

## РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота на тему:

«Барабанна сушарка в виробництві калієвої селітри потужністю 25000 т/рік».

ПРОЦЕС СУШІННЯ, БАРАБАННА СУШАРКА, КОРПУС, СТАНЦІЯ ОПОРНА, НАСАДКА

Дипломна робота: Листів – \_\_\_, ілюстрацій – \_\_\_, таблиць – \_\_\_, посилань – \_\_\_.

Об'єкт дослідження – основне обладнання (барабанна сушарка) в виробництві калієвої селітри. Ціль роботи – розробка барабанної сушарки.

В роботі розроблена барабанна сушарка:

- визначені основні розміри апаратів;
- проведені розрахунки на міцність;
- розглянуті питання технології виготовлення, ремонту та техніки безпеки.

## Зміст

Вступ	_____
1. Аналітичний огляд	_____
2. Опис технологічної схеми, конструкції та принципу дії барабанної сушарки	_____
3 Вибір основних конструкційних матеріалів	_____
4 Розрахунок основних розмірів барабанної сушарки	
5. Розрахунок сушарки на міцність, жорсткість та стійкість	
6 Технологія виготовлення апарату	
7 Ремонт сушарки	
8 Охорона праці	
Висновки	
Список літератури	

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- $C_p$  – масова теплоємність за сталого тиску, Дж/(кг·град);  
 $D$  – діаметр, м;  
 $d$  – діаметр штуцера, м;  
 $F$  – поверхня контакту, м;  
 $K$  – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м<sup>2</sup>·град);  
 $t$  – температура °С;  
 $w$  – швидкість потоку рідини, м/с;  
 $\omega$  – кутова швидкість  
 $Q$  – тепловий потік, Вт;  
 $m$  – витрата речовини, кг/с;  
 $c$  – теплоємність речовини (питома), Дж/(кг·К);  
 $r$  – питома теплота пароутворення;  
 $D$  - зовнішній діаметр барабана, мм  
 $L$  - довжина корпусу барабана, мм  
 $s$  - товщина стінки прогінної обичайки, мм  
 $s_1$  - товщина стінки підбандажної обичайки, мм  
 $B$  - ширина підбандажної обичайки, мм  
 $l_1$  - довжина консолі, мм  
 $l_2$  - відстань між осями бандажів, мм  
 $l_3$  - відстань між осями бандажа та найближчого до нього зубчастого вінця, мм  
 $D_6$  - зовнішній діаметр бандажа, мм  
 $D_2$  - внутрішній діаметр бандажа, мм  
 $b$  - ширина бандажа, мм  
 $d_{op}$  - діаметр опорного ролика, мм  
 $b_{op}$  - довжина опорного ролика  $b_{op}$ , мм

$m_k$  - маса корпусу, кг

$m_{\delta o}$  - маса опорного бандажа,  $m_{\delta o}$  кг

$m_{\delta y}$  - маса опорно-упорного бандажа, , кг

$g$  – прискорення вільного падіння,  $\text{м/с}^2$ ;

$P$  – розрахунковий тиск, МПа;

$P_k$  – тиск у судині під час дії запобіжного клапана, МПа;

$P_r$  – гідростатичний тиск, МПа;

$f$  – коефіцієнт міцності зварених швів;

$C$  – прибавка до розрахункової товщини, мм;

$\Pi$  – швидкість проникнення корозії, мм/рік;

$S_1$  – виконавча товщина стінки днища, мм;

$S_{lp}$  – розрахункова товщина стінки днища, мм;

$C_3$  – прибавка для компенсації корозії, мм;

$W_y$  – швидкість пару, м/с;

$W_\phi$  – швидкість руху потоку, м/с

$V_\phi$  – об'ємна продуктивність потоку,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

## Вступ

У зв'язку із зростаючими потребами людства в продуктах харчування і гострою необхідністю підвищення родючості ґрунтів світове виробництво мінеральних добрив розвивається відносно високими темпами, що значно перевищують середні темпи зростання іншої промислової продукції. Для обробки сільськогосподарських культур використовують всього біля 10% поверхні Землі, і при цьому можливості збільшення посівних площ в світі майже вичерпані. Тим часом населення планети безперервно зростає, і для забезпечення його їжею необхідне значне підвищення врожайності. Деякі елементи, потрібні в нікчемних кількостях, як, наприклад, залізо, майже завжди знаходяться в будь-якому ґрунті. Елементи ж, необхідні рослинам у великій кількості, особливо азот, фосфор, калій, вносять у вигляді добрив.

Добрива розділяють на мінеральні, органічні, органо-мінеральні і бактерійні. Мінеральні добрива - неорганічні речовини, що спеціально виробляються на хімічних підприємствах, головним чином мінеральні солі; проте до них відносять і деякі органічні речовини, наприклад карбамід. Органічні добрива містять живильні елементи у вигляді органічних сполук, і є зазвичай продуктами природного походження. Органо-мінеральні добрива - суміші органічних і мінеральних добрив. Бактерійні добрива містять культури мікроорганізмів, що сприяють накопиченню в ґрунті засвоєваних форм живильних елементів.

За видами живильних елементів добрива розділяють на азотні, фосфорні, калійні, магнієві, борові і так далі. Основними формами азотних добрив є: аміачна (аміак), амонійна (солі амонію - фосфати, сульфат, хлорид і ін.), нітратна (солі азотної кислоти - кальцієва, калієва, натрієва селітри), амонійно-нітратна ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) і амідна (карбамід і ін.). Фосфорні добрива є солями фосфорних кислот. Калій входить до складу добрив у формі солей хлориду, сульфату, карбонату, фосфатів, нітрату.

Головним продуктом калійної промисловості є хлорид калію, близько 95% якого використовують як добриво, а останні переробляють в інші з'єднання калію  $\text{KOH}$ ,  $\text{KClO}_3$ ,  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{KCN}$  та інші, - що вживаються в багатьох галузях промисловості. В даний час в сільському господарстві калієва селітра ( $\text{KNO}_3$ ) застосовується в дуже незначних кількостях із-за високої вартості. Найбільше вживання вона має у виробництві димного пороху, в піротехніці, в харчовій, скляній і фармацевтичній промисловостях.

У промисловості застосовуються декілька способів отримання калієвої селітри, для отримання якої використовують цілий ряд технологічного устаткування.

У дипломній роботі розглянутий конверсійний спосіб отримання калієвої селітри, при якому в завершуючій стадії технологічного процесу необхідна сушка продукту. Метою роботи є розробка сушильного апарату.

## 1 Аналітичний огляд

### 1.1 Аналіз методів виробництва калієвої селітри

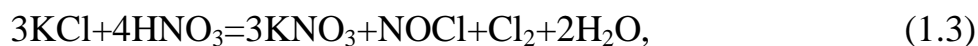
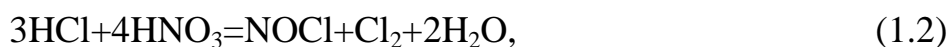
Калієву селітру широко застосовують у багатьох галузях промисловості та сільського господарства. Продукт вищого гатунку застосовують у виробництві електровакуумного та оптичного скла. Калієва селітра входить до складу димних порохів та піротехнічних композицій, застосовується у виробництві емалей, термосолей, теплоносіїв, закалювання металів, тощо.

Калієва селітра є цінним безбаластним добривом, що містить калій та азот.

Існують такі способи виробництва калієвої селітри:

- прямий спосіб;
- катіонообмінний спосіб;
- нейтралізаційний спосіб (пряма нейтралізація);
- конверсійний спосіб.

Прямий спосіб отримання калієвої селітри заснований на взаємодії хлориду калію з азотною кислотою, рідкими або газоподібними оксидами азоту:



При низьких концентраціях азотної кислоти та звичайній температурі реакція (1.2) майже не проходить. При концентрації  $\text{HNO}_3$  більше ніж 50%, та температурі вище 50 – 60°C, а також при використанні рідких оксидів азоту розкладання калію супроводжується утворенням хлористого нітрозилу (NOCl) та хлору. Також цей спосіб виробництва калієвої селітри відрізняється великою кількістю стадій та рядом інших складностей, що не дозволяють

отримати продукт бажаної якості. Це обумовлюється тим, що твердий хлористий калій, який застосовується у цьому процесі має домішки (силікати, NaCl, нерозчинні оксиди та інші), котрі у повному обсязі переходять до складу калієвої селітри. Крім того, оскільки рідкі оксиди азоту містять 0,3 – 0,5% вологи, то і в селітрі також буде присутня якась кількість соляної та азотної кислот. Це викликає необхідність нейтралізації первинного продукту лугом.

В первинному продукті, як правило, також містяться KCl що не прореагував, та нітрат натрію.

Так як продукт забруднений багатьма домішками, він може бути застосований тільки у якості добрив. При необхідності випуску калієвої селітри для промислових споживачів первинний продукт має бути перекристалізований, а для цього потрібно додаткове устаткування (випарні апарати, кристалізатори, центрифуги та інше). Внаслідок великої агресивності середовищ, в яких відбувається процес виробництва селітри прямим способом, обладнання доводиться виконувати із спеціальних корозійностійких матеріалів (реактори – із ферросиліду особливої марки, футерування – із діабазу та інше.)

Катіонообмінний спосіб – обмін між йонами калію та кальцію в еквівалентних відношеннях за допомогою твердих сорбентів – катіонів. Цей спосіб отримання калієвої селітри схематично відображається наступними рівняннями:

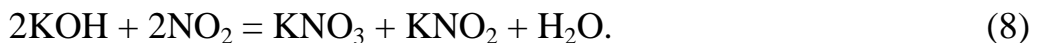
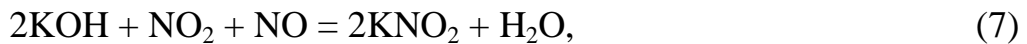


Процес отримання калієвої селітри методом катіонного обміну нескладний у технологічному та конструктивному оформленні. Цей метод відрізняється рядом переваг у порівнянні з іншими методами виробництва  $KNO_3$  (не потребує дефіцитної сировини, менше використовується пари, частина обладнання може бути виготовлена із чорних металів та інше). Також цей метод має суттєвий недолік у порівнянні з іншими методами, він відрізняється великими обсягами стоків що не утилізуються.

Нейтралізаційний метод – нейтралізація азотної кислоти або оксидів азоту їдким Калієм з наступною інверсією нітриту калію що утворився, у калієву селітру.

Процес виробництва калієвої селітри цим методом складається із двох основних стадій: 1) абсорбції нітрозних газів розчинами їдкого калію або поташу; 2) інверсії нітриту калію, що утворився внаслідок лужної абсорбції, у нітрат калію. У деяких випадках калієву селітру отримують прямою нейтралізацією розчинів КОН або  $K_2CO_3$  розчином азотної кислоти.

При абсорбції оксидів азоту розчином їдкого калі відбуваються такі реакції:



КОН та  $K_2CO_3$  які застосовуються у якості сировини містять багато домішок, тому для отримання достатньо чистого нітрату калію доводиться проводити перекристалізацію.

Після декількох циклів переробки розчинів калієвої селітри в маточних розчинах накопичується велика кількість домішок (хлориди, сульфати, нітрат натрію та інші.). Такі маточні розчини доводиться відводити із циклу та окремо переробляти у добрива.

Виробництво калієвої селітри нейтралізацією лугів азотною кислотою або оксидами азоту застосовується рідко внаслідок необхідності витрат дорогої сировини (гідроксиду калію або поташу).

Конверсійний метод – заснований на обмінному розкладанні між нітратами натрію, кальцію або амонію та хлоридом, сульфатом або карбонатом калію.

У Франції розроблений реалізований на практиці процес який заснований на реакції:



Суттєвим недоліком цього способу є необхідність після виділення нітрату калію при низьких температурах випарювати надзвичайно агресивні розчини хлориду амонію. Тому все обладнання яке знаходиться у контакті з  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , із вуглецевомолібденової сталі.

У Швейцарії розроблений метод заснований на обмінному розкладанні хлориду  $\square$ Алію з нітратом кальцію:



Спосіб відрізняється багато стадійністю та відносно невеликим виходом кінцевого продукту.

Найбільш поширеним у промисловості є традиційний спосіб отримання  $\text{KNO}_3$ , заснований на обмінному розкладанні  $\text{NaNO}_3$  та  $\text{KCl}$ :



Сировиною для цього та деяких інших способів отримання калієвої селітри є хлорид калію ( $\text{KCl}$ ) за (ГОСТ 4568 – 83). Для виробництва калієвої селітри застосовують хлорид калію, отриманий галургічним шляхом, з не менш ніж 95%  $\text{KCl}$ . Нітрат натрію застосовують у вигляді розчину, який отримують зазвичай інверсією нітрит-нітратних лугів, або нейтралізацією соди азотною кислотою.

Якість селітри яка отримана за цим методом є дуже високою, та відповідає нині діючим стандартам якості (ГОСТ 19790 – 74).

Основними недоліками цього способу є застосування дефіцитної сировини ( $\text{NaNO}_3$ ), та утворення відходу  $\text{NaCl}$ , який із-за домішок  $\text{KNO}_3$  має обмежене застосування.

Порівнюючи всі вище зазначені способи отримання калієвої селітри робимо висновок що найвигіднішим буде конверсійний метод отримання калієвої селітри (обмінне розкладання  $\text{NaNO}_3$  та  $\text{KCl}$ ), тому що сировина (концентрований маточний розчин  $\text{NaNO}_3$ ) є відходом виробництва каталізаторів

цеху «АЛВІГО», а сіль  $\text{NaCl}$  з домішками  $\text{KNO}_3$  йде на потреби відділення хімічної підготовки води цеху «ТЕЦ».

## 1.2 Апаратурне оформлення підприємств калієвої селітри

При виробництві калієвої селітри конверсійним методом застосовують таке обладнання:

- Кристалізатори. Для кристалізації калієвої селітри застосовують вакуумні кристалізатори з подвійним циркуляційним контуром. Кристалізатор виготовлений з нержавіючої сталі, має висоту 10,9 м та діаметр 3 м. На другій стадії кристалізації застосовують аналогічні за конструкцією вакуумні кристалізатори. Також застосовують барабанні кристалізатори барабанного типу (довжина 13 м, діаметр 1,2 м), що охолоджується водою, яка подається в рубашку.
- Випарні апарати. Застосовують апарати з природною циркуляцією суспензії, з внутрішньою граючою камерою з поверхньою  $180 \text{ м}^2$ . Висота таких апаратів 9,2 м, діаметр 2,4 м.
- Друкфільтри, центрифуги. Шлам  $\text{NaCl}$  відокремлюють на друкфільтрах діаметром до 2,2 м, та висотою до 4 м. Друкфільтр по висоті розділений на дві частини решіткою, фільтрування йде через металеву сітку. Для відокремлення кристалів  $\text{KNO}_3$  застосовують безперервні фільтруючі горизонтальні центрифуги з двокаскадним ротором та пульсуючим вивантаженням осаду типів 1/2ФГП-801-К. Діаметром ротору 0,8 м, та частотою обертання до 1200 об/хв.
- Сушарки. Для сушіння та охолодження  $\text{KNO}_3$  застосовують сушарки з киплячим шаром розділені на зони сушіння та охолодження перегородкою що регулюється. Також застосовують барабанні сушарки діаметром 1,6 м, довжиною 11 м, такі сушарки є більш поширеними, тому що мають більш високу одиничну потужність, споживають меншу кількість енергоносіїв, прості за конструкцією та надійні в експлуатації.

Нижче наведена принципова схема виробництва калієвої селітри конверсійним способом.

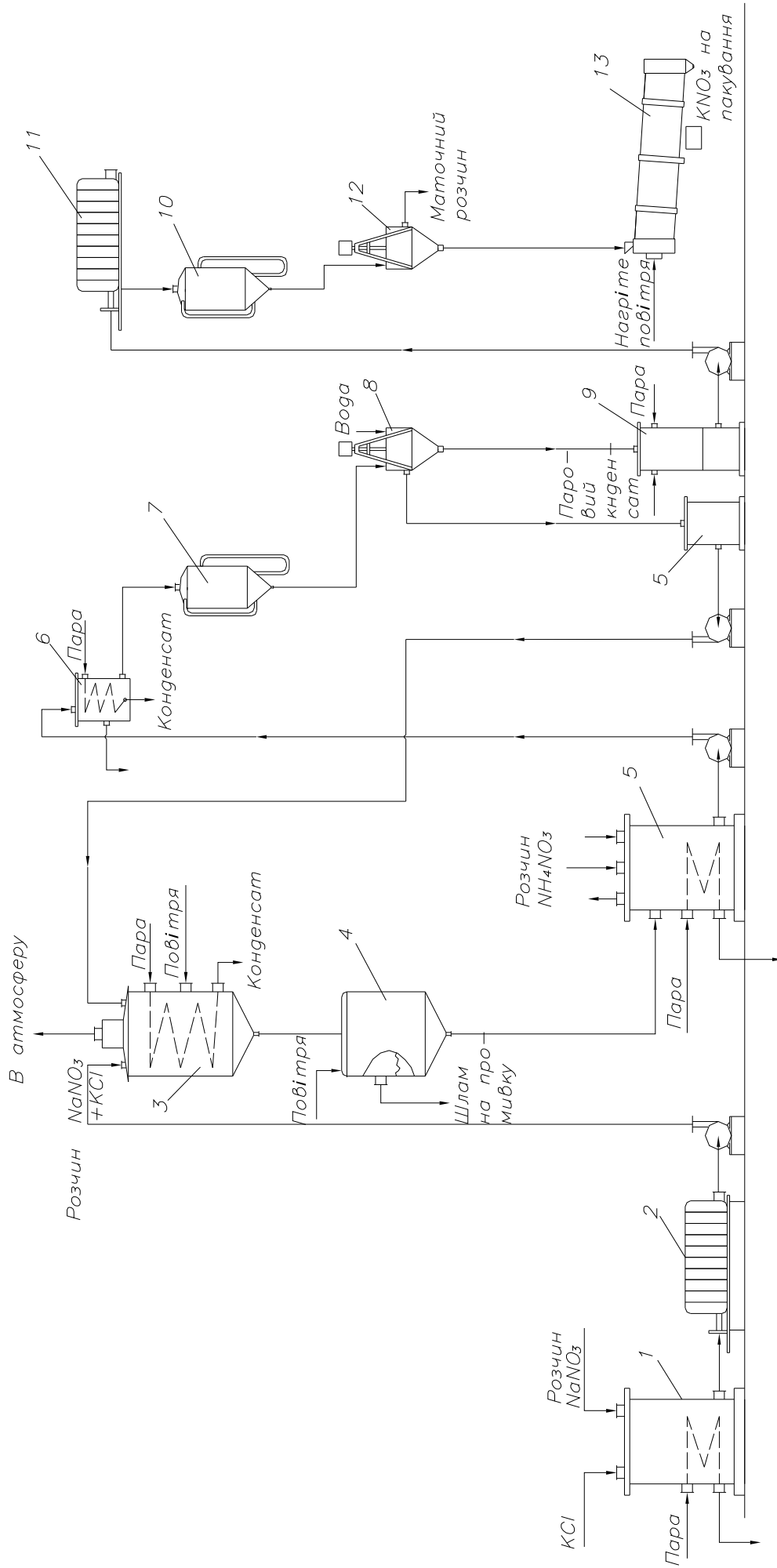


Схема виробництва калієвої селітри конверсійним способом

1—змішувач для приготування розчину  $\text{NaNO}_3$  та  $\text{KCl}$ ; 2, 11—фільтрпреси; 3—реактор; 4—друк-фільтр для відділення осаду  $\text{NaCl}$ ; 5—збірник розчинів та промивних вод; 6—напірний бак первинних розчинів  $\text{KNO}_3$ ; 7, 10—вакуум-кристалізатори (первинної та вторинної кристалізації розчинів  $\text{KNO}_3$ ); 8, 12—центрифуги; 9—розпарник; 13—барабанна сушарка.

