідної сировини і допоміжних матеріалів.
- 2) Опис технологічного процесу зі схемою виробництва.
- 3) Норми технологічного режиму із зазначенням гранично допустимих відхилень.
- 4) Можливі неполадки технологічного процесу, їх причини та способи усунення.
- 5) Основні правила пуску, безпечного ведення процесу та зупинки обладнання.
- 6) Аналітичний та автоматичний контроль виробництва.
- 7) Правила аварійного зупинки виробництва.
- 8) Відходи виробництва, стічні води та викиди в атмосферу: їх склад, способи утилізації чи очищення та порядок скидання.
- 9) Перелік інструкцій, знання яких є обов'язковим для осіб, які ведуть технологічний процес і обслуговують це виробництво.

Точне дотримання нормативно-технічної документації, регламент забезпечує задану продуктивність, якість продукції, безпеку та санітарні умови праці.

Порушення послідовності операцій, відхилення (більше допустимих) від заданих кількостей сировини, що завантажуються, температур, тиску можуть призвести до аварій.

Для підтримки необхідного технологічного режиму в безперервних сучасних виробництвах контроль і регулювання процесу автоматизують. На вимірювальних та регулюючих приладах є пересувні контакти, встановлені на межі гранично допустимих відхилень. При досягненні небезпечних параметрів прилади автоматично вимикають відповідне обладнання та включають звукові або світлові сигнали.

На шкалах найпростіших приладів (манометри, термометри) наносять червону межу, що вказує на гранично допустиме відхилення параметра.

Процес сушіння відноситься до процесу зі значним виділенням тепла та пилу. Температура нагрітих поверхонь обладнання та огорож на робочих місцях не повинна перевищувати 45 °С; для обладнання, усередині якого температура

дорівнює або нижче 120 °С, температура поверхні не повинна перевищувати 35 °С [13].

## 5.2 Вимоги з охорони праці [7]

У процесі сушіння сульфат амонія можливе утворення вибухонебезпечного пилу. Ця проблема вирішується шляхом виготовлення камери сушарки як судина високого тиску із запобіжними розривними мембранами та аварійними противибуховими затворами. Концентрації пилу та робота сушарки повинні контролюватись автоматично. Усі місця утворення пилу у приміщенні сушіння сульфат аммонію мають бути обладнані системою аспірації або закриті. Розсіювальні пристрої повинні бути геометрично закриті і підключені до пиловловлювачів. Концентрація пилу повітря робочої зони має перевищувати 6 мг/м<sup>3</sup>.

Пожежна небезпека сушарок характеризується наявністю пального середовища у вигляді матеріалів, що висушуються, що знаходяться в камерах в підігрітому стані. Характерними джерелами запалювання, загальними є: іскри удару та тертя, теплота самозаймання матеріалів, розряди статичної та атмосферної електрики, розкладання, окислення, обвуглювання та займання пилу та відходів горючих матеріалів, що осіли на поверхні нагрівання калориферів або стикаються з нагрівальними елементами камер, а також порушення режиму роботи сушарок. Шляхами поширення пожежі у сушарках можуть бути горючі матеріали; системи вентиляції; транспортні пристрої; технологічні отвори.

Причинами утворення горючих паро- та пилоповітряних концентрацій у сушарках конвективного типу є: збільшення інтенсивності випаровування; зупинка вентилятора чи зменшення його продуктивності; робота сушарок з великим коефіцієнтом рециркуляції; підвищення температури сушіння.

Специфічними джерелами запалення в конвекційних сушарках є: іскри удару та тертя; самозаймання матеріалів, що висушуються, та їх відходів при контакті з калориферами; розряди статичної електрики тривалий вплив температури на матеріал, що висушується (через зупинку транспортних пристроїв). Бункери для сульфату аммонія закриваються кришкою.

Специфічні вимоги пожежної безпеки під час експлуатації сушарок: під час завантаження та експлуатації сушарки не допускається перевищувати встановлену гранично допустиму норму завантаження та гранично допустиму температуру сушіння; у процесі сушіння речовин та матеріалів необхідно здійснювати контроль концентрації пари в обсязі сушильних камер газоаналізаторами; повинні забезпечуватися нормовані тиску та швидкості руху газів; необхідно підтримувати встановлену оптимальну товщину шару; для запобігання можливості попадання горючих парів та пилу до приміщення, необхідно контролювати герметичність

системи; для очищення відпрацьованого повітря від пилу необхідно встановлювати фільтри, циклони та інші пристрої, не допускати відкладення пилу в повітропроводах, стінках камер, калориферах; необхідно передбачати автоматичне блокування для відключення нагрівальних пристроїв, при зменшенні швидкості руху або зупинки транспортних пристроїв; для виключення розрядів статичної електрики металеві елементи сушарок мають бути заземлені; сушильні установки повинні бути обладнані відокремленими системами вентиляції; для захисту сушильних камер від надлишкового тиску необхідно встановлювати запобіжні клапани; повинно передбачатися блокування припинення подачі сировини у разі зупинки вентилятора або вакуум-насоса.

