

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА  
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
Кафедра «Процеси та обладнання хімічних  
і нафтопереробних виробництв»

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

**Тема роботи : Багатокорпусна випарна установка для  
упарювання післяспиртової барди. Розробити  
кип'ятильник-випарник першого корпусу.**

**Виконав:**

**Студент групи ХМдн-74чк Мурущук Є.С.**  
прізвище та ініціали

**Залікова книжка №9**

**Захищений з оцінкою:**

**Керівник:**

**ст.викл Корнієнко В.Н.**

посада, прізвище та ініціали

---

підпис

**СУМИ  
2020**

**СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**Факультет технічних систем та енергоефективних технологій**  
**Кафедра «Процеси та обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв»**

**ЗАВДАННЯ до кваліфікаційної роботи бакалавра**

Студенту Мурущук Євгену Сергійовичу

1 Тема роботи : Багатокорпусна випарна установка для упарювання післяспиртової барди . Розробити кип'ятильник-випарник першого корпусу.

2 Вихідні дані: \_\_\_\_\_

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

- 1) \_\_\_\_\_  
2) \_\_\_\_\_  
3) \_\_\_\_\_  
4) \_\_\_\_\_

4 Рекомендована література

5 Етапи виконання кваліфікаційної роботи бакалавра:

Етапи і розділи проектування	Т И Ж Н І				
	1-й, 2-й	3-й, 4-й, 5-й, 6-й	7-й, 8-й, 9-й	10-й, 11-й, 12-й, 13-й	14-й
1 Вступ	XX				
2 Технологічна частина		XXXX			
3 Розрахункова частина			XXX		
4 Розроблення креслень				XXXX	
5 Оформлення записки					X
6 Захист роботи					X

Дата видачі завдання

\_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ р.

Керівник

ст.викл, Корнієнко В.М.

підпис

посада, прізвище та ініціали

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 68 ст., 62 рис., 2 табл., 2 додатка,  
11 використаних джерела.

Графічні матеріали: технологічна схема виробництва, складальні креслення апарата, складальні креслення вузлів, компоновка обладнання, схема автоматизації, лист економічних показників, всього 4 листи формату А1.

Тема проекту: "Багатокорпусна установка безперервної дії для упарювання післяспиртової барди. Розробити кип'ятильник-випарник першого корпусу.

Приведено обґрунтування вибору технологічної схеми випарювання післяспиртової барди, теоретичні основи процесу випарювання виконані технологічні розрахунки виробництва, конструктивні розрахунки розробленого апарата, виконані гідравлічні розрахунки апарату. Розрахунки на міцність підтверджують придатність до роботи і надійність випарного апарата.

В розділі "Охорона праці" даний перелік потенційних небезпек і шкідливостей, що виникають при експлуатації обладнання в випарному відділенні, запропоновані заходів по їх усуненню.

Ключові слова: АПАРАТ, УСТАНОВКА, БАРДА, КИП'ЯТИЛЬНИК, СЕПАРАТОР, РОЗРАХУНОК, ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА, ГРАТКА ТРУБНА.

## ЗМІСТ

Вступ.....	5
1. Технологічна частина	
1.1 Опис технологічної схеми виробництва.....	7
1.2 Теоретичні основи процесу.....	8
1.3 Опис об'єкту розроблення та вибір основних конструктивних матеріалів.....	11
2. Технологічні розрахунки процесу і апарата	
2.1. Матеріальний та тепловий баланси.....	14
2.2. Технологічні розрахунки.....	16
2.3. Конструктивні розрахунки апарата.....	17
2.4. Гідравлічний опір апарата.....	22
2.5 Вибір допоміжного обладнання.....	24
3. Розрахунки апарата на міцність та герметичність	
3.1. Визначення товщини стінки апарата і кришки.....	29
3.2. Розрахунок фланцевого з'єднання.....	39
3.3. Розрахунок опори апарата.....	46
4. Монтаж та ремонт апарата	
4.1 Монтаж розробленого апарата.....	49
4.2 Ремонт апарата.....	52
5. Охорона праці.....	56
Висновки.....	61
Список літератури.....	62
Додаток Б - Специфікації	

					<b>ПОХНВ.В.00.00.00 ПЗ</b>			
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата				
Розроб.		Мирцишук			Багатокорпусна випарна установка для випарювання після спиртової барди .Розробити кип'ятильник-випарник першого корпусу.	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Корнієнко					4	68
Н. контр.		Корнієнко				<b>СумДУ, гр. ХМдн-74чк</b>		
Затв.		Складінський						

## Вступ[1]

Промислове виробництво етилового спирту побудовано на принципах відхідної технології, що негативно впливає на стан навколишнього середовища.