## Апарати для сушки матеріалів

Сушка – це видалення вологи, що утворюється при підведенні теплоти до висушуваних матеріалів (сипких, рідких і пастоподібних). Інтенсивність сушки залежить від способу підведення теплоти до висушуваного матеріалу і відведення вологи, що випаровується, а також від швидкості переміщення вологи із глибинних шарів матеріалу до його поверхні. Останній показник у свою чергу визначається теплофізичними властивостями висушуваного матеріалу.

Внаслідок великої номенклатури належних висушуванню матеріалів (в хімічній промисловості сушать більше 200 тисяч видів матеріалів) використовують багато різних за конструкцією сушильних апаратів, що перешкоджає їх чітку класифікацію і типізацію.

Сушарки, вживані в хімічній промисловості, звичайно класифікують за способом підведення теплоти до висушуваного матеріалу таким чином: конвективні (для сушки матеріалу в шарі, барабанні обертальні, для сушки матеріалу в режимі псевдозрідженого і фонтануючого шарів, для сушки матеріалу в режимі пневмотранспорту, розпилювальні); кондуктивні (поличні, барабанні обертальні, вальцеві); спеціальні (терморадіаційні, високочастотні, сублімаційні).

З цих сушарок найбільш поширені конвективні сушарки, які працюють при атмосферному тиску, в яких як сушильний агент використовують топочні гази, підігріте повітря або їх суміші. Частка цих сушарок в загальному об'ємі вживаних сушильних апаратів складає близько 80 %. Процес сушки в таких апаратах може здійснюватися в умовах прямоточного або протиточного руху теплоносія і матеріалу, а також при перехресному їх русі. Найбільш економічні за тепловитратами протиточні сушарки; прямоток використовують лише в тих випадках, коли висушуваний матеріал не можна піддавати дії високої температури в кінці процесу сушки.

Найбільшу частку конвективних сушарок в хімічній промисловості складають барабанні сушарки (близько 40 %). Проте ці апарати можна застосовувати лише для сушки сипких матеріалів.

У даний час все більш широко використовують апарати для сушки в режимі псевдозрідженого або «киплячого» і фонтануючого шарів (питома вага 25 %) і апарати для «сушки в режимі пневмотранспорту (приблизно 7 %); в них можна інтенсивно сушити сипкі матеріали, а також пастоподібні і рідкі розчини.

Приблизно 10 % загального числа конвективних сушарок в хімічній промисловості складають розпилювальні сушарки, трохи більше – апарати для сушки матеріалу в шарі (поличні, тунельні, стрічкові і вальцестрічкові сушарки).

З кондуктивних сушарок найбільш поширені поличні вакуум-сушильні шафи, барабанні і вальцеві сушильні апарати. Кондуктивні атмосферні сушарки застосовують для сушки продуктів, для яких недопустимий контакт матеріалів з теплоносієм, наприклад, для усунення забруднення.

Кондуктивні вакуумні сушарки використовують для сушки теплочутливих матеріалів, видалення з матеріалу органічних розчинників, сушки токсичних і легкозаймистих речовин, коли необхідна герметизація процесу.

Вальцеві атмосферні кондуктивні сушарки використовують для сушки пастоподібних продуктів з великою початковою вологістю, а також для сушки вологих продуктів, чутливих до температури.

Частка спеціальних сушарок в хімічній промисловості невелика (близько 1 %). Компактні і ефективні терморадіаційні сушарки вимагають великої витрати енергії; їх використовують для сушки тонколистового матеріалу і лакофарбних покриттів. Високочастотні сушарки застосовують для сушки товстошарових матеріалів, коли необхідно регулювати температуру і вологість на поверхні і в глибині матеріалу. Сушарки сублімації –

найдорожчі; їх використовують, якщо висушуваний матеріал не витримує звичайної теплової сушки.

Конвективні апарати для сушки матеріалу в шарі можуть бути безперервної (тунельні, стрічкові, петлеві, шахтні) і періодичної (камерні, поличні) дії. Апарати безперервної дії представляють собою теплоізовану камеру, по якій транспортуючим пристроєм переміщується висушуваний матеріал від завантажувального до розвантажувального кінця камери, контактуючи при цьому з сушильним агентом. В деяких конструкціях апаратів висушуваний матеріал переміщується під дією сил ваги.

З апаратів періодичної дії найбільш прості поличні калориферні сушарки, призначені головним чином для сушки матеріалів в малотоннажних виробництвах, коли необхідно з великою точністю регулювати режим сушки. Полична сушарка (рисунк 1.2) є прямокутною камерою 1, усередині якої установлена етажерка 2 з полицями. На етажерці розміщені противні 3 з матеріалом. Сушильний агент піддається багатократній циркуляції з проміжним підігрівом (відцентровим вентилятором 4 і паровим калорифером 5). Повітря поступає в камеру і проходить в горизонтальному напрямі між полицями. Шибер 6 призначений для регулювання кількості повітря, що подається на рециркуляцію. Відпрацьоване повітря віддаляється через патрубок 7.

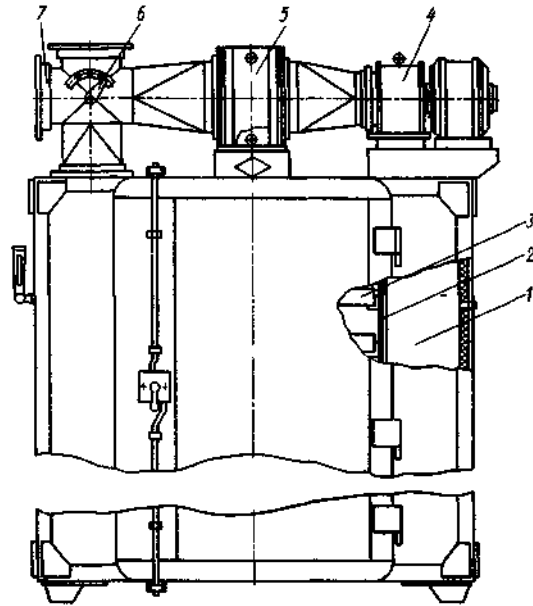


Рисунок 1.2 – Полична сушарка

Температуру сушки регулюють зміною кількості пари, що подається в калорифер, та кількістю теплоносія, що повертається в камеру.

В тунельних сушарках висушуваний матеріал переміщується в сушильній камері (тунелі) вагонетками, візками, люльками, захватами підвісних конвеєрів. Довжина тунелю може досягати декількох десятків метрів (25-60 м), висота – 2,0-2,5 м. Паралельно осі тунелю або перпендикулярно його осі циркулює сушильний агент (нагріте повітря, топочні гази, перегріта пара).

На рисунку 1.3 наведена схема двохсекційної тунельної сушарки, що працює з рециркуляцією відпрацьованого теплоносія. В першій по ходу матеріалу секції теплоносії і матеріал рухаються прямотоком, в другій, де температура теплоносія нижче, – протитоком.

Повітря, що нагрівається в калориферах 2, вентиляторами 3, забезпеченими приводом 4, по газоходу 9 подається в секції сушарки. Відпрацьоване повітря через газоходи 8 віддаляється з тунелю вентилятором 5.

Вагонетки 1, які установлені впритул одна до іншої по всій довжині тунелю, забезпеченого дверима 6 і 10 на завантажувальному і розвантажуваль-

ному кінцях. Вагонетки переміщуються по похилій підлозі камери або спеціальним штовхачем 7, установленим з боку завантаження і забезпеченим автономним приводом.

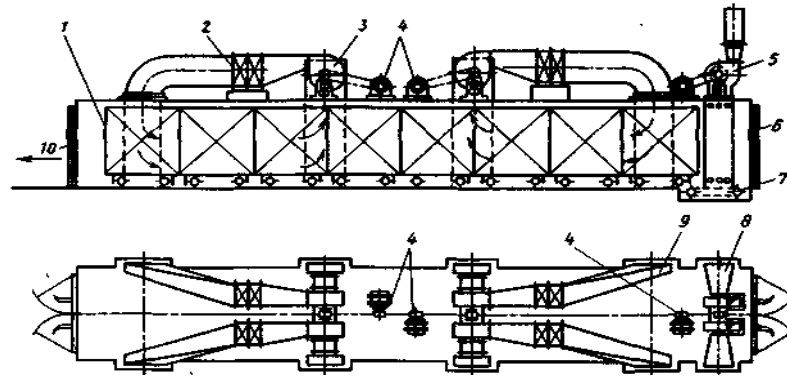


Рисунок 1.3 – Тунельна сушарка

Стрічкові сушарки призначені головним чином для сушки штучних виробів, напівфабрикатів і сипких матеріалів. Виняток становлять дрібнодисперсні пилоподібні матеріали, оскільки пил не утримується на полотні і осідає на поверхнях калориферів; а органічний пил навіть обвуглюється і спалахує. Як сушильний агент в цих апаратах звичайно використовують нагріте повітря або топочні гази.

Стрічкові сушарки (апарати безперервної дії) виготовляють у вигляді одного або декількох розташованих один над іншим стрічкових конвеєрів, розміщених усередині прямо вугільної сушильної камери. Як несуче полотно конвеєра звичайно використовують металеву плетену сітку або перфоровані пластини; стрічка може бути і суцільний (полотно, бельтинг).

Висушуваний матеріал, насипаний на полотно конвеєра, продувається сушильним агентом. В сушарках з суцільною стрічкою теплоносії рухається над шаром висушуваного матеріалу в напрямі, протилежному руху стрічки.

У п'ятисекційній одноярусній сушарці (рисунок 1.4) матеріал транспортується стрічковим конвеєром 1. Повітря, що нагрівається в парово-

му калорифері 4, відцентровим вентилятором 5 подається в розподільний канал 6, проходить через шар матеріалу 3 зверху вниз і через вікна *а* повертається на рециркуляцію. Частина відпрацьованого повітря відводиться вентилятором 6, а свіже повітря у необхідній кількості підсмоктується через вікна *б*. Для вирівнювання вологості матеріалу по висоті шару встановлені ворошители 2 (валки з пальцями).

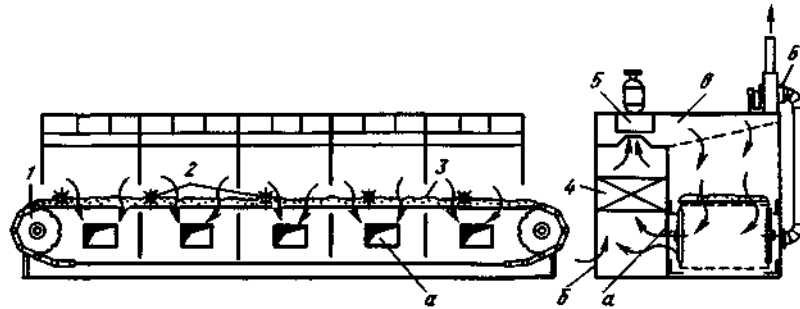


Рисунок 1.4 – Одноярусна стрічкова сушарка

Вальцестрічкові сушарки (рисунок 1.5) застосовують для сушки пастоподібних матеріалів. Сушарка складається із стрічкового конвеєра і формувально-сушильного вальця. На поверхні вальця, призначеного для попереднього формування і підсушки матеріалу, нанесені кільцеві канавки трапецеїдального профілю. Паста, що поступає з бункера 2, пресвалком 1 пресується в канавки сушильного вальця 3. Валець і пресвал обігріваються парою. За один оборот вальця паста підсушується, знімається спеціальними ножами 4, мають форму гребінки, поступає на конвеєр 5, а потім на конвеєр стрічкової сушарки 6. Петлеві сушарки застосовують при сушінні тонких гнучких матеріалів (плівки, папір, тканини та ін.). В цьому випадку сушильний апарат є камерою прямокутного перерізу, в якій у вигляді петель переміщується висушуваний матеріал, що провисає на поперечних планках, закріплених в ланцюговому конвеєрі. Петлеві сушарки успішно використовують і для сушки паст (хімічно осадженої крейди, фарбників деяких типів та ін.).

Сушарка такого типу показана на рисунку 1.6. Усередині сушильної камери проходить безкінечна сталева стрічка 4 з металевої сітки з глибиною комірок 10-15 мм. Паста з бункера-живильника 1 подається на вальці 2, що обігріваються паром і вдавлюють матеріал в комірки стрічки. Пройшовши спрямівний барабан 3, стрічка зі спресованим матеріалом поступає в сушильну камеру і утворює петлі завдяки спеціальним, закріпленим на ній поперечним планкам, які спираються на розміщений у верхній частині сушильної камери ланцюговий конвеєр 5. Далі спрямовуючим роликком 6 стрічка відводиться до ударного пристрою 7 і сухий продукт із комірок сітки струшується в бункер, звідки шнеком 8 виводиться з сушарки. Сушильний агент в петлевих сушарках звичайно рухається перпендикулярно стрічці. В цих апаратах матеріал сушиться достатньо інтенсивно, оскільки сушка здійснюється в шарі невеликої товщини при двохсторонньому змиванні стрічки теплоносієм з попереднім прогріванням матеріалу гарячими вальцями.

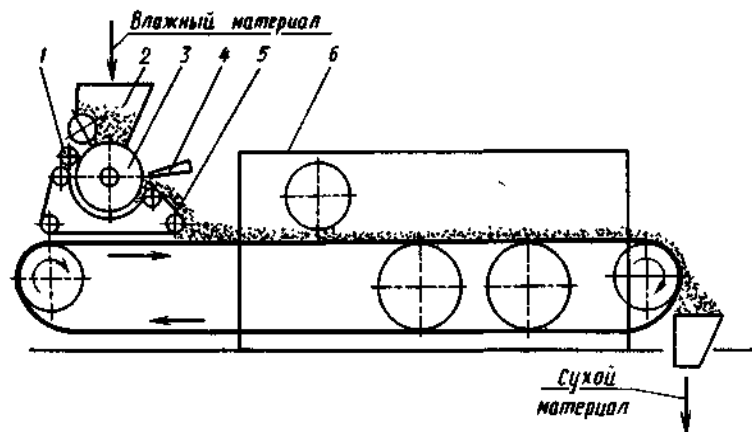


Рисунок 1.5 – Вальцестрічкова сушарка

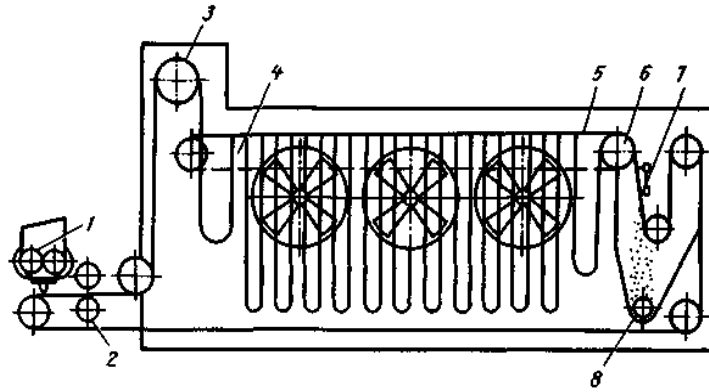


Рисунок 1.6 – Схема петлевої сушарки

Загальні вади стрічкових, вальцестрічкових і петлевих сушарок – громіздкість, складність обслуговування і перебої в роботі через перекошення стрічки.

Конвективні барабанні сушарки широко використовуються в хімічній промисловості для сушки сипучих матеріалів топ очними газами або підігрітим повітрям в умовах прямоточного чи протиточного руху теплоносія і висушуваного матеріалу. Ці апарати відрізняються більшою економічністю завдяки можливості використання високотемпературних теплоносіїв. Крім того, вони мають значну продуктивність, надійні в роботі (працюють до 6000-8000 годин без капітального ремонту).

## 2. Опис технологічної схеми, конструкції та принципу дії барабанної сушарки

Технологічний процес виробництва калієвої селітри представлено на кресленні 2020.009.00.000ТЗ і складається з таких стадій:

- приготування лугів нітрату натрію,
- приготування розчину хлористого калію та нітрату натрію в еквімолекулярному відношенні та фільтрування розчину,
- конверсія хлористого калію та нітрату натрію,
- відділення від реакторного розчину шламу хлористого натрію та приготування розсолу,
- отримання первинного кристалу калієвої селітри,
- приготування розпареного розчину,
- отримання вторинного кристалу калієвої селітри,
- розділення суспензії на рідку та тверду фазу шляхом фугування,
- сушіння та пакування готового продукту.

Сушіння та пакування готового продукту.

Кристали з центрифуги потрапляють в сушильний барабан поз.47. Сушильний барабан поз. 47 являє собою циліндричну посудину що обертається та має усередині лопаті. За рахунок обертання, нагнітання повітря та нахилу, кристали переміщуються у барабані. Для сушіння кристалів в сушильний барабан вентилятором поз. 48/1,2 подається повітря, яке нагрівається у калориферах поз. 49 парю до температури 110-160°C.

Із сушильного барабана повітря з температурою 40-60°C поступає у циклон поз. 50, з циклону вентилятором поз. 51 подається в збірник вторинного маточного розчину поз. 45.