Конструкція виробничого обладнання повинна бути виконана таким чином, щоб унеможливити випадкове зіткнення робітників з гарячими частинами і тим самим захистити їх від опіків, повинен бути забезпечений захист від ураження електричним струмом, включаючи випадки помилкових дій.

Схеми управління потоковими лініями передбачають послідовність включення та вимкнення елементів ліній при аварійних ситуаціях. Крім того, передбачаються блокування, що унеможливають повторне включення приводу будь-якої машини для конвеєра, що входить до складу лінії, до ліквідації аварійної ситуації та видачі дозволу з місця включення.

Циклони необхідно встановлювати перед вентилятором (на його частині, що всмоктує). Також у циклонах необхідно підтримувати оптимальну швидкість газу з метою запобігання пилу винесення [7].

### 5.3 Вимоги до виробництва [7]

#### Вентиляція

У будинках сушильними установками вентиляція повинна здійснюватися за системою, що запобігає можливим передачам пожежі з одного приміщення в інше по повітропроводах.

Повітря, що видаляється місцевими відсмоктувачами, із вмістом сушильних речовин, перед викидом в атмосферу піддається очищенню до допустимого рівня забруднення промайданчика, а також до ГДК у повітрі населених пунктів.

Витяжні вентилятори мають іскрозахищене виконання та укомплектовані безпечними двигунами.

#### Опалення

У виробництві застосовується водяне опалення з температурою поверхні нагрівальних приладів  $<100^{\circ}\text{C}$ , і навіть повітряне опалення, поєднане з припливної вентиляцією.



Шум та вібрація, заходи захисту від них обслуговуючого персоналу

Джерелами шуму та вібрації в проектованому цеху є: зубчасті, ланцюгові передачі та редуктори, вентилятори. Заходи боротьби з шумом включають: розміщення вентиляторів в окремих ізольованих приміщеннях; обмеження швидкості обтікання деталей повітрям до 0,3 м/с; приєднання повітроводів до вентиляторів через гнучку, з прогумованої тканини, вставку; встановлення вентиляторів на окремих фундаментах, віброізольованих від підлоги та інших конструкцій будівлі.

#### Електробезпека

З метою запобігання можливим випадкам ураження електричним струмом передбачені такі заходи: повна ізоляція струмопровідних ліній; застосування місцевого освітлення низьковольтного напруги (12 – 36В); корпуси всіх електродвигунів, обладнання, комунікацій – заземлені; місця парогазовиделений обладнані пристроями, що відсмоктують, які приєднані до витяжних ліній.

Захист від статичної електрики включає заземлення технологічного обладнання та комунікацій.

#### Пожежна безпека

##### Вибух - пожежонебезпека виробництва

Виробничі приміщення відносяться до категорії Б, ступінь небезпеки будівлі – II.

Евакуаційні шляхи забезпечують безпечну евакуацію всіх людей, що перебувають у приміщенні, через наявні 5 евакуаційних виходів, що розташовані розосереджено. Ширина колій у світлі не менше 1м, дверей не менше 0,8м.

Висота проходів шляхах евакуації щонайменше 2м. Двері на шляхах евакуації відчиняються у напрямку виходу з будівлі. Відповідно – клас приміщень Б-II

##### Засоби гасіння та виявлення пожеж

Відповідно до пожежних норм проекту передбачено наявність таких засобів пожежогасіння: вогнегасники ОХВП-10, ОВП-11, ОП-1, ОП-2, пожежні крани, пожежні ковдри, ящик з піском (0,5м<sup>3</sup>), ванна з водою, відра. Для пожежної команди в цеху є телефони та ручні кнопкові сповіщувачі ІРП (сповіщувач пожежний ручний).

Передбачено протипожежне водопостачання, мережа кільцева водоводу з діаметром труб зовнішнього водоводу не менше 100мм. У приміщенні на висоті 1.35 м від підлоги встановлено пожежні крани. Витрати води на гасіння пожежі не менше 20л/с.