У наш час одним із резервів зростання ефективності харчових виробництв є підвищення стабільності виробництва і, як наслідок, зменшення втрат сировини і готової продукції за умови забезпечення стабільної якості протягом усього технологічного циклу. Значно підвищити ефективність, рентабельність роботи конкретного виробництва на підприємстві можна не тільки завдяки технічному переоснащенню, а й унаслідок більш чіткої організації—як системи взаємозв'язку режимів функціонування обладнання і технології.

Мелясна барда вміщує пентози, білки, гліцерин, вітаміни та інші речовини і тому є цінним кормом для худоби в натуральному та упареному вигляді. Упарена барда також використовується у виробництві цементу, бетону, добрив, в гідролізній та інших галузях промисловості. Відходом виробництва є барда, сивушне масло передають на спеціальні заводи, головна фракція також передається на спеціалізовані заводи. Крім того побудований цех по випуску високооктанових добавок.

Для вирішення питання збереження навколишнього середовища, наявність випарного цеху дозволяє з після спиртової барди (відходу виробництва спирту, який на інших підприємствах викачується на поля фільтрації) отримувати упарений розчин, який використовується як корм для худоби та сировина для отримання кормових дріжджів та гліцерину, глютамінової кислоти бетаїна.

Після спиртову мелясну барду згущують на багатокорпусних випарних установках, що працюють як під розрідженням (останній корпус) так і під тиском. При упарюванні барди на спиртових заводах прийнята прямоочна схема живлення - розчин (барда) і гріюча пара подається спочатку в перший корпус, потім в другий і т.д.

Свіжий пар - ретурний або гострий пар, який пройшов редуціювання, подається, як правило, лише на перший корпус випарної установки, кожен із наступних корпусів живиться парою попереднього – вторинною парою. Теплопередача при цьому відбувається за рахунок зниження тиску, а відповідно і температури кипіння барди в кожному корпусі порівняно з попереднім.

					ПОХНВ. В.00.00.00.ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Однією з характерних властивостей мелясної барди є властивість швидко пінитись при кипінні, що обумовлює необхідність застосування випарних апаратів з виносною грючою камерою.

Упарюють барду на багатокорпусних випарних установках (2-х, 3-х та 4-х корпусних). На даний час на спиртзаводах найчастіше використовуються 4-х корпусні випарні установки, що працюють під розрідженням. Грюча пара подається тільки в 1-й корпус, а для підігріву барди в слідуючих корпусах використовується вторинна пара - це дає можливість економити грючу пару, паливо, воду; дозволяє використовувати вторинну пару для обігріву інших споживачів, а відповідно і зменшує витрати як на упарювання барди, так і в кінцевому результаті на собівартість основного продукту - спирту.

Отже ми бачимо, що використання 4-х корпусної випарної установки вигідно з економічної сторони для підприємства як зі сторони економії тепло- та енергоресурсів, так і в наслідок зменшення плати за забруднення навколишнього середовища, що дозволить зекономлені кошти направити на впровадження новітніх технологій та розвиток соціальної сфери.

					ПОХНВ. В.00.00.00.ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 Технологічна частина [1]

## 1.1 Опис технологічної схеми виробництва[1], [2]

Барда, концентрацією сухих речовин в ній 8 %, відводиться із бражної колони в збірник барди, звідки відцентровим насосом подається на три групи підігрівачів (поз.1) перед випаркою (поз 2).

Ступенево за допомогою вторинної пари з другого корпусу випарної установки (ВУ) барда нагрівається до температури 105°C , а за допомогою вторинної пари з першого корпусу барда нагрівається до температури 120 °C і переходить в підігрівачі третьої групи, де гріючою парою нагрівається до температури кипіння 131°C. Барда в підігрівачах подається в трубний простір, а пара - в міжтрубний, для полегшення їх очищення і ремонту.