Температура вимірюється термометром опору, вторинним приладом КСМ-3 та автоматично регулюється пневмоклапаном типу «НО», який встановлений на лінії подачі пари у верхній та нижній калорифери. В нижній ка-

лорифер може подаватися конденсат після гріючих камер випарних апаратів поз. 24/1,2,3.

Пил продукту відділяється за рахунок центробіжної сили в циклоні поз. 50, та потрапляє на конвеєр готового продукту поз. 52, яким подається у бункер готового продукту поз. 53.

Для уловлювання металевих предметів над конвеєром перед бункером готового продукту поз. 53 встановлений електромагніт поз. 69.

Із бункера продукт потрапляє на напіваавтоматичні ваги поз. 54, які також включають шнеки та вагові дозатори АД-50СМ, які дозують продукт порціями по 50 кг або 25 кг.

Після дозування мішки з продуктом опускаються на конвеєр зашивальної машини поз. 55, яким переміщаються до зашивальної машини поз. 56, маркуються, зашиваються і по склизу поз. 57 поступають на приймальний стіл поз. 58 складу готового продукту. З приймального столу продукт складається в металевий піддон поз. 59. Піддони з продуктом електричним завантажувачем поз. 60 відвозяться на склад.

Барабанна конвективна сушарка (рисунок 2.1) є установлений на двох бандажах 10 під кутом (від 1 до 4°) до горизонту обертний барабан 8. Апарат спирається бандажами на ролики, закріплені на опорній рамі 3 і опорно-упорній станції 5. Два упорних ролики, які встановлені на рамі опорно-упорної станції, обмежують осьове переміщення корпусу барабана.

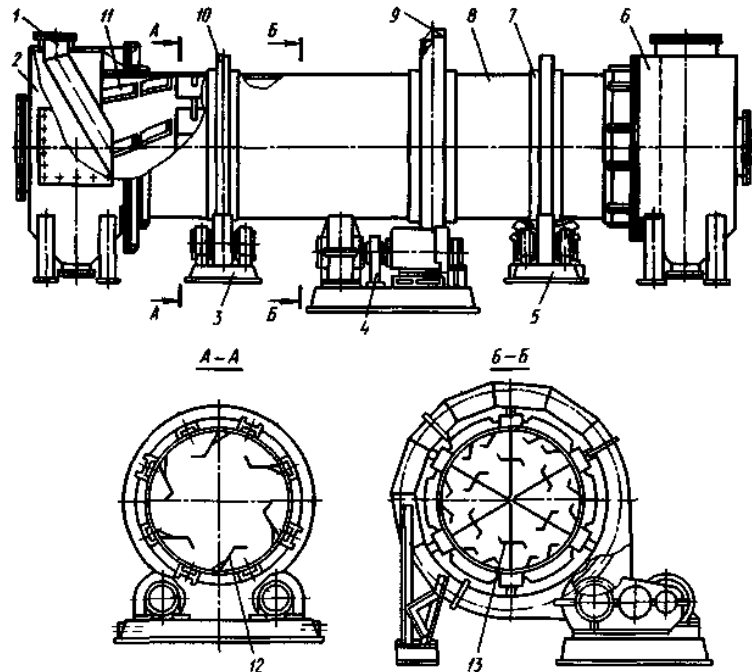


Рисунок 2.1 – Барабанна сушарка

Привід барабана здійснюється від багатошвидкісного електродвигуна 4 через циліндричний редуктор і відкриту зубчасту передачу. Зубчатий вінець 9 закріплюється на барабані ближче до опорно-упорної станції. Частота обертання барабана складає 2-12 об/хв. На кінцях барабана встановлені завантажувальна камера 2 для введення вологого продукту і теплоносія і розвантажувальна камера 6 для виведення продукту і відпрацьованого теплоносія з апарата.

При протиточному русі висушуваного матеріалу і теплоносія останній вводитьься в розвантажувальній камері, а виводиться в завантажувальній.

Для завантаження обертальних барабанів призначені живильники, які встановлюються над завантажувальною камерою. Матеріал подається живильником в барабан по нахилених лотках 1 (кут нахилу складає 60-70°), що забезпечує зсипання матеріалу в барабан без зависання.

Між камерами і барабаном встановлюють ущільнення для усунення підсоса зовнішнього повітря. Підсос повітря в барабанній сушарці особливо

небажаний з боку подачі гарячого теплоносія, оскільки при цьому знижується температура теплоносія і зростає швидкість його руху в барабані.

В барабані установлені насадки, що забезпечують рівномірний розподіл матеріалу по перетину барабана. З боку надходження матеріалу в барабані розташована приймально-гвинтова насадка 11, далі – основна насадка. В сушильних барабанах діаметром 1000-1600 мм для матеріалів з гарною сипучістю і розміром частинок до 8 мм як основна насадка рекомендується використовувати секторну насадку, а для сипких матеріалів з великим розміром частинок або схильних до злипання матеріалів – лопатеву 12. Якщо матеріал в ході сушки відновлює сипкі властивості, то як приймально-гвинтова використовують лопатеву насадку, а як основна — секторну.

Теплота передається матеріалу конвекцією від газів і теплопровідністю від нагрітої поверхні насадки і внутрішньої поверхні барабана. Об'єм барабана заповнюють матеріалом звичайно на 20 %. Матеріал рухається уздовж обертного барабана завдяки нахиленню його до горизонту, а також під дією проходячих через сушарку газів. Для виключення віднесення значної кількості висушуваного матеріалу відносна швидкість газу в барабанній сушарці складає 2-5 м/с.

Висушений продукт виводиться з розвантажувальної камери лопатевим затвором або шнеком. Відпрацьовані гази проходять систему пилоочистки і відводяться в атмосферу.

Барабан сушарки є сталевую циліндровою обичайкою завтовшки 8-20 мм. Як показує досвід, барабан при роботі має тенденцію декілька сплющуватися, особливо в перерізах під опорами. Щоб уникнути цього барабан забезпечують підбандажними обичайками 7, привареними до корпусу. Товщина накладок в 1,5-2 рази перевищує товщину барабана. Таким чином, утворюється підбандажна обичайка – міцне кільце, яке перешкоджає деформації барабана. Іноді підбандажну обичайку виготовляють як єдине товсте кільце, зварюване з пролітною обичайкою барабана кільцевим швом.

Бандажі звичайно виготовляють зі сталі 40; вони є кільцями прямокутного профілю і служать для передачі навантаження від корпусу апарата на опорні і упорні ролики. Останні відливають з чавуну СЧ18 або СЧ 21. Нерівнопрочність роликів і бандажів призводить до прискореного зношення роликів, виготовити які дешевше і простіше, ніж бандаж. Бандажі 1 (рисунок 6) звичайно закріплюють на барабані 6 башмаками 3, які приєднують до кільцевих накладок 5 зваренням або болтами 4. Виступи двох сусідніх башмаків повернені в різні боки, що запобігає осьовому переміщенню бандажа уздовж барабана. Зазор між башмаками 3 і бандажами регулюють підкладками 2.

Опорно-упорна станція (рисунок 2.3) складається з основної плити 4, на якій закріплено чотири підшипникові вузли 3 для опорних роликів 2, а також напольгиві ролики 5, розташовані під кутом до вертикалі. Бандаж 1 упирається в ролики 5 поверхнями торців.

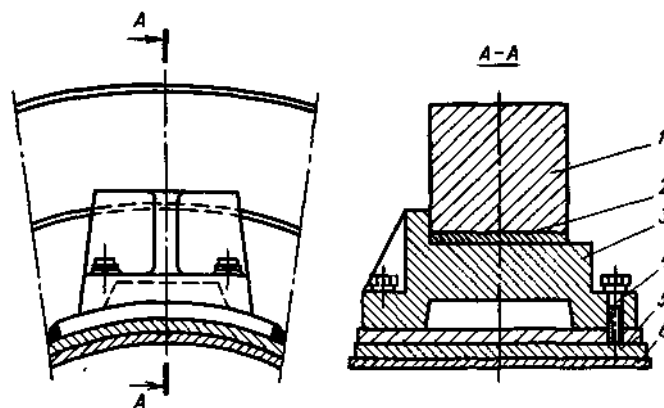


Рисунок 2.2 – Вузол кріплення бандажа до барабана

Барабанні сушарки звичайно працюють при низькому вакуумі (50-250 Па) для усунення виходу в цех заповнених топочних газів; у зв'язку з цим стики барабана з камерами ущільнюють. За ОСТом 26 01-441-85 в місцях з'єднання барабана із завантажувальною і розвантажувальною камерами встановлюють сальникові, стрічкові або секторні ущільнення. В апаратах

діаметром 1000-2800 мм і температурою стінки барабана до 90 °С рекомендується використовувати стрічкове ущільнення (рисунок 2.4 ), а при більш високій температурі – сальникове. В апаратах більшого діаметру рекомендується використовувати секторне ущільнення (рисунок 2.5).

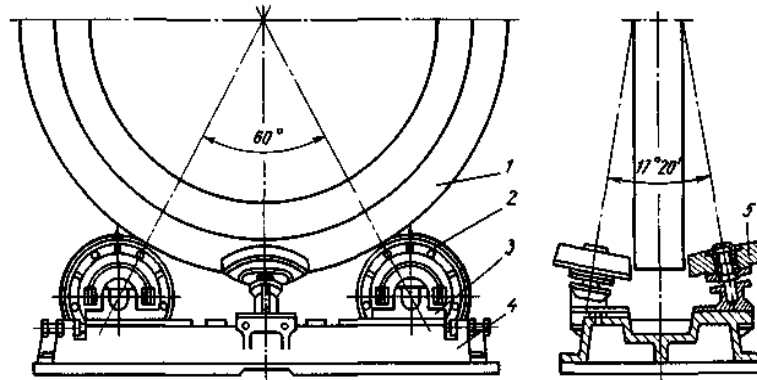


Рисунок 2.3 – Опорно-упорна станція

У стрічковому ущільненні один кінець багат шарової стрічки 2 (рисунок 2.4) закріплений на нерухомому кільці 5 камери, а інший – заведений на кільце 1, закріплене на барабані. Стрічка притиснута до рухомого кільця дротяним кільцем 3 через накладку 4. Секторне ущільнення (рисунок 2.5) складається з рухомого, що обертається разом з барабаном, кільця 2 і нерухомого кільця 1. До рухомого кільця 2 пружинами 4 притискаються десять секторів 3. Упорами для пружин 4 служать стакани 5.

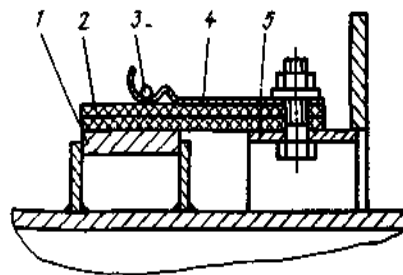


Рисунок 2.4 – Стрічкове ущільнення

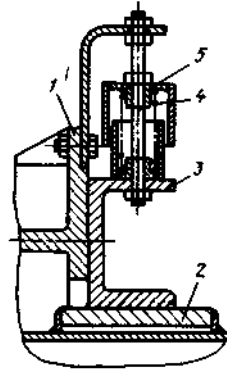


Рисунок 2.5 – Секторне ущільнення

### 3 Вибір основних конструктивних матеріалів

Для виготовлення корпусів сушарок застосовують вуглецеві сталі марок Ст3пс3, Ст3Гпс3, Ст3сп3, Ст3пс2 і Ст3пс5 за ДСТУ 2651-94 та низьколеговані марки сталей 09Г2С категорії 3, 09Г2С категорії 5 і 09Г2С категорії 7 за ГОСТ 19281-89.

Вуглецеві сталі марок Ст3пс3, Ст3Гпс3, Ст3Гпс3 і Ст3сп3 застосовують при температурі стінки корпуса від 0 до плюс 200 °С, сталь марки Ст3пс2 – від мінус 20 до плюс 350 °С, сталь марки Ст3пс5 – від мінус 20 до плюс 425 °С. Оскільки температура стінки сушарки не перевищує 110°С, то для виготовлення корпусу приймаємо сталь марки Ст3пс3.

Низьколеговану сталь марки 09Г2С застосовують при температурі стінки корпуса від мінус 50 до плюс 475 °С.

В технічно обґрунтованих випадках допускається виготовляти корпуси сушарок із корозійностійких марок сталей. Оскільки за ТУ на виготовлення калієвої селітри, масова частка заліза у її складі повинна становити не більше ніж 0,005 %, то для виготовлення корпусу сушарки приймаємо корозійностійку сталь 12Х18Н10Т.

Для виготовлення опорних та опорно-упорних бандажів застосовують сталі марок 35Л-ІІ, 45Л-ІІ, 30ГСЛ-ІІ, 35ХМЛ-ІІ, 45ФЛ-ІІ за ГОСТ 977-71, 40 за ГОСТ 1050-88. Для виготовлення бандажів приймаємо сталь 40 як більш дешеву.

Опорні та упорні ролики виготовляють зі сталей марок 25, 35 за ГОСТ 1050-88, 25Л-ІІ, 35Л-ІІ за ГОСТ 977-71. Приймаємо сталь марки 35 за ГОСТ 1050-88.

Для виготовлення осей опорних роликів застосовують сталі наступних марок: 45 за ГОСТ 1050-88, 40Х і 38ХГН за ГОСТ 4543-71. Приймаємо сталь марки 45 за ГОСТ 1050-88.

Для виготовлення зубчастих вінців застосовують сталь марки 35Л-ІІ за

ГОСТ 977-71 та чавуни марок СЧ 20 і СЧ 25 за ГОСТ

Підвінцеві шестерні виготовляють зі сталей марок 40Х за ГОСТ 4543-71, 45 за ГОСТ 1050-88 та 45Л-II за ГОСТ 977-71.

Для виготовлення валів підвінцевих шестерень застосовують сталь марки 45 за ГОСТ 1050-88.

Проектування при інших рівних параметрах слід розпочинати з вибору менш міцних марок сталей. У тому випадку, якщо розрахунок на міцність покаже, що у небезпечному перерізу елемента, який розраховується, умови міцності не виконуються, слід застосовувати більш міцний матеріал.

#### 4 Розрахунок основних розмірів барабанної сушарки

Вихідні дані:

потужність виробництва

$G=25$

тис.т/рік,

початкова вологість матеріалу

$\omega_1 = 3\%$ ,

кінцева вологість

$\omega_2 = 0,1\%$ .

Вибір типу сушарки.

При заданій початковій вологості нітрат калію є достатньо сипучим. Враховуючи необхідність проведення безперервного процесу та значну виробничу потужність приймаємо сушарку барабанного типу.

Насадка – лопатева. Сушильний агент – повітря, оскільки неприпустиме забруднення продукту. Схема руху сушильного агенту та матеріалу прямоточна.

Визначення та вибір основних розрахункових параметрів.

Визначаємо за [1, табл.9, ст. 92] параметри повітря в сушарці.

Вихідні дані: температура повітря при вході в сушарку  $t_1=110^\circ\text{C}$ , на виході  $t_2=50^\circ\text{C}$ , температура нітрату калію на вході в барабан  $\vartheta_1 = 20^\circ\text{C}$ , на виході  $\vartheta_2 = 50^\circ\text{C}$ . Коефіцієнт заповнення барабану  $\beta = 15\%$ . Теплоємність сухого нітрату калію за [2, ст. 205]  $C = 0,221 \text{ ккал} / \text{кг} \cdot \text{град}$ .

Параметри зовнішнього повітря визначаються з урахуванням географічних умов. Для зимових умов  $t_0=-7^\circ\text{C}$  та  $\varphi_0 = 84\%$ , барометричний тиск  $B=745$  мм рт. ст.  $\approx 10100 \text{ кг/м}^2$ .

Знаходимо вологомісткість зовнішнього повітря:

$$d_0 = 622 \cdot \frac{\varphi_0 \cdot P_H}{B - \varphi_0 \cdot P_H} \text{ г/кг},$$

(4.1)

$$d_0 = 622 \cdot \frac{0,84 \cdot 35}{10100 - 0,84 \cdot 35} = 1,82 \text{ г/кг},$$

де  $P_H$  – тиск насиченої водяної пари  $\approx 35 \text{ кг/м}^2$  за [1, ст. 109, табл.10].

Тепломісткість зовнішнього повітря:

$$I_0 = 0,24t + (595 + 0,47t) \cdot \frac{d_0}{1000} \text{ ккал/кг},$$

(4.2)

$$I_0 = 0,24(-7) + (595 - 0,47 \cdot 7) \cdot \frac{1,82}{1000} = -0,6 \text{ ккал/кг}.$$

Параметри повітря на виході з калорифера:

$$I_1 = 0,24 \cdot 110 + (595 + 0,47 \cdot 110) \cdot \frac{1,82}{1000} = 27,57 \text{ ккал/кг},$$

де  $t_1=110^\circ\text{C}$ ;  $d_1=d_0=1,82 \text{ г/кг}$ ;

Параметри повітря на виході з сушарки:

$$d_2 = 622 \cdot \frac{0,22 \cdot 1257,7}{10100 - 0,22 \cdot 1257,7} = 17,52 \text{ г/кг},$$

Де  $t_2=50^\circ\text{C}$ ;  $\varphi_2=22\%$ ;  $P_H=1257,7 \text{ кг/м}^2$  при  $50^\circ\text{C}$  за [1, табл.2, ст. 22];

$$I_2 = 0,24 \cdot 50 + (595 + 0,47 \cdot 50) \cdot \frac{17,52}{1000} = 22,8 \text{ ккал/кг}.$$

#### 4.1 Матеріальний баланс сушарки

Годинна продуктивність:

$$G' = \frac{G}{a \cdot b} \text{ кг/год}, \quad (4.3)$$

де  $a = 24$  – кількість годин роботи сушарки на добу;

$b = 354$  – кількість робочих днів на рік;

$G = 25000$  т/рік – річна продуктивність.

$$G' = \frac{25000}{24 \cdot 354} = 2943 \text{ кг/год.}$$

Кількість вологого матеріалу що поступає в сушарку:

$$G_1 = G' \cdot \frac{100}{100 - \omega_1} \text{ кг/год}, \quad (4.4)$$

$$G_1 = 2943 \cdot \frac{100}{100 - 3} = 3034 \text{ кг/год.}$$

Кількість висушеного матеріалу:

$$G_2 = G' \cdot \frac{100}{100 - \omega_2} \text{ кг/год}, \quad (4.5)$$

$$G_2 = 2943 \cdot \frac{100}{100 - 0,1} = 2946 \text{ кг/год.}$$

Кількість вологи що видаляється:

$$W = G_1 - G_2 \text{ кг/ГОД,}$$

(4.6)

$$W = 3034 - 2946 = 88 \text{ кг/ГОД;}$$

перевіряємо цю величину за формулою:

$$W = G_1 \cdot \frac{\omega_1 - \omega_2}{100 - \omega_2} \text{ кг/ГОД,}$$

(4.7)

$$W = 3034 \cdot \frac{3 - 0,1}{100 - 0,1} = 88 \text{ кг/ГОД.}$$

Попередній вибір основних розмірів барабану.