##### Індивідуальні захисні засоби

Для робочих цеху за списками професій та норм видається спецодяг та спец взуття: х/б костюми або халати; тапочки, черевики, бавовняна білизна, берети або

косинки, гумові рукавички. У цеху є аварійний запас спецодягу та спец взуття в кількості 3-х комплектів, які зберігаються в спец. шафи.

#### Питання екології та раціонального використання сировини

Захист навколишнього середовища при виготовленні сульфату аммонію забезпечується ефективною вентиляцією. Повітря перед викидом у повітря проходить через фільтри [7].

## Висновки

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

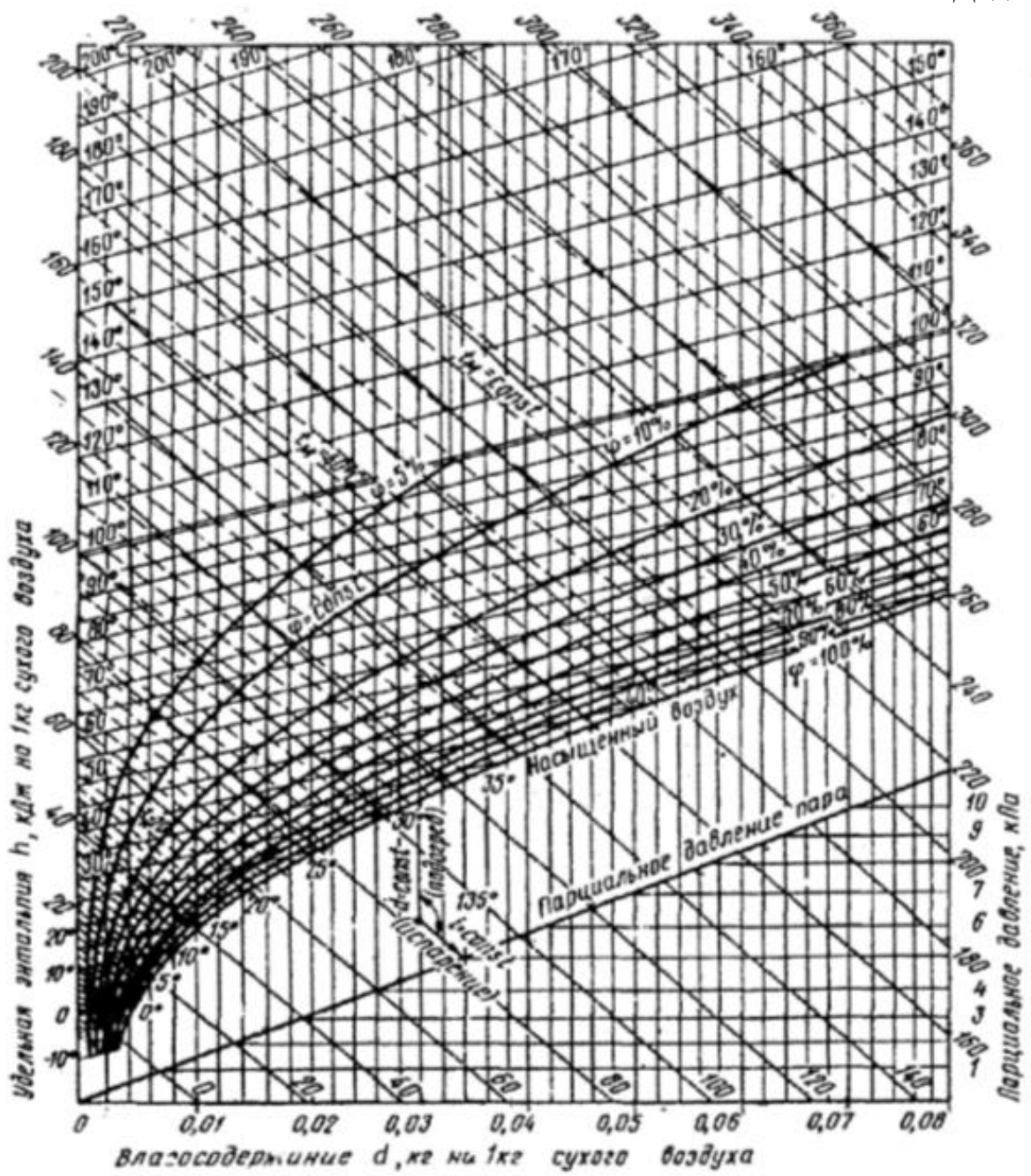
Зроблені технологічні розрахунки процесу та апарату за якими був вбраний стандартний апарат та вибране допоміжне обладнання.

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

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

## Література

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



Діаграма Рамзіна