Нагріта барда до температури кипіння упарюється у випарному апараті 1-го корпусу випарної станції (поз. 2) до концентрації сухих речовин 14,1% мас., далі переходить у 2-й корпус випарної станції (поз. 2) де упарюється до 20,5 % мас. с. р. , в 3-му корпусі (поз. 2) до 30,9 % мас. с. р. і в 4-му корпусі - до кінцевої концентрації сухих речовин 72 % мас. У випарних апаратах барда рухається по кип'ятильним трубам, та циркуляційним трубам, а в міжтрубний простір подається пара. В перший корпус випарної станції подається гріюча пара тиском 4 ат, в другий корпус вторинна пара першого корпусу. Утворена вторинна пара четвертого корпусу направляється на барометричний конденсатор (поз. 4), де за допомогою подачі холодної води повністю конденсується і тим самим створює розрідження в останньому корпусі випарки. Одержана в процесі конденсації вода має назву барометрична і накопичується у збірнику (поз. 5), звідки насосом (поз. 6) відкачується на використання.

Конденсат гріючої пари (з третьої групи підігрівачів) і першого корпусу випарки (поз. 1) спрямовується у збірник конденсату (поз. 7) , з'єднаний з паровим простором 2-го корпусу. Пара, що утворюється у випарнику, іде на обігрівання кип'ятильників 3-го корпусу.

Конденсат перекачується на живлення парових котлів у ТЕЦ.

Конденсат з 2-го корпусу випарної станції накопичується у відповідному збірнику (поз. 7), туди також поступає конденсат з 2-ї групи підігрівачів, пари, що утворюються в збірнику поступають на нагрівання кип'ятильників 3-го корпусу; конденсат з 3-го корпусу випарної станції накопичується у відповідному збірнику, туди також поступає конденсат з 1-ї групи підігрівачів пари, що утворюються в збірнику поступають на нагрівання кип'ятильників 4-го корпусу;

					ПОХНВ. В.00.00.00.ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

конденсат з 4-го корпусу випарної станції накопичується у відповідному збірнику, пари що утворюються в збірнику поступають на барометричний конденсатор. Із цих збірників конденсат відцентровими насосами відкачується в умовно чисті води.

## 1.2 Теоретичні основи процесу[3]

Останнім часом у світі все більше уваги приділяється збільшенню ресурсів харчового білка, удосконаленню техніки і технології переробки традиційних і нетрадиційних сировинних ресурсів у різних галузях харчової промисловості, розширенню асортименту повноцінних продуктів харчування. Одним із способів вирішення проблеми збільшення ресурсів білка є використання вторинних сировинних ресурсів.

Останнім часом в Україні використання вторинної сировини підприємств харчової промисловості набуває все більшої актуальності. Великі обсяги промислової переробки різноманітної сировини рослинного походження на харчові цілі становлять значний потенціал для агропромислового комплексу. Це стосується і після спиртової барди, яка являє собою сировину, що містить білки, жири, вуглеводи та незамінні амінокислоти.

Промислове виробництво етилового спирту побудовано на принципах відхідної технології, що негативно впливає на стан навколишнього середовища. У наш час одним із резервів зростання ефективності харчових виробництв є підвищення стабільності виробництва і, як наслідок, зменшення втрат сировини і готової продукції за умови забезпечення стабільної якості протягом усього технологічного циклу. В основу дослідження цього напрямку покладено теорію технологічного потоку, яка дозволяє створити стійкі, точно функціонуючі технологічні системи. Значно підвищити ефективність, рентабельність роботи конкретного виробництва на підприємстві можна не тільки завдяки технічному переоснащенню, а й унаслідок більш чіткої організації—як системи взаємозв'язку режимів функціонування обладнання і технології. Сьогодні у світі розповсюджені різноманітні лінії для виробництва із післяспиртової барди сушеної білкової добавки з вологістю 10%.

Однак головним недоліком цих ліній є складність і металоємність виробництва через використання сушарок переважно роторно-барабанних, що обумовлює високі експлуатаційні витрати. Отже, виникає необхідність в організації переробки після спиртової барди із застосуванням технологічної лінії

					ПОХНВ. В.00.00.00.ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



зі стійким потоком із меншими витратами. Отже, унаслідок утилізації після спиртової барди не тільки забруднюється доквілля, а й нераціонально використовуються харчові ресурси такого цінного продукту. Вирішення проблеми, яка є нагальною, – це консервування після спиртової барди для подальшого її використання в харчових продуктах. При цьому переваги сушеної після спиртової барди перед є такими: - можливість транспортування на великі відстані; - тривалий термін зберігання сушеної після спиртової барди; - використання в технології виробництва хліба; - використання як білкової добавки. Упарювання мелясної барди має деякі особливості, однією з них є спінювання барди, що обумовлює застосування випарних апаратів з виносною нагрівальною поверхнею.