Задаємося напруженням барабану ( $A_v$ ) та приймаємо діаметр барабану:  
 $A_v=4$  за [1, ст. 92, 93] та  $D_6=2000$  мм. Об'єм барабану знайдемо за формулою:

$$V_6 = \frac{W}{A_v} \text{ м}^3,$$

(4.8)

$$V_6 = \frac{88}{4} = 22 \text{ м}^3.$$

Знайдемо довжину барабану:

$$L_{\phi} = \frac{V_{\phi}}{0,785 \cdot D_{\phi}^2} \text{ м},$$

(4.9)

$$L_{\phi} = \frac{22}{0,785 \cdot 2^2} = 7,02 \text{ м}.$$

Приймаємо  $L_{\phi}=8$  м за [1, ст. 95];  $L/D=8/2=4$ , що задовольняє умові:  $3,5 < 4 < 7$ .

#### 4.2 Тепловий розрахунок сушарки

Питома витрата сухого повітря на сушіння:

$$l = \frac{1000}{d_2 - d_0} \text{ кг/кг вологи},$$

(4.10)

$$l = \frac{1000}{17,52 - 1,82} = 63,7 \text{ кг/кг вологи}.$$

Витрата повітря:

$$L = l \cdot W \text{ кг/год},$$

(4.11)

$$L = 63,7 \cdot 88 = 5612 \text{ кг/год}.$$

Об'єм вологого повітря:

$$v_1 = \frac{29,2 \cdot T}{B - \varphi \cdot p_H} \text{ м}^3/\text{кг},$$

(4.12)

$$v_1 = \frac{29,2 \cdot 383}{10100 - 0,84 \cdot 35} = 1,11 \text{ м}^3/\text{кг},$$

де  $t_1=110^\circ\text{C}$  та  $\varphi=84\%$ .

Об'єм повітря на вході в сушарку:

$$V_1 = v_1 \cdot L \text{ м}^3/\text{год}, \quad (4.13)$$

$$V_1 = 1,11 \cdot 5612 = 6229,3 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Об'єм повітря на виході з сушарки:

$$V_2 = v_2 \cdot L \text{ м}^3/\text{год}, \quad (4.14)$$

$$V_2 = 0,96 \cdot 5612 = 5387,5 \text{ м}^3/\text{год},$$

де  $v_2=0,96 \text{ м}^3/\text{кг}$ , при  $t_2=50^\circ\text{C}$  та  $\varphi=22\%$  за формулою 4.12.

Витрата тепла на підігрів повітря в калорифері:

$$q_k = l \cdot (I_1 - I_0) \text{ ккал/кг вологи}, \quad (4.15)$$

$$q_k = 63,7 \cdot (27,57 + 0,6) = 1794,5 \text{ ккал/кг вологи}.$$

Витрати тепла (за годину):

$$Q = q_k \cdot W \text{ ккал/год}, \quad (4.16)$$

$$Q = 1794,5 \cdot 88 = 150895,5 \text{ ккал/год.}$$

Теплові втрати в навколишнє середовище.

З початку необхідно знайти  $K$  – коефіцієнт теплопередачі від повітря до навколишнього середовища.

Середня швидкість повітря в сушарці:

$$\omega_n^{cp} = \frac{0,5 \cdot (V_1 + V_2)}{f_{\delta}^2 \cdot (1 - \beta)} \text{ м/сек,} \quad (4.17)$$

$$\omega_n^{cp} = \frac{0,5 \cdot (6229,3 + 5387,5)}{0,785 \cdot 2^2 \cdot (1 - 0,15) \cdot 3600} = 0,945 \text{ м/сек,}$$

приймаємо  $\omega_n^{cp} = 0,95 \text{ м/сек.}$

При середній температурі повітря в сушарці

$$t_f = \frac{t_1 + t_2}{2} \text{ } ^\circ\text{C,} \quad (4.18)$$

$$t_f = \frac{110 + 50}{2} = 80 \text{ } ^\circ\text{C}$$

фізичні константи повітря мають такі значення:  $\nu = 20,7 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{сек}$ ;  $\lambda = 2,599 \text{ ккал/м}^3\text{град.}$

Режим руху повітря:

$$\text{Re} = \frac{\omega_n \cdot D_{\delta}}{\nu}, \quad (4.19)$$

$$Re = \frac{0,95 \cdot 2}{20,7 \cdot 10^{-6}} = 91787 > 1 \cdot 10^4.$$

Коефіцієнт тепловіддачі від повітря до стінки за рахунок вимушеної конвекції:

$$Nu = 0,018 \cdot Re_f^{0,8} \cdot \varepsilon_l, \quad (4.20)$$

$$Nu = 0,018 \cdot 91787^{0,8} \cdot 1,185 = 199,$$

де  $\varepsilon_l = 1,185$  за [1. Табл. 3, ст. 34], тоді

$$\alpha'_1 = \frac{Nu \cdot \lambda}{D} \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{град}, \quad (4.21)$$

$$\alpha'_1 = \frac{199 \cdot 2,599 \cdot 10^{-2}}{2} = 2,58 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{град}.$$

Коефіцієнт тепловіддачі за рахунок вільної конвекції:

$$Nu_f = 0,47 \cdot Gr_f^{0,25}, \quad (4.22)$$

$$Nu_f = 0,47 \cdot (7,78 \cdot 10^9)^{0,25} = 139,6$$

Критерій Грасгофа:

$$Gr_f = \frac{g \cdot D^3}{\nu^2} \cdot \frac{\Delta T}{T}, \quad (4.23)$$

$$Gr_f = \frac{9,81 \cdot 2^3}{(20,7 \cdot 10^{-6})^2} \cdot \frac{80-50}{273+80} = 7,78 \cdot 10^9,$$

тоді

$$\alpha_1'' = \frac{Nu_f \cdot \lambda}{D} \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{град}, \quad (4.24)$$

$$\alpha_1'' = \frac{139,6 \cdot 2,599 \cdot 10^{-2}}{2} = 1,81 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{град}.$$

Коефіцієнт тепловіддачі від повітря до стінки:

$$\alpha_1 = k \cdot (\alpha_1' + \alpha_1'') \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{град}, \quad (4.25)$$

$$\alpha_1 = 1,25 \cdot (2,58 + 1,81) = 5,49 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{град}.$$

де  $k=1,2 - 1,3$  коефіцієнт який враховує турбулізацію потоку за [1, ст.33].

Знайдемо коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої стінки барабану до навколишнього середовища за формулою (4.30), коефіцієнт тепловіддачі за рахунок природної конвекції за формулою (4.28).

Припускаємо що температура у цеху дорівнює  $15^\circ\text{C}$ , а температура ізолюваної зовнішньої стінки барабану  $t_{\omega 2} = 30^\circ\text{C}$ . Середня температура пограничного шару повітря біля стінки:

$$t_{n.ш} = \frac{30+15}{2} = 22^\circ\text{C}, \quad (4.26)$$

Для таких умов  $\nu = 15,1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{сек}$ ;  $\lambda = 2,25 \cdot 10^{-2} \text{ ккал/м} \cdot \text{год} \cdot \text{град}$ . Тоді критерій Грасгофа:

$$Gr = \frac{9,81 \cdot 2,1^3}{(15,1 \cdot 10^{-6})^2} \cdot \frac{30-15}{273+15} = 2,08 \cdot 10^{10}.$$

З урахуванням шару ізоляції зовнішній діаметр  $D_3$  барабану приблизно приймаємо 2,1 м. Тоді  $(Re \cdot Pr) = (2,08 \cdot 10^{10} \cdot 0,7) = 1,456 \cdot 10^{10} > 2 \cdot 10^7$ . За цими даними вибираємо відповідну формулу для розрахунку з [1, ст. 35, табл. 5]:

$$Nu_m = 0,135 \sqrt[3]{Gr \cdot Pr}, \quad (4.27)$$

$$Nu_m = 0,135 \cdot \sqrt[3]{1,456 \cdot 10^{10}} = 329.$$

$$\alpha'_2 = \frac{Nu \cdot \lambda}{D_3} \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{град}, \quad (4.28)$$

$$\alpha'_2 = \frac{329 \cdot 2,25 \cdot 10^{-2}}{2,1} = 3,53 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{град}.$$

Коефіцієнт тепловіддачі за рахунок випромінювання:

$$\alpha''_2 = \frac{\varepsilon C_0 \left[ \left( \frac{T_{CT}}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_{CP}}{100} \right)^4 \right]}{T_{CT} - T_{CP}} \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{град}, \quad (4.29)$$

$$\alpha''_2 = \frac{0,95 \cdot 4,96 \cdot \left[ \left( \frac{273 + 30}{100} \right)^4 - \left( \frac{273 + 15}{100} \right)^4 \right]}{30 - 15} = 4,86 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{град},$$

де  $\varepsilon = 0,95$  – ступінь чорноти для поверхні, що покрита масляною фарбою;

$C_0 = 4,96 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{град}$  – коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла;

$T_{CT}$  та  $T_{CP}$  – відповідно абсолютна температура стінки та навколишнього середовища.

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки барабану до повітря:

$$\alpha_2 = \alpha'_2 + \alpha''_2 \text{ ккал/м}^2\text{год}^\circ\text{град}, \quad (4.30)$$

$$\alpha_2 = 3,53 + 4,86 = 8,39 \text{ ккал/м}^2\text{год}^\circ\text{град}.$$

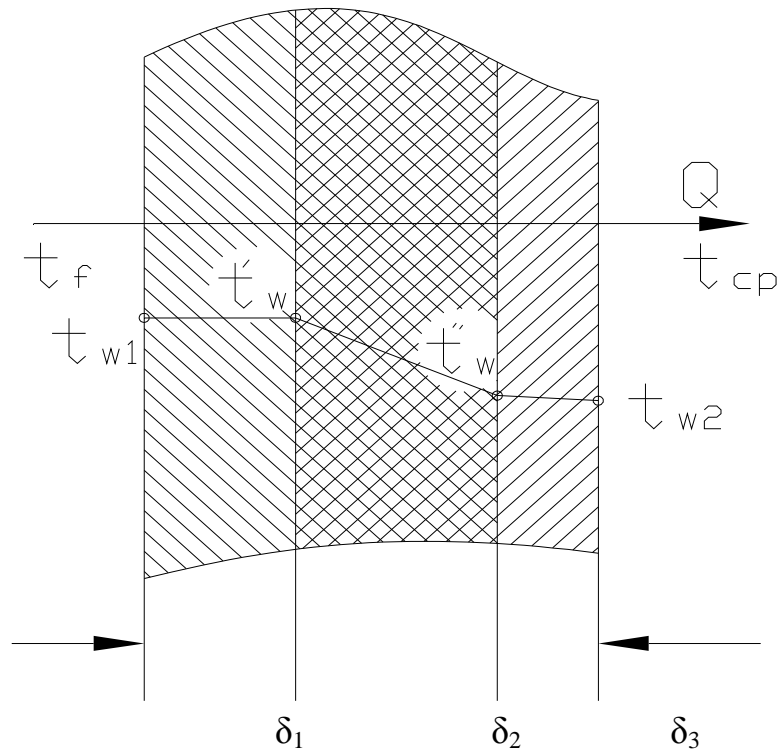


Рисунок 4.1. Схема ізоляції сушарки.

Визначимо необхідну товщину ізоляції. Припустимо що шар ізоляції, товщиною  $\delta_2$ , захищений кожухом із заліза  $\lambda_3 = 39 \text{ ккал/м}^2\text{год}^\circ\text{град}$  (див. рис. 4.1).

В якості ізоляційного матеріалу вибираємо азбестове волокно ( $\lambda_2 = 0,095 \text{ ккал/м}^2\text{год}^\circ\text{град}$ ). Товщина стінки барабану  $\delta_1 = 10 \text{ мм}$ ;  $\lambda_1 = 39 \text{ ккал/м}^2\text{год}^\circ\text{град}$ . Без особливої похибки можна записати що  $t_w' = t_{w1}$  та  $t_w'' = t_{w2}$ , але  $t_{w1} = 50^\circ\text{C}$  та  $t_{w2} = 30^\circ\text{C}$ .

Питомий тепловий потік:

$$q_l = \pi \cdot D_{BH} \cdot \alpha_1 \cdot (t_f - t_{w1}) \text{ ккал/м}^2\text{год}^{\circ}\text{град}, \quad (4.31)$$

$$q_l = 3,14 \cdot 2 \cdot 5,49 \cdot (80 - 50) = 1034,3 \text{ ккал/м}^2\text{год}^{\circ}\text{град}.$$

Знаходимо зовнішній діаметр барабану з ізоляцією:

$$q_l = \frac{2\pi \cdot \lambda_{из} \cdot (t_{w1} - t_{w2})}{2,3 \lg \frac{D_2}{D_1}}, \quad (4.32)$$

$$q_l = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,095 \cdot (50 - 30)}{2,3 \lg \frac{D_2}{2}}$$

де  $D_1=2$  м – зовнішній діаметр барабану. З формули витікає що  $D_2 \approx 2,01$  м, та товщина шару ізоляції:

$$\delta_2 = \frac{2010 - 2000}{2} = 5 \text{ мм}, \quad (4.33)$$

остаточно приймаємо товщину шару ізоляції  $\delta_2=10$  мм.

Уточнюємо зовнішній діаметр барабану:

$$D_3 = 2 + 2 \cdot 0,01 + 2 \cdot 0,01 + 2 \cdot 0,001 = 2,042 \text{ м}. \quad (4.34)$$

Загальний коефіцієнт теплопередачі:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \left( \frac{\delta_1 + \delta_2}{\lambda_1} \right) + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} \text{ ккал/м}^2\text{год}^\circ\text{град},$$

(4.35)

$$K = \frac{1}{\frac{1}{5,49} + \frac{1}{8,39} + \left( \frac{0,01 + 0,001}{39} \right) + \frac{0,01}{0,095}} = 2,46 \text{ ккал/м}^2\text{год}^\circ\text{град}.$$

Середня різниця температур між сушильним агентом та навколишнім середовищем:

$$\begin{aligned} \Delta t_{\bar{\theta}} &= 110 - 15 = 95^\circ\text{C}, \\ \Delta t_m &= 50 - 15 = 35^\circ\text{C}, \\ \Delta t_{cp} &= \frac{\Delta t_{\bar{\theta}} - \Delta t_m}{2,3 \lg \frac{\Delta t_{\bar{\theta}}}{\Delta t_m}}^\circ\text{C}, \end{aligned}$$

(4.36)

$$\Delta t_{cp} = \frac{95 - 35}{2,3 \lg \frac{95}{35}} = 60,15^\circ\text{C}.$$

Поверхня теплообміну:

$$F \approx \pi \cdot D_3 \cdot L_B + 2 \cdot 0,785 \cdot D_3^2 \text{ м}^2,$$

(4.37)

$$F \approx 3,14 \cdot 2,042 \cdot 8 + 2 \cdot 0,785 \cdot 2,042^2 = 57,87 \text{ м}^2.$$

Втрати тепла в навколишнє середовище:

$$q_{\Pi} = \frac{K \cdot F \cdot \Delta t_{cp}}{W} \text{ ккал/кг вологи},$$

(4.38)

$$q_{\Pi} = \frac{2,46 \cdot 57,87 \cdot 60,15}{88} = 97,15 \text{ ккал/кг вологи.}$$

#### 4.3 Тепловий баланс

Умовою правильного виконання теплових розрахунків є складений тепловий баланс з нев'язкою не більше ніж 5 %.

Формула теплового балансу у загальному вигляді:

$$q_{\text{прих}} = q_{\text{витр}}, \quad (4.39)$$

де  $q_{\text{прих}}$  та  $q_{\text{витр}}$  відповідно прихід та витрати тепла, віднесені до 1 кг вологи що випарилася;

$$q_{\text{прих}} = q_{\text{пов}} + q_{\text{в}} + q_{\text{м}} + q_{\text{к}} \text{ ккал/кг вологи,} \quad (4.40)$$

$$q_{\text{витр}} = q'_{\text{пов}} + q'_{\text{м}} + q_{\text{к}} \text{ ккал/кг вологи,} \quad (4.41)$$

де  $q_{\text{пов}}$  – прихід тепла з повітрям з навколишнього середовища, ккал/кг вологи;

$q_{\text{в}}$  – прихід тепла з вологою матеріалу, ккал/кг вологи;

$q_{\text{м}}$  – прихід тепла з матеріалом (сухим), ккал/кг вологи;

$q_{\text{к}}$  – тепло яке потрібно для нагрівання повітря в калорифері, ккал/кг вологи;

$q'_{\text{пов}}$  – тепло яке витрачається з нагрітим повітрям, що виходить з сушарки, ккал/кг вологи;

$q'_m$  – тепло яке витрачається з висушеним матеріалом, ккал/кг вологи;

$q_{\text{п}}$  – втрати тепла в навколишнє середовище, ккал/кг вологи.

$$q_{\text{нов}} = l \cdot I_0, \quad (4.42)$$

$$q_{\text{нов}} = 63,7 \cdot (-0,6) = -38,22 \text{ ккал/кг вологи};$$

$$q_{\text{с}} = \vartheta_1 = 20 \text{ ккал/кг вологи}; \quad (4.43)$$

$$q_m = \frac{G_2}{W} \cdot c''_m \cdot \vartheta_1 \text{ ккал/кг вологи},$$

(4.44)

де  $c''_m$  - теплоємність матеріалу на виході із сушарки:

$$c''_m = c_{\text{сух}} \cdot \frac{100 - \omega_2}{100} + \frac{\omega_2}{100} \text{ ккал/кг град}, \quad (4.45)$$

$$c''_m = 0,221 \cdot \frac{100 - 0,1}{100} + \frac{0,1}{100} = 0,221 \text{ ккал/кг град}.$$

$$q_m = \frac{2946}{88} \cdot 0,221 \cdot 20 = 147,8 \text{ ккал/кг вологи};$$

$$q_k = 1794,5 \text{ ккал/кг вологи};$$

$$q'_{\text{нов}} = l \cdot I_2 \text{ ккал/кг вологи},$$

(4.46)

$$q'_{\text{нов}} = 63,7 \cdot 22,8 = 1452,36 \text{ ккал/кг вологи};$$

Прихід тепла, ккал/кг вологи	ккал/кг вологи	Витрати тепла, ккал/кг вологи	ккал/кг вологи
З повітрям	-38,22	З повітрям що виходить	1452,4
З вологою матеріалу	20	З висушеним матеріалом	369,5
З матеріалом (сухим)	147,8	Втрати в навколишнє середовище	124,9
Від джерела тепла в калорифері	1794		
Всього	1923,58		1953,8

$$q'_m = \frac{G_2}{W} \cdot c''_m \cdot \vartheta_2 \text{ ккал/кг вологи,}$$

(4.47)

$$q_m = \frac{2946}{88} \cdot 0,221 \cdot 50 = 369,5 \text{ ккал/кг вологи;}$$

$$q_{\Pi} = 124,9 \text{ ккал/кг вологи;}$$

Таблиця 2.5-Тепловий баланс

Нев'язка балансу складає 30,22 ккал/кг вологи, що становить менше 1,5 %, що задовольняє умові  $1,5 \% < 5\%$ .