При упарюванні барди верхня границя темпера гріючої пари повинна бути обмежена (140—142° С). Інакше сахари, що залишилися у барді, будуть карамелізуватись, а амінокислоти — розкладатись. Така барда непридатна для дальшого використання.

Особливості упарювання барди позначаються на тепловіддачі при її кипінні.

Тепловіддача при кипінні багатокomпонентних систем, якою є мелясна барда, являє собою складний процес, і до цього часу недостатньо вивчена.

Як відомо, при бульбашковому кипінні частина нагрівної поверхні стикається з бардою, якій віддається основна частина тепла. Це тепло потім витрачає на додаткове випаровування води всередину парових бульбашок, які відриваються від нагрівної поверхні і збільшують свій об'єм під час руху у товщі барди, оскільки барда стає дещо перегрітою відносно утвореної пари.

Ріст бульбашок на нагрівній поверхні, відокремлення їх від поверхні і дальший рух викликають перемішування; барди біля поверхні та в усьому об'ємі і тим самим збільшують інтенсивність тепловіддачі від поверхні до барди. Тому, чим більше бульбашок відокремлюється від поверхні і більше діючих центрів пароутворення на одиницю поверхні, тим вище коефіцієнт тепловіддачі до киплячої барди (за однакових умов).

Таким чином, інтенсивність тепловіддачі при кипінні барди визначається кількістю тепла, яке сприймається бардою, що в свою чергу визначається умовами пароутворення і пов'язаною з ними турбулізацією пограничного шару.

					ПОХНВ. В.00.00.00.ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Кількість тепла при кипінні, що сприймається бардою (за інших однакових умов), визначається питомим тепловим навантаженням  $q$ , або, що те ж саме, різницею температур між поверхнею, що віддає тепло, і киплячою бардою  $D/a$ . Зі збільшенням  $u$  збільшується частота відокремлення бульбашок пари і число центрів пароутворення і, як наслідок, коефіцієнт тепловіддачі. Зі збільшенням кількості центрів пароутворення зменшується площа стикання барди з поверхнею, що віддає тепло, але збільшується турбулізація пограничного шару барди, що сприятливо позначається на інтенсивності тепловіддачі.

Однак при значному зростанні теплового навантаження  $q$  відбувається злиття бульбашок пари у суцільну парову плівку, яка ізолює киплячу барду від нагрівної поверхні і тепловіддача різко зменшується.

Розглядаючи суть процесу кипіння, слід відзначити, що фізика процесу кипіння в основному залишається однаковою як при кипінні барди у великому об'ємі, так і у вертикальних трубах при природній циркуляції, однак визначальні фактори тепловіддачі при кипінні барди-у контурі з природною циркуляцією більш складні. При кипінні в трубах з'являються такі нові фактори, як вміст пари у потоці, швидкість циркуляції, геометричні розміри установки, які впливають на процес пароутворення.

Швидкість циркуляції барди в трубах при її кипінні впливає на тепловіддачу не тільки у зв'язку із збільшенням турбулізації потоку, а, й головним чином, у зв'язку з посиленням процесу пароутворення.

Дійсно, пароводяний потік повинен відривати бульбашки пари від поверхні дещо раніше, ніж вони досягнуть поверхні, які не омиваються потоком.

Зі збільшенням швидкості відривний діаметр бульб повинен знижуватись і, як наслідок, частота утворення бульбашок біля одного центру пароутворення — зростає.

Це призводить до зростання коефіцієнтів тепловіддачі, збільшення інтенсивності теплообміну.

З викладеного видно, що теплообмін при кипінні: собою складний процес, що залежить від таких основних факторів: фізичних властивостей киплячої барди, величини теплового потоку або, що те ж саме, температурного перепаду, швидкості циркуляції киплячої барди при кипінні в трубах, тиску над поверхнею випаровування, прі і стану нагрівної

					ПОХНВ. В.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

поверхні, паровмісту суміші.

Теплофізичні властивості киплячої барди є одним основних факторів, які впливають на тепловіддачу при пінні у великому об'ємі.

При зниженні уявного рівня киплячої барди нижче оптимального значення коефіцієнт тепловіддачі  $a_2$  знижується.

Це пояснюється погіршенням тепловіддачі у верхній частині кип'ятильної труби через відсутність змочування Барду упарюють на багатокорпусних випарних станціях з кількарізним використанням пари. Така випарна станція складається з кількох випарних апаратів або корпусів, через які послідовно проходить упарювана барда. Тільки I корпус багатокорпусної випарної станції обігрівается грючою парою. Вторинна пара кожного попереднього корпусу використовується для обігрівання наступного. Зниження температури кипіння у кожному наступному корпусі, необхідне для здійснення теплопередачі, відбувається за рахунок зниження тиску, при якому кипить барда.

Вторинну пару з останнього корпусу спрямовують у конденсатор, а газу, що не сконденсувались, викачують повітряним насосом, який створює розрідження до *630 мм рт. ст.*

Таким чином при кількарізному використанні пари у випарній установці заощаджується ретурна пара, що робить багатокорпусну випарну станцію набагато економічнію ніж однокорпусну.

Швидкість циркуляції барди в трубах при її кипінні впливає на тепловіддачу не тільки у зв'язку із збільшенням турбулізації потоку, а, й головним чином, у зв'язку з посиленням процесу пароутворення.

### 1.3 Опис об'єкта розроблення та вибір основних конструкційних матеріалів [3]

Кип'ятильник представляє собою циліндричний корпус, до якого закріплена кришка і днище за допомогою фланцевого з'єднання. В корпус кип'ятильника вмонтовані трубні градки, що приварені, а в останні ввальцовані трубки діаметром 52 2.5 мм, що утворюють парову камеру.

Парова камера обладнана патрубком для подачі грючої пари, патрубком для відведення конденсату пари та патрубком для виходу не сконденсованих газів.

Частина кип'ятильника вище верхньої трубної гратки утворює над трубний

					ПОХНВ. В.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

простір, який більший за під трубний із-за наявності в барді утворених вторинних парів. Сепаратор випарного апарата складається із циліндричного корпусу з приварними дном та випуклою кришкою.

В верхній частині сепаратора закріплений відбивний зонт, що призначений для відділення вторинної пари капель барди. Останні осідають на відбивнику, затримуються і стікають зверху - вниз по стінкам апарата. Для контролю рівня барди в апараті, а також контролю процесу упарювання барди, по висоті апарата передбачено встановлення оглядових стекол.

Апарат обладнується лазом для огляду і проведення ремонтних робіт. Сепаратор і кип'ятильник закріплені на міжповерховому проїзмі за допомогою опорних лап. Для гасіння піни в апараті передбачається патрубок, через який задається піногасник.

Барда надходить в трубний простір кип'ятильника через патрубок і за рахунок тиску нових порцій барди підіймається по кип'ятільним трубкам знизу-вгору. Останні обігриваються в трубках барда, разом з утвореною вторинною парою, входить через з'єднувальну комунікацію в сепаратор. За рахунок збільшення площі поперечного перерізу сепаратора, швидкість паро рідинної суміші зменшується, барда при цьому опускається вниз, пари ж підіймаються вгору, проходять відбивник і звільнившись від домішок та капель виводяться через патрубок, а відділені каплі барди повертаються в основну масу.

Дно сепаратора має два патрубки для виходу барди. По одному з них, барда повертається назад в кип'ятильник, де змішується зі свіжою і знову циркулює по кип'ятільним трубкам знизу - вгору, процес упарювання повторюється. Деяка ж кількість барди направляєється через інший патрубок в кип'ятильник наступного корпусу на слідуючу ступінь упарювання. Таким чином в апараті проходить багаторазова звичайна циркуляція барди, при якій вона упарюється до необхідної концентрації.