## 5 Розрахунок сушарки на міцність, жорсткість та стійкість

### 5.1 Вихідні дані:

Зовнішній діаметр барабана  $D$ , мм

2000

Довжина корпусу барабана  $L$ , мм

8000

Товщина стінки прогінної обичайки  $s$ , мм

10

Товщина стінки підбандажної обичайки  $s_l$ , мм

12

Ширина підбандажної обичайки  $B$ , мм

400

Довжина консолі  $l_1$ , мм

1650

Відстань між осями бандажів  $l_2$ , мм

4700

Відстань між осями бандажа та найближчого до нього зубчастого вінця  $l_3$ , мм

1200

Зовнішній діаметр бандажа  $D_6$ , мм

2480

Внутрішній діаметр бандажа  $D_2$ , мм

2200

Ширина бандажа  $b$ , мм

180

Діаметр опорного ролика  $d_{op}$ , мм

600

Довжина опорного ролика  $b_{op}$ , мм

230

Маса корпусу  $m_k$ , кг

7680

Маса опорного бандажа,  $m_{\delta o}$ , кг

1930

Маса опорного-упорного бандажа,  $m_{\delta y}$ , кг

1930

Маса зубчастого вінця  $m_{зв}$ , кг

1860

Розрахункова температура барабана на вході теплоносія  $t$ , °C

110

Матеріал корпусу сушарки

сталь марки

12X18H10T

Матеріал бандажа

сталь

40

Матеріал опорного ролика

сталь

35

Матеріал упорного ролика

сталь

35

Матеріал вісі опорного ролика

сталь

45

Насипна щільність матеріалу, що знаходиться в сушарці,  $\rho_m$ , кг/м<sup>3</sup>

1000

## 5.2. Допустима температура

При розрахунку на міцність корпусу барабанної сушарки температуру в будь-яких його небезпечних перерізах приймаємо рівною температурі на вході теплоносія,  $t=110^\circ\text{C}$ .

## 5.3 Розрахунок корпусу сушарки

### 5.3.1 Розрахунок корпусу сушарки на міцність

Вагу корпусу сушарки визначаємо за формулою

$$G_1 = (m_{\kappa} + m_{\delta o} + m_{\delta y} + m_{\text{зб}}) \cdot g \text{ Н}, \quad (5.1)$$

$$G_1 (7680 + 1930 + 1930 + 1860) \cdot 9,81 = 1,315 \cdot 10^5 \text{ Н}.$$

Вагу матеріалу  $G_2$ , що знаходиться в сушарці, визначаємо за формулою:

$$G_2 = \frac{\pi \cdot (D - 2S - 2C)^2}{4 \cdot 10^9} \cdot L \cdot \varphi_m \cdot \rho \cdot g \text{ Н}, \quad (5.2)$$

- де  $C$  — сума добавок до розрахункової товщина стінки прогінної обичайки, мм;
- $\varphi_m$  — коефіцієнт заповнення корпусу сушарки матеріалом (максимальне значення  $\varphi_m = 0,25$ ).

Суму добавок до розрахункової товщина стінки прогінної обичайки визначаємо за навчальним посібником [3]

$$C = C_1 + C_2 + C_3 \text{ мм}, \quad (5.3)$$

- де  $C_1$  — добавка до розрахункової товщина стінки прогінної обичайки для компенсації корозії і ерозії, мм;
- $C_2$  — добавка до розрахункової товщина стінки прогінної обичайки для компенсації мінусового допуску, мм;
- $C_3$  — технологічна добавка до розрахункової товщина стінки прогінної обичайки, мм.

Добавку до розрахункової товщина стінки прогінної обичайки для компенсації корозії і ерозії приймаємо рівною нулю.

Добавку до розрахункової товщина стінки прогінної обичайки для ком-

пенсації мінусового допуску приймаємо рівною 0,8 мм.

Технологічну добавку до розрахункової товщина стінки прогінної обичайки приймаємо рівною нулю.

$$C = 0 + 0,8 = 0 = 0,8 \text{ мм.}$$

$$G_2 = \frac{3,14 \cdot (2000 - 2 \cdot 10 - 2 \cdot 0,8)^2}{4 \cdot 10^9} \cdot 8000 \cdot 0,25 \cdot 1000 \cdot 9,81 = 60,28 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Рівномірно розподілене навантаження визначаємо за формулою:

$$q = (G_1 + G_2) / L, \quad (5.4)$$

$$q = \frac{1,315 \cdot 10^5 + 0,603 \cdot 10^5}{8000} = 23,97 \text{ Н / мм.}$$

Максимальну перерізувальну силу  $Q_1$ , що діє в підбандажній обичайці, визначаємо за формулою:

$$Q_1 = \frac{G_1 + G_2}{2L} \cdot l_2, \quad (5.5)$$

$$Q_1 = \frac{1,315 \cdot 10^5 + 0,603 \cdot 10^5}{2 \cdot 8000} \cdot 4700 = 56341 \text{ Н.}$$

Перерізувальну силу  $Q_2$ , яка діє в місці приварення підбандажної обичайки до прогінної, розраховуємо за формулою:

$$Q_2 = \frac{G_1 + G_2}{2L} \cdot (l_2 - B), \quad (5.6)$$

$$Q_2 = \frac{1,315 \cdot 10^5 + 0,603 \cdot 10^5}{2 \cdot 8000} \cdot (4700 - 400) = 51546 \text{ Н.}$$

Максимальний згинальний момент  $M_1$ , Н·мм, який діє в середній частині прогінної обичайки, визначають за формулою:

$$M_1 = \frac{G_1 + G_2}{8} \cdot (l_2 - 2l_1), \quad (5.7)$$

$$M_1 = \frac{1,315 \cdot 10^5 + 0,603 \cdot 10^5}{8} \cdot (4700 - 2 \cdot 1650) = 3,36 \cdot 10^7 \text{ Н·мм.}$$

Максимальний згинальний момент  $M_2$ , Н·мм, який діє в підбандажній

обичайки, визначаємо за формулою:

$$M_2 = \frac{G_1 + G_2}{2L} \cdot l_1^2, \quad (5.8)$$

$$M_2 = \frac{1,315 \cdot 10^5 + 0,603 \cdot 10^5}{2 \cdot 8000} \cdot 1650^2 = 3,26 \cdot 10^7 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

При  $L = 8000 > 4l_1 = 4 \cdot 1650 = 6600$  мм згинальний момент  $M_3$ , Н·мм, що діє в місці приварення підбандажної обичайки до прогінної, визначаємо за формулою:

$$M_3 = (G_1 + G_2) \cdot (4l_1^2 + B^2 - 4l_1 \cdot B) / 8L, \quad (5.9)$$

$$M_3 = \frac{(1,315 \cdot 10^5 + 0,603 \cdot 10^5) \cdot (4 \cdot 1650^2 + 400^2 - 4 \cdot 1650 \cdot 400)}{8 \cdot 8000} = 2,52 \cdot 10^7 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Крутний момент, який виникає в зубчастому зачепленні  $M_k$ , Н мм, визначаємо за формулою:

$$M_k = 9,55 \cdot 10^6 \cdot \frac{N}{n_6} \cdot \eta, \quad (5.10)$$

де  $N$  – потужність електродвигуна приводу барабану, кВт;

$n_6$  – частота обертання барабану, об/хв;

$\eta$  – коефіцієнт корисної дії приводу (орієнтовно  $\eta = 0,8$ ).

Частоту обертання і потужність приводу барабана сушарки приймаємо за каталогом [4].

Враховуючи, що сушарка комплектується трьохшвидкісним електродвигуном, крутний момент визначаємо для всіх трьох режимів.

При частоті обертання барабана  $n_6 = 0,053 \text{ с}^{-1}$  (3,18 об/хв) і потужності електродвигуна  $N = 17,9$  кВт крутний момент складає:

$$M_{\kappa} = 9,55 \cdot 10^6 \cdot \frac{17,9}{3,18} \cdot 0,8 = 4,3 \cdot 10^7 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

При частоті обертання барабана  $n_{\bar{o}} = 0,072 \text{ с}^{-1}$  (4,32 об/хв) і потужності електродвигуна  $N = 19,9 \text{ кВт}$  крутний момент складає:

$$M_{\kappa} = 9,55 \cdot 10^6 \cdot \frac{19,9}{4,32} \cdot 0,8 = 3,5 \cdot 10^7 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

При частоті обертання барабана  $n_{\bar{o}} = 0,107 \text{ с}^{-1}$  (6,42 об/хв) і потужності електродвигуна  $N = 25 \text{ кВт}$  крутний момент складає

$$M_{\kappa} = 9,55 \cdot 10^6 \cdot \frac{25}{6,42} \cdot 0,8 = 3,0 \cdot 10^7 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Отже, остаточно для подальших розрахунків приймаємо максимальний крутний момент  $M_{\kappa} = 4,3 \cdot 10^7 \text{ Н} \cdot \text{мм}$ .

Крутний момент  $M_{\kappa 1}$ , що діє в підбандажній обичайці, розраховуємо за формулою:

$$M_{\kappa 1} = 9,55 \cdot 10^6 \cdot \frac{N \cdot \eta}{n_{\bar{o}} \cdot L} \cdot (l_1 + l_2 - l_3), \quad (5.11)$$

$$M_{\kappa 1} = 9,55 \cdot 10^6 \cdot \frac{17,9 \cdot 0,8}{3,18 \cdot 8000} \cdot (1650 + 4700 - 1200) = 2,77 \cdot 10^7 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Момент інерції поперечного перерізу прогінної обичайки визначаємо за формулою:

$$J_x = \pi \cdot D^3 \cdot (S - C) / 8, \quad (5.12)$$

$$J_k = 3,14 \cdot 2000^3 \cdot (10 - 0,8) / 8 = 2,89 \cdot 10^{10} \text{ мм}^4.$$

Момент опору згину поперечного перерізу прогінної обичайки визначаємо за формулою:

$$W_x = 2 J_x / D, \quad (5.13)$$

$$W_k = 2 \cdot 2,89 \cdot 10^{10} / 2000 = 2,89 \cdot 10^7 \text{ мм}.$$

Розрахункове напруження  $\sigma_l$  в середній частині прогінної обичайки розраховуємо за формулою:

$$\sigma_1 = \frac{M_1}{W_x}, \quad (5.14)$$

$$\sigma_1 = \frac{3,36 \cdot 10^7}{2,89 \cdot 10^7} = 1,16 \text{ МПа.}$$

Статичний момент поперечного перерізу прогінної обичайки  $S_x$  визначаємо за формулою:

$$S_x = 0,5 D^2 \cdot (S - C), \quad (5.15)$$

$$S_k = 0,5 \cdot 2000^2 \cdot (10 - 0,8) = 1,84 \cdot 10^7 \text{ мм}^3.$$

Зовнішній діаметр підбандажної обичайки розраховуємо за формулою:

$$D_1 = D + 2 S_1, \quad (5.16)$$

$$D_1 = 2000 + 2 \cdot 12 = 2024 \text{ мм.}$$

Статичний момент поперечного перерізу прогінної та підбандажної обичайок визначаємо за формулою:

$$S_{x1} = 0,5 D_1^2 \cdot (S + S_1 - C), \quad (5.17)$$

$$S_{k1} = 0,5 \cdot 2024^2 \cdot (10 + 12 - 0,8) = 4,34 \cdot 10^7 \text{ мм}^3.$$

Момент інерції поперечного перерізу прогінної та підбандажної обичайок визначаємо за формулою:

$$J_{x1} = \frac{\pi \cdot D_1^3 \cdot (S + S_1 - C)}{8}, \quad (5.18)$$

$$J_{k1} = \frac{3,14 \cdot 2024^3 \cdot (10 + 12 - 0,8)}{8} = 6,9 \cdot 10^{10} \text{ мм}^4.$$

Момент опору згину поперечного перерізу прогінної та підбандажної обичайок визначаємо за формулою:

$$W_{x1} = \frac{2 J_{x1}}{D_1} \quad (5.19)$$

$$W_{\kappa 1} = \frac{2 \cdot 6,9 \cdot 10^{10}}{2024} = 6,818 \cdot 10^7 \text{ мм}^3.$$

Розрахункове напруження  $\sigma_2$ , яке виникає в підбандажній обичайці, визначаємо за формулою:

$$\sigma_2 = \frac{\sqrt{M_2^2 + M_{\kappa 1}^2}}{W_{x1}}, \quad (5.20)$$

$$\sigma_2 = \frac{\sqrt{(3,26 \cdot 10^7)^2 + (2,77 \cdot 10^7)^2}}{6,818 \cdot 10^7} = 0,627 \text{ МПа.}$$

Розрахункове напруження  $\tau_2$ , яке виникає в підбандажній обичайці, визначаємо за формулою:

$$\tau_2 = \frac{Q_1 \cdot S_{x1}}{2 J_{x1} \cdot (S + S_1 - C)}, \quad (5.21)$$

$$\tau_2 = \frac{56314 \cdot 4,34 \cdot 10^7}{2 \cdot 6,9 \cdot 10^{10} \cdot (10 + 12 - 0,8)} = 0,835 \text{ МПа.}$$

Коефіцієнт зварного шва виконаного напівавтоматичною зваркою з одного боку при 100 % контролі його довжини приймаємо за навчальним посібником [3]

$$\varphi = 0,9.$$

Розрахункове напруження  $\sigma_3$  в місці приварення підбандажної обичайки до прогінної визначаємо за формулою:

$$\sigma_3 = \frac{\sqrt{M_3^2 + M_{\kappa 1}^2}}{\varphi \cdot W_x}, \quad (5.22)$$

$$\sigma_3 = \frac{\sqrt{(2,52 \cdot 10^7)^2 + (2,77 \cdot 10^7)^2}}{0,9 \cdot 2,89 \cdot 10^7} = 1,44 \text{ МПа.}$$

Розрахункове напруження  $\tau_3$  в місці приварення підбандажної обичайки до прогінної визначаємо за формулою:

$$\tau_3 = \frac{Q_2 \cdot S_{x1}}{2 J_{x1} \cdot (S - C)}, \quad (5.23)$$

$$\tau_3 = \frac{51546 \cdot 4,34 \cdot 10^7}{2 \cdot 6,9 \cdot 10^{10} \cdot (10 - 0,8)} = 1,76 \text{ МПа.}$$

Умови міцності корпусу розраховуємо за формулами:

$$\sigma_1 \leq [\sigma]_{\kappa}^{t3}; \quad \sigma_2 \leq [\sigma]_{\kappa}^{t1}; \quad \sigma_3 \leq [\sigma]_{\kappa}^{t1}; \quad \tau_2 \leq [\tau]_{\kappa}^{t1}; \quad \tau_3 \leq [\tau]_{\kappa}^{t1}, \quad (5.24)$$

де  $[\sigma]_{\kappa}^{t1}$  – допустиме напруження для матеріалу прогінної обичайки при розрахунковій температурі під бандажем, розташованим поблизу входу теплоносія, МПа;

$[\sigma]_{\kappa}^{t3}$  – допустиме напруження для матеріалу прогінної обичайки при розрахунковій температурі в її середній частині, МПа;

$[\tau]_{\kappa}^{t1}$  – допустиме дотичне напруження для матеріалу прогінної обичайки при розрахунковій температурі під бандажем, розташованим поблизу входу теплоносія, МПа.

Розрахункову температуру барабана в будь-якому небезпечному перерізі приймаємо рівною температурі теплоносія на вході в барабан, тобто  $t_1 = t_3 = t = 110 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . При цьому допустимі напруження складають

$$[\sigma]_{\kappa}^{t1} = [\sigma]_{\kappa}^{t3} = 172,8 \text{ МПа.}$$

Умови

$$\sigma_1 = 1,16 < 172,8 \text{ МПа}; \quad \sigma_2 = 0,627 < 172,8 \text{ МПа}; \quad \sigma_3 = 1,44 < 172,8 \text{ МПа}$$

виконуються.

Допустиме дотичне напруження визначаємо за формулою:

$$[\tau]_{\kappa}^{t1} = 0,5 [\sigma]_{\kappa}^{t1}, \quad (5.25)$$

$$[\tau]_{\kappa}^{t1} = 0,5 \cdot 172,8 = 86,4 \text{ МПа.}$$

Умови

$$\tau_2 = 0,835 < [\tau]_{\kappa}^{t1} = 86,4 \text{ МПа; } \tau_3 = 1,76 < [\tau]_{\kappa}^{t1} = 86,4 \text{ МПа}$$

виконуються.

### 5.3.2 Розрахунок корпусу сушарки на стійкість

Допустимий згинальний момент за умови міцності визначаємо за формулою:

$$[M]_{\Pi} = 0,25 \pi \cdot (D - 2S) \cdot (D - S - C) \cdot (S - C) \cdot [\sigma]_{\kappa}^{t1}, \quad (5.26)$$

$$[M]_{\Pi} = 0,25 \cdot 3,14 \cdot (2000 - 2 \cdot 10) \cdot (2000 - 10 - 0,8) \cdot (10 - 0,8) \cdot 172,8 = 4,92 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{мм.}$$

Допустимий згинальний момент за умови стійкості в межах пружності визначаємо за формулою:

$$[M]_E = \frac{89 \cdot 10^{-6} \cdot E_{\kappa}^{t1}}{n_y} \cdot [D - 2(S - C)]^3 \cdot \left[ \frac{100(S - C)}{D - 2(S - C)} \right]^{2,5} \quad (5.27)$$

де  $[E]_{\kappa}^{t1}$  – модуль подовжньої пружності матеріалу корпусу при розрахунковій температурі під бандажем, розташованим поблизу входу теплоносія, МПа;

$n_y$  – коефіцієнт запасу стійкості.