Апарат обладнується патрубками для встановлення контрольно-вимірювальних приладів (термометрів і манометра), аміачних витяжок, виходу залишки з сепаратора і кип'ятильника, регулювання рівня, а також передбачено встановлення запобіжного клапана. При конструюванні хімічної апаратури до конструкційних матеріалів пред'являються наступні вимоги:

- достатня загальна хімічна та корозійна стійкість матеріалів в агресивному середовищі з заданими концентрацією, температурою і тиском;

					ПОХНВ. В.00.00.00.ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- достатня механічна міцність при заданому тиску і температурі технологічного процесу;

- найкраща спроможність матеріалу зварюватися з забезпеченням високих механічних властивостей зварних сполучень та корозійної стійкості їх в агресивному середовищі;

- вплив матеріалу на смакові якості та його товарний вид (критерій специфічний для харчової промисловості);

- низька вартість матеріалу, не дефіцитність та освоєність його промисловістю.

Сталь 12Х18Т10Т задовольняє всі вимоги: стійкість до середовища (барда, її пари та конденсат що мають високу хімічну агресивність), механічна міцність та властивість зварюватися [6]. Сталь технологічна в обробці, добре деформується в гарячому та холодному станах. Сталь добре зварюється і не потребує обов'язкової термічної обробки виробу після зварювання.

Виходячи з вищевказаного, в якості конструкційного матеріалу для випарної установки вибираємо сталь 12Х18Н10Т ГОСТ 5632-72.

					ПОХНВ. В.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

## 2 Технологічні розрахунки процесу і апарата

### 2.1 Матеріальний та тепловий баланс процесу

Проводимо по [4]

Вихід барди приблизно в 11,4 разів більше отриманого продукту, тому згідно [4, с. 84] її кількість становитиме:

$$S = (P \cdot 10 \cdot p) / 24 \cdot 3600 = (5000 \cdot 10 \cdot 0,7624 \cdot 11,4) / 24 = 18105 \text{ кг/год.} \quad (2.1)$$

де  $P=5000$  дал/доб.-виробнича потужність заводу по спирту;

$p=0,76$  кг/л-густина спирту.

Початкова температура барди  $85^\circ\text{C}$ . В першому підігрівачі вона нагрівається до  $105^\circ\text{C}$ , в другому до  $120^\circ\text{C}$  і в третьому до температури, яка відповідає температурі кипіння барди в першому корпусі  $131^\circ\text{C}$ . Температура грючої пари  $143^\circ\text{C}$ ; розрідження в конденсаторі  $0,89 \cdot 10^5$  Па (670 мм рт. ст.).

Перш за все визначимо розподіл паро відбору по корпусам. Витрата пари на підігрівачі [4, ст. 83]:

$$d = \frac{S \cdot c \cdot (t_2 - t_1) \cdot x}{i - c_k \cdot t_k}, \quad (2.2)$$

де  $S$ -вага барди, кг;

$c$ -теплоємність барди (визнаємо по графіку [4];

$t_2, t_1$ - початкова і кінцева температура барди,  $^\circ\text{C}$ .

$x=1,05$ -коефіцієнт втрат теплоти;

$i$  - ентальпія вторинної пари, Дж;

$c_k$  - теплоємність конденсату,

$t_k$  - температура конденсату,  $^\circ\text{C}$ ;

$(i - c_k \cdot t_k) \approx 2262,6 \times 10^5$  Дж/кг.

Розраховуємо витрати пари в підігрівачах:

$$d_1 = \frac{18105 \cdot 3955 \cdot (105 - 85) \cdot 1,05}{2262600} = 665 \text{ кг/Г} = 0,185 \text{ кг/с}$$

(нагрівається вторинною парою другого корпусу);

$$d_2 = \frac{18105 \cdot 3955 \cdot (120 - 105) \cdot 1,05}{2262600} = 498 \text{ кг/Г} = 0,138 \text{ кг/с}$$

(нагрівається вторинним паром першого корпусу);

$$d_3 = \frac{18105 \cdot 3955 \cdot (131 - 120) \cdot 1,05}{2262600} = 366 \text{ кг/Г} = 0,102 \text{ кг/с.}$$

									Арк.
									14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ПОХНВ. В.00.00.00.ПЗ				

Кип'ятильник бражної колони нагрібається вторинним паром першого корпусу випарної станції. Витрата пари на кип'ятильник [4]:

$$d_k = \frac{II \cdot d_6}{24} = \frac{5000 \cdot 20}{24} = 4167 \text{ кг/Г} = 1,16 \text{ кг/с},$$

де  $d_6 = 20 \text{ кг/дал}$  спирту-витрата пари на бражну колону.