Модуль подовжньої пружності матеріалу корпусу при розрахунковій температурі під бандажем, розташованим поблизу входу теплоносія, при температурі 110 °С за [5, додаток А, табл. А.2] складає  $2,13 \cdot 10^5$  МПа.

$$[M]_E = \frac{89 \cdot 10^{-6} \cdot 2,13 \cdot 10^5}{2,4} \cdot [2000 - 2 \cdot (10 - 0,8)]^3 \cdot \left[ \frac{100 \cdot (10 - 0,8)}{2000 - 2 \cdot (10 - 0,8)} \right]^{2,5} = 9,03 \cdot 10^9 \text{ МПа.}$$

Допустимий згинальний момент визначаємо за формулою:

$$[M] = \frac{[M]_n}{\sqrt{1 + \left( \frac{[M]_n}{[M]_E} \right)^2}}, \quad (5.28)$$

$$[M] = \frac{4,92 \cdot 10^9}{\sqrt{1 + \left( \frac{4,92 \cdot 10^9}{9,03 \cdot 10^9} \right)^2}} = 4,32 \cdot 10^9 \text{ МПа}.$$

Умова стійкості корпусу сушарки:

$$M_1 = 3,36 \cdot 10^7 \leq [M] = 4,32 \cdot 10^9 \text{ МПа}$$

виконується.

#### 5.4 Розрахунок бандажа та опорного ролика

##### 5.4.1 Розрахунок опорного ролика на контактну міцність

Розрахункова модель бандажа та опорного ролика представлена на рис.

5.1, 5.2.

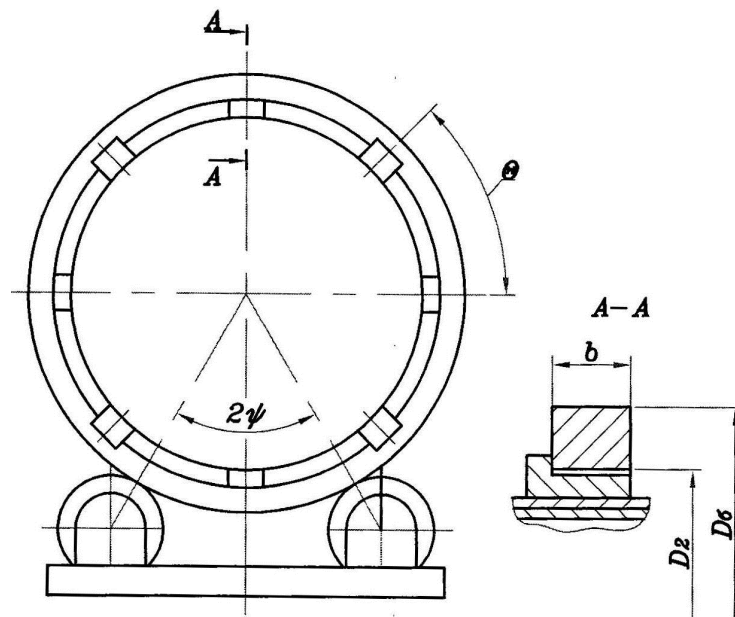


Рисунок 5.1.

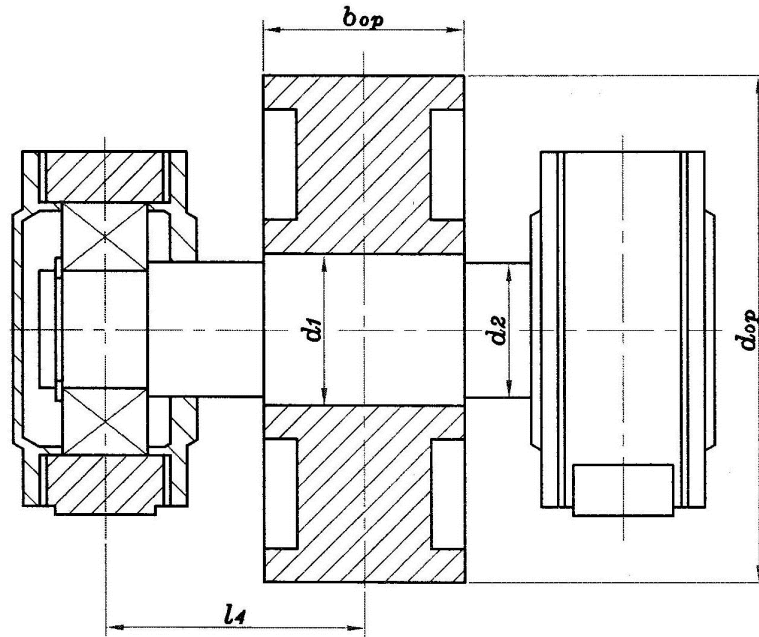


Рисунок 5.2.

Максимальне еквівалентне контактне напруження в бандажі та опорному ролику визначають за формулою:

$$\sigma_{екв} = 0,42 \sqrt{\frac{G_1 + G_2}{b \cdot \pi \cdot (1 - \mu^2) \cdot \cos \Psi} \cdot \frac{E_{\delta} \cdot E_{op}}{E_{\delta} + E_{op}} \cdot \frac{D_{\delta} + d_{op}}{D_{\delta} \cdot d_{op}}}, \quad (5.29)$$

де  $2\psi$  – кут між опорними роликами, град. (рис. 2),

$$2\psi = 60^\circ;$$

$E_{\delta}$  – модуль подовжньої пружності матеріалу бандажа при розрахунковій температурі, МПа;

$E_{op}$  – модуль подовжньої пружності матеріалу опорного ролика при розрахунковій температурі, МПа;

$\mu$  – коефіцієнт Пуассона для матеріалу бандажа – (для сталі  $\mu = 0,3$ ).

Модулі подовжньої пружності матеріалів бандажа та опорного ролика

при розрахунковій температурі 50 °C визначаємо за таблицею А.2

$$E_{\bar{\sigma}} = E_{op} = 2,07 \cdot 10^5 \text{ МПа.}$$

$$\sigma_{екв} = 0,42 \times \sqrt{\frac{1,315 \cdot 10^5 + 0,603 \cdot 10^5}{180 \cdot 3,14 \cdot (1 - 0,3^2) \cdot \cos 30^\circ} \cdot \frac{2,07 \cdot 10^5 \cdot 2,07 \cdot 10^5}{2,07 \cdot 10^5 + 2,07 \cdot 10^5} \cdot \frac{2480 + 600}{2480 \cdot 600}} = 127,56 \text{ МПа.}$$

Умова контактної міцності має вигляд :

$$\sigma_{екв} \leq [\sigma]_{мор}, \quad (5.30)$$

де  $[\sigma]_{мор}$  – допустиме напруження при розрахунку на контактну міцність матеріалу опорного ролика при розрахунковій температурі, МПа.

Для матеріалу опорного ролика (нормалізована сталь 35) з діаметром заготовки до 800 мм допустиме напруження при розрахунковій температурі 50 °C складає  $[\sigma]_{мор} = 86$  МПа за [5, додток А, табл. А.1].

Допустиме напруження при розрахунку на контактну міцність матеріалу опорного ролика при розрахунковій температурі  $[\sigma]_{мор}$ , МПа, визначаємо за формулою:

$$[\sigma]_{мор} = 2,5[\sigma]_{ор}, \quad (5.31)$$

де  $[\sigma]_{ор}$  – допустиме напруження для матеріалу опорного ролика при розрахунковій температурі, МПа.

$$[\sigma]_{мор} = 2,5 \cdot 86 = 215 \text{ МПа.}$$

Отже умова контактної міцності матеріалу опорного ролика

$$\sigma_{екв} = 127,56 \leq [\sigma]_{мб} = 215 \text{ МПа}$$

виконується.

#### 5.4.2 Розрахунок бандажа на міцність при згині

Кут між башмаками визначаємо за формулою:

$$\theta = 2\pi / n_1, \quad (5.32)$$

де  $n_1$  – кількість башмаків під бандажем,  $n_1 = 12$  (вибирають за [6, ст.59, табл.1]).

$$\Theta = 2 \cdot 3,14 / 16 = 0,939 \text{ рад.}$$

Визначаємо кут, що доповнює кут  $\psi$  до  $180^\circ$ , визначаємо за формулою:

$$\beta = 2 \cdot \pi \cdot (180 - \psi), \quad (5.33)$$

$$\beta = 2 \cdot 3,14 \cdot (180 - 30) / 360 = 2,62 \text{ рад.}$$

Максимальний згинальний момент, який діє в бандажі при відсутності стисненості температурних переміщень корпусу, визначаємо за формулою:

$$M_{\sigma 1} = - \frac{(G_1 + G_2) \cdot (D_{\sigma} + D_2)}{2\pi \cdot n_1} \times \left[ \frac{1}{2} \operatorname{ctg} \frac{\theta}{2} + \frac{n_1}{8 \cos \beta} - \frac{n_1}{8} \cdot (\pi - \beta) \cdot \operatorname{tg} \beta - \frac{\pi}{8} \cdot \operatorname{ctg} \theta \right] \quad (5.34)$$

$$M_{\sigma 1} = - \frac{(1,315 \cdot 10^5 + 0,603 \cdot 10^5) \cdot (2480 + 2200)}{2 \cdot 3,14 \cdot 16} \times \\ \times \left[ \frac{1}{2} \cdot \operatorname{ctg} \frac{0,39}{2} + \frac{16}{8 \cdot \cos 2,62} - \frac{16}{8} \cdot (3,14 - 2,62) \cdot \operatorname{tg} 2,62 - \frac{3,14}{8} \cdot \operatorname{ctg} 0,39 \right] = 1,44 \cdot 10^7 \text{ Н} \cdot \text{мм.}$$

Момент опору згину поперечного перерізу бандажа визначаємо за формулою:

$$W_{x\sigma} = b_{\sigma} \cdot (D_{\sigma} - D_2)^2 / 24, \quad (5.35)$$

$$W_{x\sigma} = 180 \cdot (2480 - 2200)^2 / 24 = 5,88 \cdot 10^5 \text{ мм}^3.$$

Напруження згину в бандажі визначаємо за формулою:

$$\sigma_{\delta} = M_{\delta 1} / W_{x\delta}, \quad (5.36)$$

$$\sigma_{\delta} = \frac{1,44 \cdot 10^5}{5,88 \cdot 10^5} = 24,49 \text{ МПа.}$$

Умова міцності бандажа при згині

$$\sigma_{\delta} = 24,49 \leq [\sigma]_{\delta} = 102,4 \text{ МПа}$$

виконується.

#### 5.4.3 Розрахунок бандажа на втомну міцність

Мінімальне значення межі міцності матеріалу бандажа складає  $R_m = 570 \text{ МПа}$  за [5, додаток А, табл. А.3].

Коефіцієнт, який враховує вплив шорсткості поверхні бандажа, визначаємо за формулою:

$$\sigma_{-1} = 0,43 R_m, \quad (5.37)$$

$$\sigma_{-1} = 0,43 \cdot 570 = 245 \text{ МПа.}$$

Для сталевих бандажів, що виготовляються із поковки, приймаємо  $\varepsilon_{\sigma\sigma} = 0,5$ .

Коефіцієнт, який враховує вплив шорсткості поверхні бандажа, визначаємо за [5, додаток Б, рисунок Б.1] Для бандажів, виготовлених зі сталі марки 40 ( $R_m = 570 \text{ МПа}$ ) методом тонкого точіння  $\beta_1 = 0,9$ .

Коефіцієнт, який враховує термічну обробку поверхні бандажа, визначаємо за [5, додаток Б, рисунок Б.1]  $\beta_2 = 1,3$ .

Коефіцієнт стану поверхні бандажа визначаємо за формулою:

$$\beta_{\sigma\sigma} = \beta_1 \cdot \beta_2, \quad (5.38)$$

$$\beta_{\sigma\sigma} = 0,9 \cdot 1,3 = 1,17$$

Для перевірки бандажа на втомність при відсутності обмеженості температурних переміщень корпусу визначаємо розрахунковий коефіцієнт запасу втомної міцності за формулою:

$$n_{\sigma\sigma} = \frac{2\sigma_{-1} \cdot \varepsilon_{\sigma\sigma} \cdot \beta_{\sigma\sigma}}{\sigma_{\sigma}}, \quad (5.39)$$

$$n_{\sigma\sigma} = \frac{2 \cdot 245 \cdot 0,5 \cdot 1,17}{24,42} = 11,7.$$

Умова витривалості

$$n_{\sigma\sigma} = 11,7 \geq n = 2,5,$$

де  $n$  – коефіцієнт запасу міцності за межею витривалості, виконується.

## 6 Технологія виготовлення апарату

### Виготовлення циліндричної обичайки.

Типовий процес виготовлення циліндричної обичайки виробляється в наступному порядку. Листи металопрокату потрібної товщини і марки, доставлені із складу, піддають розконсервації механічним і хімічним способами. При цьому дрібний шар мастила або інших відкладень видаляють шкребками, щітками, дрантям і обдувають насиченою парою або стислим повітрям. Для видалення глибоких подряпин застосовують струменеве очищення (гідропіскоструйна, дробом, абразивними порошками). Потім протирають дрантям за допомогою миючих розчинів і розчинників (тринатрійфосфат, їдкий натр, дихлоретан, бензин, гас). Розконсервація повинна забезпечити: збереження маркування заводу-постачальника, видалення мастила консервації, видалення місць значної корозії, перевірку нерівності листів і ухвалення рішення про необхідність правки.

Правка - це процес багатократного знакозмінного пластичного вигину в металі що піддається обробці при напрузі, що перевершує межу текучості. Вона виконується для усунення або зменшення кривизни. Правку виконують на листопрямильних роликових машинах. Лист вирівнюється залишковою деформацією, що утворюється багатократним знакозмінним вигином листа при його проходженні між роликами в прямому і зворотному напрямках. До повного виправлення лист пропускають через вальці від трьох до п'яти разів.

Розмітка заготівки включає побудову заготівки та викреслювання її на площині. Розмір заготівки визначається по серединній поверхні. Розкрій повинен здійснюватися з мінімальними відходами. Використовують два методи розкрою: камеральний і плазовий. Камеральний метод являє собою перенесення розмірів на матеріал по заздалегідь розроблених ескізах розгортки. Плазовий (шаблонний) метод виконується таким чином: розгортка виконується на спеціальному шаблоні (плазі) з листової сталі завтовшки від 1

до 1,25 мм. Методи розмітки заготовок із сталі аустенітного класу 12X18H10T не повинні призводити до руйнування робочої поверхні деталі.

Після розмітки виконується різання заготовки. Різання здійснюється механічним способом в холодному стані на гильятинних ножицях або на дискових ножицях, або термічним способом (теплове різання) за допомогою газополум'яного і кисневого пальника.

Наступною операцією по виготовленню обичайки є підготовка кромки під зварку. Їх готують для здобуття заданої геометричної форми і видалення дефектного шару із зміненою структурою і властивостями, що з'явилися при різанні заготовки. Способи підготовки кромки зварюваних деталей, повинні виключати механічні пошкодження кромки і виникнення зон термічного впливу, що віднімають регламентовані властивості з'єднань. Підготовку кромки під зварку можна виконувати абразивним кругом, фрезеруванням або обробкою на спеціальних кромкострогальних і кромкофрезерувальних верстатах. Якщо обичайка виготовляється з декількох листів, то після обробки кромки виробляється зварка. Ширина вставки при цьому має бути не менше 400 мм. Якщо процес вигинання обичайки не забезпечує заданий профіль по всій довжині кола і обичайка має прямі кромки в місці їх стиковки, то перед вальцюванням обичайки виконують підгинання кромки на спеціальних верстатах або гідравлічних пресах.

Процес по наданню заготовці циліндричної форми називається вальцюванням (круговим згинанням). Вигинання обичайки з аустенітних сталей здійснюється з нагрівом на три- або чотиривалкових машинах. У тривалкових машинах згинальним є середній валок, в чотиривалкових - бічні валки. Вигинання виробляється переміщенням вниз середнього валка або підйомом бічних за декілька проходів листа за рахунок пластичної деформації при напрузі, що перевищує межу текучості.

Звальцьовані обичайки на спеціальних роликоопорах доставляють на місце і встановлюють на спеціальних стендах, де виробляють підготовку під

зварку. При цьому подовжній зварюваний стик повинен знаходитися у верхньому положенні. Спочатку встановлюють на торцях обичайки кромки гвинтових або гідравлічних стягувань для вирівнювання торців, і закріплюють з двох сторін стяжні струбцини. Потім вирівнюють зазор під зварку, розмічають місця прихвату і очищають їх від корозії, масел, бруду і знежирюють. Далі прихоплюють стики електродуговою зваркою з наступним зачищенням. Перед зваркою кромки елементів під зварку зачищають металевою щіткою на ширину не менше 20 мм. Зварювання виконується електродуговою зваркою під шаром флюсу на постійному струмі зворотної полярності. Якість зварних швів перевіряється рентгенографічним методом.

Після зварки подовжного стику обичайку піддають правці на валкових машинах, розсувних оправках для здобуття точної циліндричної форми. Далі обичайку обробляють на токарно-карусельних верстатах для підрізування торців в розмір по довжині обичайки і перпендикулярно їй утворюючим, а також для зняття кромок під зварку. Після цього виконується розмітка і врізання отворів під штуцери. Різання виробляється киснево-флюсовою зваркою або плазмовою. Для отримання отворів діаметром до 80 мм можна застосовувати свердління.

На останній стадії виробляються слюсарні операції: зачистка поверхні, видалення дефектів і підготовка поверхонь під зварку.

Правилами Держнаглядохоронпраці України і ГСТУ 3-17-191-2000 визначені наступні вимоги до виготовлення циліндричних обичайок і корпусів з них:

- 1) При зварці обичайок між собою, приварці труб і днищ до обичайок повинні застосовуватися стикові шви з повним проплавленням;
- 2) Обичайки діаметром менше 1000 мм повинні виготовлятися не більше ніж з двома подовжніми швами, причому ширина вставки допускається не менше 400 мм - для посудин 1 - 4 групи і 200 мм - для посудин 5 групи;

3) Ширина листів між кільцевими швами має бути не менше 800 мм, ширина замикаючої вставки — не менше 400 мм, за винятком випадків, коли до обичайки приварюється кінцевий елемент - в цьому випадку довжина вставки вказується на кресленні;

4) Допускається виготовлення обичайок способом вальцювання карт, зварених в плоскому положенні з декількох листів;

5) Подовжні шви суміжних обичайок для апаратів 1 - 4 групи повинні бути зміщені відносно один одного на величину трикратної товщини тоншого елемента, але не менше, ніж на 100 мм між осями швів. Ця вимога відноситься і до зсуву швів на заготівках карт;

6) Зварні шви не повинні перекриватися опорами або іншими елементами. Відстань між краєм зварного шва і краєм шва приварювання елемента має бути не менше товщини стінки посудини, але не менше 20 мм;

7) У стикових з'єднаннях різної товщини має бути передбачений плавний перехід від одного елемента до іншого шляхом скошу товстого елемента. Допускається приварювання без скошу, якщо різниця в товщині не перевищує 30 % від тоншого елемента і не перевищує 5 мм;

8) Зсув кромки листів, виміряний по серединній поверхні не повинен перевищувати 10 % від товщини тоншого елемента і не повинен перевищувати 3 мм;

9) Отвори для люків, лючків і штуцерів для апаратів 1 - 4 групи повинні розташовуватися поза зварними швами (особливо подовжніх).

Футерування корпусу апарату здійснюється методом обичайок. З листової корозійностійкої сталі виготовляють обичайки необхідного діаметру. Ширина обичайок має бути такою, аби при зварці між собою шви не потрапляли на поперечні шви основної обичайки. Обичайку вставляють в корпус і розпрямляють по внутрішній поверхні основної обичайки. Проварюють подовжній шов, одночасно приварюючи обичайку до корпусу.

Виготовлення фланців.

Як заготовки для виготовлення фланців використовують поковки, штампування, зварні заготівки, отримані вигинанням смуги.

При виборі способу здобуття заготівки фланця необхідно враховувати матеріал і габаритні розміри фланця, розміри перетину ободу, коефіцієнт використання металу, трудомісткість виготовлення і інші чинники.

Технологічний процес виготовлення фланців включає наступні операції:

- 1)1 Виготовлення заготівки;
- 2) Токарна обробка на токарних або токарно-карусельних верстатах:
  - підрізування торців;
  - обробка зовнішнього діаметру;
  - обробка конічної втулки;
  - розточування внутрішнього діаметру;
  - обробка ущільнюючої поверхні.
- 3) Свердлувальні операції:

- просвердлення отворів на вертикально свердлувальних верстатах.

Арматурні фланці виготовляють з штампованих заготівок. Апаратні фланці отримують обробкою заготівок, зварених з окремих секторів. При цьому шов виконується з повним проваром по всьому перетину фланця і передбачається сто процентний контроль якості швів. В цьому випадку допускається розташовувати отвори на зварних швах.

Зварювальні роботи.

Методи збирання стиків з'єднань під зварку повинні забезпечувати правильне взаємне розташування елементів, що стикуються, і вільний доступ до виконання зварювальних робіт, передбачених технологічним процесом. При збірці допускається підгонка, методи якої повинні виключати появу

додаткової напруги в металі і пошкодження його поверхні. Зазор між кромками деталей що стикуються, що підлягають зварці, повинен відповідати вимогам креслень і стандартів, що діють, під зварку. Взаємне розташування елементів фіксується прихопленням. Точність стикових кінців обичайок, що стикуються з іншими обичайками, днищами має бути забезпечена в межах допусків на зсув кромок в кільцевих швах. Зварка обичайок з днищами і фланцями виробляється на спеціальних установках або стендах за допомогою зварних автоматів. Якість зварних з'єднань контролюється в суворій відповідності з вимогами правил Держнаглядохоронпраці і технологічних процесів.

## 7 Ремонт сушарки

### 7.1 Ремонт сушильного барабану

#### 7.1.1 Загальні положення

Згідно системі планово – попереджувального ремонту сушильний барабан має наступні види ремонту:

- а) поточний ремонт (П)
- б) капітальний ремонт (К)

Всі вказані види ремонту виконуються через наступні проміжки часу:

Три- валість ре- монтного циклу в роках	Нормативи часу безперервної роботи між ремонтами в годинах		Кількість ремонтів в ремонтному циклі	
	Для поточного ремонту	Для капітального ремонту	Для поточного ремонту	Для капітального ремонту
3	720/12	25920/360	36	1

При проведенні ремонту сушильного барабана обов'язково проводять наступні роботи:

- а) перед ремонтом сушильного барабана необхідно скласти дефектну відомість;
- б) підготувати таль та стропа для демонтажу бандажів і опорних роликів;
- в) слюсарний інструмент, запасні деталі і вузли, заміна яких передбачається при ремонті, сальники, болти, футерувальний матеріал для сушильного барабана;

### 7.1.2 Підготовка сушильного барабану до ремонту

Сушильний барабан перед початком ремонту має бути зупинений і відключений з діючої схеми.

Підготовку сушильного барабана до ремонту виконує експлуатаційний персонал під керівництвом начальника зміни, згідно інструкції, що існує в цеху.

Здача сушильного барабана в ремонт здійснюється начальником зміни за актом згідно інструкції « Про порядок здачі і прийому устаткування в ремонт та з ремонту».

Ремонт сушильного барабана проводиться в повній відповідності з даними ТУ. Результати контрольних оглядів (вимірів) при ремонті і перелік ремонтів, що проводяться, заносяться в ремонтну книгу сушильного барабана.

Прийом сушильного барабана в експлуатацію здійснюється відповідно до інструкції ОГМ і робочою інструкцією апаратника просушування за умови відсутності дефектів сушильного барабана.

Акт здачі з ремонту підписується майстром по ремонту, начальником зміни, механіком цеху, затверджується начальником цеху, а при капітальному (К) ремонті сушильний барабан приймається з представником відділу старшого механіка виробництва.

### 7.1.3 Поточний ремонт

Поточним ремонтом називається сукупність робіт, при яких виконується ревізія, ремонт або заміна лише окремих вузлів і деталей, що швидко зношуються. До них відносяться клапани замочної і регулюючої арматури, зварні і фланцеві з'єднання, кріпильні прокладки і сальникові ущільнення.

При поточному ремонті виконуються наступні основні роботи:

1. усунення невеликих дефектів на сушильному барабані, записаних в журналі змінного персоналу, а також виявлених механіком, майстром по ремонту перед зупинкою в ремонт.

2. перевірка стану кріпильних деталей, зварних з'єднань сальникових ущільнень, кріплення опор.

3. огляд упірних і опорних роликів, їх регулювання.

4. ревізія приводу шнека і барабана.

5. перевірка дренажу при зливі заохолодженої води зі шнека, ревізія вентилів і фланцевих з'єднань.

6. чищення газоходів.

7. огляд і ремонт обгороджувальних барабана.

#### 7.1.4 Капітальний ремонт

Капітальним ремонтом називається сукупність робіт при яких сушильний барабан доводиться до його первинного стану і продуктивності.

Часто кап. ремонт називають відновним ремонтом. При кап. ремонті виробляється повне розбирання вузлів барабана, розбирання голівок барабана, розбирання і ревізія редукторів на приводі барабана і шнека, з подальшим ремонтом і збіркою.

У об'єм кап. ремонту входять роботи:

1. всі роботи поточного ремонту.

2. зовнішній і внутрішній огляд барабана.

3. перевірка і ремонт фундаментів, фундаментних опор і болтів.

4. ревізія і ремонт, гідравлічне випробування всіх трубопроводів і арматури.

5. ремонт футерування і антикорозійних покриттів

6. фарбування апаратів і трубопроводів.

#### 7.1.5 Ремонт барабану

Перш ніж приступити до ремонту барабана, необхідно підготувати робочі місця для ремонту, а саме:

1. встановити заглушки за схемою, затвердженою техноруком цеху;
2. взяти аналіз на вміст горючих речовин усередині барабана. Вміст горючих речовин має бути не більш за ГДК за санітарними нормами
3. зняти напругу на складках і щиті з ел. двигунів приводу барабана і шнека.
4. встановити таль для демонтажу шнека і приводу з завантажувальної голівки барабана.
5. підготувати необхідний інструмент для ремонту, матеріали, запасні частини, арматуру (стелажі, ящики, козли для укладання деталей і вузлів ремонтowanego агрегату, бакелітовий лак, графітове мастило, солідол, асбопропитаний сальник, масло машинне, пароніт, прешпан, гас для промивання деталей, слюсарно-монтажний та вимірювальний інструмент, знімачі, центрувальні пристосування, рейка, струна, рівень, щупи, домкрат, таль ручна, стропи, шпали, запасні деталі і вузли, заміна яких передбачається при ремонті – опорні і упірні ролики в зборі, скоби для регулювання бандажів, підшипники, пальці напівмуфт, калорифери, запірна арматура, болти, гайки, шпильки, сальники гумові, сітка на фільтр повітря, паропровідні шланги, електроди).
6. до основних несправностей барабана і топки відносяться:
  - а) порушення цілісності сталевого корпусу барабана унаслідок корозії, як основного металу, так і зварних швів.
  - б) нерівномірне вироблення циліндричної поверхні бандажів, наявність пошкоджень (вм'ятини, тріщини і ін.)
  - в) руйнування шару футерування

Зробити ретельний зовнішній і внутрішній огляд корпусу барабана для виявлення дефектів, що утворилися в процесі експлуатації.

При суцільній корозії корпусу барабану, завглибшки більше 50% товщини стінки – вибраковується.

Латку накладати так, щоб вона перекривала в будь-якому напрямі зношену ділянку. При огляді корпусу особливу увагу треба звернути на стан зварних швів. Зварка швів корпусу має бути вироблена методами, що забезпечують якість зварних з'єднань.

Невеликі роз'єднання і тріщини в зварних швах заварити за допомогою ел. зварки, заздалегідь вирубавши зубилом або шліфувальною машинкою на пошкодженій ділянці V-образну фаску. Контроль якості зварних з'єднань, що виконуються на місці ремонту, здійснюється зовнішнім оглядом.

Виконати ревізію футерування барабану і вирішити питання про повну або часткову його заміну. Кладку футерування виконувати в строгій відповідності з ТУ і кресленнями. Роботи виконують фахівці з кладки. Всі матеріали, вживані для футерування, повинні відповідати специфікації креслення, бути якісними і сухими. Цегла не повинна мати відбитих кутів, поверхня зіткнення має бути рівною, замки цілі.

З початку робиться підготовка всього ряду без укладання цегли на розчин, перевіряються шви між цеглою, яка має бути в межах:

для топки – шви вогнетривкої кладки мають бути рівні:

для череня – 4мм

для зведення – 1,5мм

для передньої і бічних стінів – 2мм

У вогнетривку масу температурних швів необхідно додати 25 – 30% об'єму азбесту, а в шви череня до 25 – 30% деревної тирси. Кладка цегли має бути виконана високоякісно. Особливу увагу звернути на повне 100%-не заповнення розчином всіх швів кладки.

Вогнетривкий розчин для заповнення температурних швів повинен мати наступний склад:

- а) шамотний порошок – 3 частини
- б) деревна тирса – 2 частини
- в) азбестове волокно – 1 частина
- г) глина вогнетривка – 2 частини

Отвори для штуцерів термопар у футеруванні виконати по відповідним штуцерам в корпусі.

Після закінчення футерування виконати сушку. Сушка здійснюється переносним газовим пальником, що встановлюється в голівці барабана. Температура сушки 100 - 200°C. Час сушки не менше трьох діб.

#### 7.1.6 Ремонт бандажів і роликів

Бандажі під час кап. ремонту замінюються на нові, а залежно від вироблення піддаються проточці торцевої і зовнішньої поверхонь. Опорні ролики замінюються на нові в зборі. Ролики, що були в експлуатації, піддаються проточці зовнішньої поверхні, і здійснюється заміна підшипників.

Кріплення і центрування бандажів на корпусі барабана виконується по місцю за допомогою болтових з'єднань. Центрування бандажів здійснюється в радіальному і осьовому напрямі за допомогою «голки» встановленої непорушно на фундаменті. Граничні відхилення допускаються:

- а) у осьовому напрямі – 10 мм
- б) у радіальному – от 2 до 5 мм

#### 7.1.7 Ремонт редуктора

Під час ревізії і ремонту редуктора необхідно перевірити:

1. стан робочих поверхонь зубів циліндричних пар на всіх ступенях редуктора.
2. стан підшипників в редукторі.
3. стан шийок валу.
4. паралельність осей і шестерень в горизонтальній площині.
5. положення валу редуктора по рівню.

Перевірку стану робочих поверхонь зубів шестерень редуктора здійснювати шляхом їх огляду. На робочих поверхнях зубів не повинно бути викривлень, тріщин і слідів ненормального зносу прироблених поверхонь.

Контакт зачеплення при перевірці по фарбі, повинен складати по довжині зуба 60 – 65% і 50% - по висоті з симетричним розташуванням фарби.

Паралельність осі шестерень перевіряти шляхом зняття і виміру свинцевих відтисків по зазорах в зачепленні на протилежних кінцях шестерень.

Заміряні величини радіальних зазорів у зачепленні з обох боків шестерень мають бути однаковими. 0,1 мм або відрізнятися один від одного не більше ніж на – 0,02 мм.

Положення валу в редукторах (перекіс) перевіряти рівнем з ціною тиску не більш 0,1мм на 1м довжини.

Величина і напрям ухилів мають бути практично однаковими і свідчення рівня по всіх шийках валів не повинні відрізнятися один від одного більш ніж на 1 – 2 ділення.

## 7.2 Монтаж сушильного барабану

Загальні положення.

Монтаж апаратів з барабанами, що обертаються, дозволяється після закінчення організаційно-технічної підготовки, що включає:

- отримання монтажною організацією від замовника або генпідрядника проектно-технічної документації;

- складання монтажною або спеціалізованою організацією проекту виробництва монтажних робіт;
- організацію (відповідно до проекту виробництва робіт) складів, майданчиків і комплектації місць зберігання;
- спорудженні постійних або тимчасових під'їзних шляхів пристроєм підходів і під'їздів достатньої ширини, що забезпечують нормальну подачу устаткування матеріалів і конструкцій в монтажну зону;
- забезпечення необхідної будівельної готовності об'єкту;
- оснащення монтажною організацією підйомно-транспортним устаткуванням, механізмами необхідної вантажопідйомності, інструментами і пристосуваннями;
- виконання заходів щодо техніки безпеки і охорони праці.

Для проведення монтажних робіт, замовник зобов'язаний надати монтажній організації на час проведення робіт проектну і технічну документацію заводу виробника:

- паспорт апарату;
- акт технічного контролю;
- креслення загальних видів і вузлів;
- інструкцію по монтажу і обслуговуванню;
- документацію на комплектуючі вироби.

Робочі креслення і кошториси на монтаж устаткування видаються замовником монтажною організацією комплектно за чергами будівництва, окремих об'єктів або установок в терміни, погоджені із замовником, в складі і об'ємі, необхідному для здійснення за ними монтажних робіт.

#### 7.2.1 Постачання, зберігання і приймання устаткування під монтаж

Устаткування поставляється відповідно до робочих креслень і технічних умов на виготовлення.

Корпус апарату поставляється на монтажний майданчик в зібраному вигляді зі встановленими бандажами, зубчастим вінцем, внутрішніми насадками і торцевими кільцями.

Упірно – опорні станції і приводи апаратів з барабанами, що обертаються, поставляються в зібраному вигляді змонтованими на плитах.

При зберіганні апарату повинен забезпечуватися його повний захист від поломок і атмосферних дій.

Розпаковування устаткування, вузлів і деталей здійснюється монтажною організацією. При розпаковуванні устаткування має бути перевірене наявність вузлів, деталей, запасних частин і спеціального інструменту, відповідно до документації заводу-виробника.

Приймання апаратів з барабанами, що обертаються, для монтажу здійснюється шляхом зовнішнього огляду без розбирання на вузли або деталі, при цьому перевіряється:

- комплектність устаткування за заводськими специфікаціями;
- відсутність пошкоджень або поломок, тріщин, раковин і інших видимих дефектів.

Приймання устаткування для монтажу оформляється актом.

### 7.2.2 Приймання фундаментів

Розміри фундаментів повинні відповідати кресленням проектної організації, розробленим на підставі робочого креслення загального вигляду виробу заводу-виробника, в якому дані габаритні розміри опорних частин, що встановлюються на фундамент, розташування і діаметр отворів, а також відстань від осі апарату до основи опорних поверхонь.

У приміщеннях на відкритих майданчиках, що здаються під монтаж апаратів з барабанами, що обертаються, мають бути закінчені всі будівельні роботи по спорудженню фундаментів і інших підстав під устаткування.

Приймання готових фундаментів і інших підстав під монтаж устаткування виконується в тому випадку, якщо фактичні основні і прив'язочні розміри і відмітки фундаментів, а також розташування анкерних колодязів, заставних деталей і отворів відповідають проектним або мають відхилення, що не перевищують:

- по подовжніх і поперечних осях фундаментів - 20 мм;
- по основних розмірах в плані - 30 мм;
- по висотних відмітках поверхні фундаменту, без врахування висоти підливки - мінус 30 мм;
- по розмірах відступів в плані - мінус 20 мм;
- по відмітках уступів у виїмках і колодязях - мінус 20 мм;
- по осях анкерних болтів в плані - 5 мм;
- по осях заставних анкерних пристроїв в плані - 10 мм;
- по відмітках верхніх торців фундаментних болтів - плюс 20мм;

Перевіряють висотні відмітки фундаментів за допомогою нівеліра і відлічують від відміток умовного або нульового рівня, що зв'язані з репером цеху.

Готовність фундаментів, підстав і опорних конструкцій під монтаж оформляється актом.

До приймально-здавального акту має бути прикладена виконавча схема з вказівкою:

- проектних і фактичних габаритних розмірів фундаменту;
- проектних і фактичних відміток поверхні фундаменту;
- проектного і фактичного розташування анкерних колодязів і заставних частин;
- прив'язки головних осей фундаментів;
- розташування і нумерації реперів, закладених в тілі фундаменту з вказівкою висотних відміток;

розташування металевих планок з нанесеними на них рисками, що фіксують осі фундаментів.

### 7.2.3 Загальні вимоги

Для контролю перевірити розміри фундаментів по опорних частинах апарату.

Отвори для фундаментних болтів тримати закритими во избежание засмічення.

Встановлювати вузли апарату після того, як бетон фундаментів досяг проектної міцності.

### 7.2.4 Монтаж основних деталей і вузлів

Основною умовою нормальної роботи змонтованих апаратів з барабанами, що обертаються, є максимально точна установка і вивірювання опорних станцій на фундаментах по ухилу, висоті і горизонтальному положенню.

Спочатку треба встановити опорну і опорно-упірну станції на фундамент так, щоб поперечні і подовжні риси на плитах збіглися з осьовими рисками планок, закладених у фундаменти.

Після установки опорно-упірних і опорних станцій на них встановлюється зібраний корпус. Контакт поверхонь бандажів, що сполучаються, і опорних роликів має бути в середній частині не менше  $2/3$  довжини утворюючих. Перевіряють контакт шляхом змащування тонким шаром фарби що змивається, робочих поверхонь опорних роликів; при обертанні барабана вручну стежать за відбитками на робочих поверхнях бандажів.

Відхилення змонтованого корпусу від проектного положення не повинні перевищувати наступних значень:

радіальне биття зубчастого вінця і бандажів при діаметрі барабану:

$$0,6 \text{ і } 0,8 \text{ м} - 1,5 \text{ мм},$$

1,0 і 1,2 м – 2,0 мм,

1,6 і 2,0 м – 2,5 мм,

2,2 м – 3 мм.

Овальність корпусу в місцях установки ущільнень – 0,4% від діаметру.

Після установки корпусу встановити привід, змонтований на загальній плиті, на фундамент так, щоб поперечні риски на плиті збіглися з осьовими рисками планок закладених у фундамент. Вивірити привід одночасно по ухилу, висоті і горизонтальному положенню.

Встановити сальникові ущільнення на корпусі, при цьому:

- забезпечити щільність між внутрішньою поверхнею обойми і зовнішньою поверхнею плаваючого кільця за допомогою азбестових шнурів;
- зазор між внутрішньою поверхнею обойми і зовнішньою поверхнею кільця має бути однаковим по всьому периметру з відхиленням, що допускається, до 2 мм;
- торцеві поверхні плаваючого кільця мають бути паралельні торцевим поверхням обойми;
- зовнішні поверхні плаваючого кільця і обойми мають бути поєднані;
- кільце з куточка укріпити на корпусі після приєднання ущільнення до суміжного вузла.

Встановити ущільнення манжета на корпусі при цьому:

- має бути рівномірне прилягання гумової манжети до ущільнюючої поверхні корпусу;
- забезпечити щільне прилягання манжети до фланця затиском болтів.

Виконати регулювання і центрівку ущільнення зсувом вузлів що сполучаються і непорушно закріплюваних вузлів.

При регулюванні сальникових ущільнень забезпечити паралельне розташування всіх кілець.

Після монтажу основних вузлів і деталей апарат обкатується без футерування, з метою перевірки правильності роботи приводу, упірно-опорних станцій, ущільнень венцово-зубчатої пари, а також прямолінійності корпусу і приєднання комунікацій. Обкатка на холостому ході здійснюється від приводу протягом 4 годин. Якщо при обкатці в холосту спостерігається посилений тиск на один з упірних роликів, то барабан необхідно зупинити і установкою опорних роликів з деяким перекосом по відношенню до бандажів виробити регулювання так, щоб бандаж при обертанні не навантажував би нижній або верхній упірний ролик.

Результати холостої обкатки оформляються по акту.

Після холостої обкатки апарат задається під футерування за актом.

Обкатка після футерування виробляється лише після повного закінчення монтажних робіт. При виявленні дефектів обкатку слід припинити. Після усунення дефектів обкатку треба виконати знову. Результати повторної обкатки також оформити за актом.

Обкатка після футерування триває протягом 48 годин. Зупинка барабану здійснюється лише після повного припинення подачі матеріалу і теплоносія. Зупинка барабану в гарячому стані не допускається.

Після закінчення обкатки, виявлення і усунення дефектів необхідно скласти акт про здачу устаткування в експлуатацію.

## 8. Охорона праці

### 8.1 Засоби попередження шкідливих і небезпечних чинників при експлуатації і ремонті технологічного устаткування

#### 8.1.1 Вимоги, що забезпечують безпеку

В цілях забезпечення безпеки технологічного процесу у виробництві калієвої і натрієвої селітри передбачено:

1. Пропарювання трубопроводів, по яких транспортується розчин калієвої і натрієвої селітри.
2. Змащування частин механізмів, що труться.
3. Постійний контроль за роботою припливно-витяжної вентиляції.
4. частини машин і механізмів, що все обертаються і рухомі, мають бути захищені;
5. забороняється користуватися несправним інструментом;
6. апарати і трубопроводи, температура поверхні яких вище 45 °С, щоб уникнути опіків, мають бути термоізовані;
7. дозволяється палити лише в строго відведених місцях;
8. всі приміщення цеху мають бути оснащені засобами пожежогасіння;
9. необхідно користуватися колективними і індивідуальними засобами захисту.

#### 8.1.2 Допуск на проведення робіт

Важливим принципом забезпечення безпеки проведення виробничих робіт є система допусків (дозволів, нарядів) на проведення особливо небезпечних робіт. Ремонтний персонал не допускається до таких робіт без спеціального документа-допуску. У допуску, окрім інформації про склад бригади, час, місця і відповідального за проведення робіт особи, визначаються

обов'язкові заходи безпеки при проведенні робіт, а також фіксується факт перевірки виконання цих заходів на справі, що підтверджується підписом осіб, що проводили перевірку. Крім того, допуск узгоджується з іншими зацікавленими підрозділами підприємства (пожежною охороною, газорятівною службою та ін.) і зазвичай затверджується головним інженером підприємства.

Проведенню ремонтних робіт зазвичай передуює складання плану організації робіт (ПОР), який передбачає всі заходи щодо техніки безпеки і охорони праці при проведенні ремонту. Всі учасники ремонту мають бути ознайомлені з тією частиною ПОР, яка до них відноситься. ПОР повинен виключати одночасне проведення несумісних ремонтних операцій. Перед початком робіт всі учасники повинні отримати інструктаж по техніці безпеки.

#### 8.1.3 Ремонтно-монтажні роботи

Сушарка що ремонтується задається в ремонт згідно типової інструкції СПО-56, що діє на підприємстві, «Про порядок здачі і прийому устаткування в ремонт і з ремонту».

Устаткування і комунікації повинні бути:

- Зупинені відповідно до вимог технологічного регламенту;
- Звільнені від продуктів, що залишилися в них;
- Продуті азотом, повітрям;
- Очищенні від забруднень;
- Відключені від діючого обладнання та комунікацій за допомогою заглушок (забезпечені, пофарбованим у червоний колір хвостовиком і промарковані згідно дефектної відомості);
- Здано в ремонт відповідно до вимог «Інструкції про порядок здачі та приймання устаткування в ремонт і з ремонту», або по аварійному акту.

#### 8.1.4 Організація робочого місця

При виконанні ремонтних робіт підрядник не повинен допускати загромодження проїздів до пожежних гідрантів, цехів, а також території навколо і всередині цехів різноманітним устаткуванням, матеріалами та будівельними відходами. Щодня після закінчення робіт безпосередній керівник зобов'язаний забезпечити прибирання робочих місць. У місцях, що представляють небезпеку при проведенні ремонтних робіт, підрядником повинен бути вивішений попереджувальний плакат, а пройоми для передачі устаткування і матеріалів в ремонтну зону всередині цеху огорожені.

Силами підрядника захищаються котловани і ями, вириті при проведенні робіт всередині цеху, а в місцях переходу людей через вириті в цехах і на території підприємства траншеї встановлюються містки з поручнями.

На огороженнях встановлюються попереджувальні написи і знаки, а в нічний час - спеціальне освітлення.

#### 8.1.5 Порядок підготовки устаткування до проведення ремонтних робіт

Устаткування і комунікації мають бути:

- зупинені згідно вимогам технологічного регламенту;
- звільнені від продуктів, що залишилися в них;
- продуті азотом, повітрям;
- очищені від забруднень;
- відключені від устаткування, що діє, і комунікацій за допомогою заглушок (забезпечені, забарвленим в червоний колір хвостовиком і промаркіровані згідно дефектної відомості);
- здані в ремонт відповідно до вимог «Інструкції про порядок здачі і прийому устаткування в ремонт і з ремонту», або по аварійному акту.

Розтин апарату робити лише у присутності начальника зміни або відповідального за проведення робіт.

### 8.1.6 Проведення робіт на висоті

До таких робіт відносяться роботи, що виконуються на висоті більше 1,5 м від поверхні ґрунту, перекриття або робітника настилу. Перед початком робіт всі робітники отримують обов'язковий інструктаж по техніці безпеки.

Основні правила роботи на висоті:

Всі роботи повинні проводитися відповідно до вимог «Інструкції по організації безпечного ведення робіт на висоті».

До роботи на висоті відносяться:

- роботи з приставними сходами, драбинами;
- роботи на підмостках і лісах, що мають обгороджування;
- роботи з не захищених поверхонь при обов'язковому вживанні запобіжних поясів.

Ліси, підмості і інші пристосування повинні мати паспорти і бути інвентарними.

Навантаження на настили не повинні перевищувати допустиму норму; скупчення людей на настилах не допустимо.

Нижні кінці сходів і драбин повинні мати упори, а верхні - гачки.

Загальна висота приставних сходів не повинна перевищувати 5 м.

### 8.1.7 Заходи щодо забезпечення безпеки зварювальних і інших вогневих робіт

Вогневі роботи - виробничі операції, пов'язані з вживанням відкритого вогню, вогнеутворенням і нагріванням до температур, здатних викликати займання речовин.

При проведенні вогневих робіт на ремонтваному апараті або в цеху, необхідно дотримуватися вимог інструкції «По безпечному проведенню вогневих робіт на території підприємства». Для цього необхідно оформити дозвіл на проведення вогневих робіт в двох екземплярах. У дозволі вказуються відповідальні за підготовку устаткування до вогневих робіт і об'єм підготовчих

заходів, виконавець вогневих робіт і відповідальний за проведення вогневих робіт. Дозвіл на проведення вогневих робіт підписується механіком, заст. начальника цеху, начальником цеху, представником пожежної охорони і представником цехової лабораторії, при здобутті позитивних результатів аналізу повітря на відсутність шкідливих і вибухо-пожежонебезпечних речовин. Затверджується дозвіл начальником виробництва.

При проведенні вогневих робіт необхідно суворо дотримуватися вимог інструкції «По безпечному проведенню вогневих робіт».

При проведенні зварювальних і інших вогневих робіт (бензорізальних, паяльних і тому подібне) забороняється:

- а) приступати до роботи на несправній апаратурі;
- б) виконувати зварку, різання або паяння свіжопофарбованих поверхонь конструкцій і виробів до повного висихання фарби;
- в) користуватися при вогневих роботах одягом і рукавицями із слідами масел і жирів, бензину, гасу і інших горючих рідин;
- г) зберігати в зварювальних кабінах одяг, горючу рідину і інші легкозаймисті матеріали;
- д) допускати до роботи учнів і робітників, що не здали випробувань по зварювальних і газополум'яних роботах і без попередньої перевірки їх знань правил пожежної безпеки;
- е) допускати зіткнення електричних дротів з балонами із стислими, зрідженими або розчиненими газами (дроти повинні розташовуватися на відстані не менше 1 м від балонів з горючими газами);
- ж) виконувати зварку, різання, паяння або нагрів відкритим вогнем апаратів і комунікацій, заповнених горючими і токсичними речовинами, а також негорючими рідинами, що знаходяться під тиском, газів, пари і повітря або під електричною напругою.

Забороняється також:

- а) відігрівати замерзлі деталі зварювального устаткування відкритим вогнем, а також користуватися інструментом, що може утворити іскри при ударі;
- б) допускати зіткнення кисневих балонів, редукторів і іншого зварювального устаткування з різними маслами, а також промасленим одягом і дрантям;
- в) палити і користуватися відкритим вогнем на відстані менше 10 м від балонів з газами;
- г) здійснювати продування шланга для горючих газів киснем і кисневі шланги горючими газами, а також взаємозамінювати шланги при роботі, користуватися шлангами, довжина яких більше 30 м;
- д) перекручувати, заламувати або затискати шланги, що підводять газ;
- е) виконувати зварку в підвальних і цокольних поверхах;
- ж) встановлювати балони з газом на дорогах евакуації.

Після закінчення вогневих робіт відповідальні особи повинні переконатися у виконанні всіх заходів щодо прибирання робочого місця. Закрити дозвіл, один екземпляр якого зберігатися в справах механіка цеху, а інший у представника пожежної охорони.

#### 8.1.8 Проведення випробувань технологічного устаткування

Кожен ремонтований апарат перед здачею його в експлуатацію має бути випробуваний під безпосереднім спостереженням керівника ремонту. Об'єм і оформлення документації за результатами випробувань проводиться у суворій відповідності з вимогами тих, що діють технічних умов або інструкцій. Окрім цього, в процесі ведення ремонту мають бути проведені проміжні випробування окремих вузлів і механізмів.

Якщо проведення випробувань на ремонтovanому устаткуванні по своєму характеру вимагає участі в їх проведенні експлуатаційного персоналу (пуск механізмів для холостої обкатки, заповнення водою при гідравлічному

випробуванні, випробування на герметичність, заповнення азотом і інше), їх проведення повинне оформлюватися відповідно до правил:

1. про необхідність проведення випробувань механік цеху зобов'язаний повідомити начальника зміни з відповідним записом в змінному журналі начальника зміни, вказавши характер операції і час її проведення; одночасно з цим начальникові зміни робиться відповідна усна інформація;
2. при проведенні гідравлічних випробувань необхідно суворо дотримуватися «Правил безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском». Тиск випробувань визначається за формулою:

$$P_{исп} = P_{раб} \cdot 1,25 \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_t},$$

Де  $P_{раб}$  - робочий тиск;

$[\sigma]_{20}$  - допустиме напруження матеріалу корпусу при температурі 20 °С;

$[\sigma]_t$  - допустиме напруження матеріалу корпусу при робочій температурі.

3. при проведенні пневматичних випробувань необхідно дотримувати вимоги інструкції СПО-61 «Про порядок проведення пневматичних випробувань»;
4. при проведенні випробувань механік цеху є відповідальною особою за технічну готовність випробовуваного устаткування до проведення на ній потрібної ним операції, за видалення людей з небезпечних ділянок, за обгороджування небезпечних місць, за забезпечення безпечних умов ведення випробування, окрім технологічних операцій, пов'язаних з неодруженою обкаткою устаткування;
5. начальник зміни є відповідальною особою за дотриманням технологічних параметрів при обкатці устаткування і випробуваннях;

6. після закінчення проведення випробувань начальник зміни зобов'язаний зробити запис про це в змінному журналі начальників змін, вказавши час закінчення і результати випробування. Одночасно з цим начальник зміни робить усну інформацію відповідальному керівникові ремонту.

Відповідальний керівник ремонту, ґрунтуючись на результатах випробування, приймає заходи до усунення дефектів, виявлених на устаткуванні в процесі випробувань, якщо вони мали місце.

Устаткування з ремонту повинне задаватися по акту (форма № 4а-м). Акт приймання устаткування з ремонту підписується лише при здобутті позитивних результатів.

## Висновки

На підставі аналітичного огляду вибрано найбільш ефективне виробництво калієвої селітри. Розроблена барабанна сушарка для сушки калієвої селітри. Конструкція і розрахунки апарату виконані відповідно до вимог ОСТ 26-01-147-89 «Аппараты сушильные с вращающимися барабанами. Общие технические условия».

Були виконані: креслення загального вигляду сушарки, креслення загального вигляду основних складальних одиниць, технологічна схема.

У роботі були проведені розрахунки на міцність, жорсткість і стійкість проектного апарату. Також виконаний технологічний і тепловий розрахунок сушарки. Дані розрахунки підтверджують надійність і безпеку впроваджуваного устаткування.

Всі розрахунки і креслення виконані відповідно до вимог діючої нормативно-технічної документації.

### Список літератури

1. И.И. Чернобыльский, Ю.М. Тананайко «Сушильные установки химической промышленности», издательство “Техніка”, Киев – 1969. - 279 с.
2. Справочник азотчика, издание 2-е, переработанное, Москва “Химия” 1987. – 463 с.
3. Методичні вказівки до розрахунку циліндричних обичайок і випуклих днищ сталевих зварних посудин і апаратів для студентів спеціальності 7.090220/ І.М Генкіна, В.В.Іванченко, В.Г. Табунщиков, Ю.Н. Штонда. Сєверодонецьк, СТІ, 1998. – 53 с.
4. Сушильные аппараты и установки: Каталог. – М.: ЦИНТИхимнефтемаш. 1988. – 72 с.
5. Методичні вказівки до розрахунку на міцність, жорсткість та стійкість елементів барабанних сушарок. /Уклад. В.В. Іванченко, І.М. Генкіна, В.Г. Табунщиков, Г.В. Тараненко, Ю.М. Штонда. – Сєверодонецьк, 2009. – 48 с.
6. «Аппараты с вращающимися барабанами общего назначения»., Основные сборочные единицы и детали. Типы и основные размеры, ОСТ 26-01-107-85, ОСТ 26-01-436-85 – ОСТ 26-01-443-85, ОСТ 26-01-445-85 – ОСТ 26-01-447-85.
7. ГОСТ 2789-73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 10 с.
8. ГОСТ 25347-82. ЕСДП. Поля допусков и рекомендуемые посадки. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 52 с.
9. Методичні вказівки до виконання розділу цивільна оборона в дипломних проектах для студентів всіх спеціальностей денної і заочної форм навчання.
10. РД 26-01-158-86. Аппараты сушильные с вращающимися барабанами газовые. Нормы и методы расчета на прочность.

11. Методичні вказівки до виконання розділу з охорони праці в дипломних проектах (роботах) для студентів V—VI курсів хімічного і механічного факультетів денної і заочної форм навчання / сост. В.Т. Мякухіна, Г.В.Попенко, В.П. Єрешко, О.П. Шарун.: СТІ, 2003. - 26 с.
12. Методичні вказівки до оформлення курсових і дипломних проектів для студентів спеціальності 7.090220/ уклад. В.В. Іванченко, З.Д. Белих, А.А. Дорогін, Л.Г. Холіна, В.Г. Табунщиков, Ю.Н. Штонда. Сєвєродонецьк, СТІ, 2000. – 35 с.