Кількість вторинної пари, відібраної з першого корпусу [4]

$$E_1 = d_2 + d_k = 498 + 4167 = 4665 \text{ кг/Г} = 1,30 \text{ кг/с} \quad (2.3)$$

з другого корпусу [к 1, ст. 84]:

$$E_2 = d_1 = 665 \text{ кг/Г} = 0,185 \text{ кг/с}. \quad (2.4)$$

Кількість випареної води по корпусам визначаємо з умови [4]

$$W_i = D_i \quad (2.5)$$

Загальна кількість випареної на установці води [к 1, ст. 84]:

$$W = S \left(1 - \frac{B_H}{B_K}\right) = 18105 \cdot \left(1 - \frac{8}{72}\right) = 16092 \text{ кг/Г} = 4,47 \text{ кг/с}, \quad (2.6)$$

де  $S = 18104 \text{ кг/Г}$ -вага поступаючого на випарювання розчину (барди);

$B_H = 8\%$ ,  $B_K = 72\%$ - початкова і кінцева концентрації розчину (барди).

Кількість води, випареної в n-му корпусі [4]:

$$W_n = \frac{W - (n-1) \cdot E_{n-1} - (n-2) \cdot E_{n-2} - \dots - 2 \cdot E_2 - E_1}{n}; \quad (2.7)$$

-в 4-му корпусі

$$W_4 = \frac{16092 - 4665 - 2 \cdot 665}{4} = 2524 \text{ кг/Г} = 0,7 \text{ кг/с};$$

-в 3-му корпусі [к1, ст. 84]

$$W_3 = W_4 = 2524 \text{ кг/Г} = 0,7 \text{ кг/с}; \quad (2.8)$$

-в 2-му корпусі [к. 1, ст. 84]

$$W_2 = W_3 + E_2 = 2524 + 665 = 3189 \text{ кг/Г} = 0,89 \text{ кг/с}; \quad (2.9)$$

-в 1-му корпусі [1, с. 84]

$$W_1 = W_2 + E_1 = 3189 + 4665 = 7854 \text{ кг/Г} = 2,18 \text{ кг/с}; \quad (2.10)$$

$$\sum W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 = 7854 + 3189 + 2524 + 2524 = 16091 \text{ кг/Г} = 4,47 \text{ кг/с} \quad (2.11)$$

З технологічного і теплових розрахунків знаходимо теплове навантаження кожного з випарних апаратів за формулою :

$$Q_1 = W_1 (i_1 - t_{k1} C_{k1}) = 4,3 \cdot (2745 - 140 \cdot 4,19) = 9281,12 \text{ кВт} \quad (1.1)$$

Аналогічно для інших корпусів:

$$Q_2 = 1,74 \cdot (2726 - 127 \cdot 4,19) = 3817,3 \text{ кВт}$$

					ПОХНВ. В.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

$$Q_3 = 1,4 \cdot (2710 - 116 \cdot 4,19) = 13,5 \text{ кВт}$$

$$Q_4 = 1,4 \cdot (2680 - 98 \cdot 4,19) = 3177,3 \text{ кВт}$$

## 2.2 Технологічні розрахунки

Поверхня нагрівання кожного з корпусів визначається з основного рівняння теплопередачі:

$$F_n = \frac{Q_n}{K_n \cdot \Delta t_n}; \text{ м}^2 \quad (1.2)$$

де  $Q_n$  – теплове навантаження кожного корпусу, кВт;

$\Delta t_n$  – корисна різниця температур відповідного корпусу;

$K_n$  – коефіцієнт теплопередачі п-корпусу.

Таким чином:

$$F_1 = \frac{9281,12}{11,2 \cdot 1640} = 505,3 \text{ м}^2$$

$$F_2 = \frac{3817,3}{8,4 \cdot 1161} = 391 \text{ м}^2$$

$$F_3 = \frac{3113,5}{13,2 \cdot 364} = 648 \text{ м}^2$$

$$F_4 = \frac{3177,6}{46 \cdot 39,4} = 1753,2 \text{ м}^2$$

Витрати гріючої пари при цьому становить:

$$D_1 = \frac{Q}{I - C_{вt_k}}; \text{ кг/с} \quad (1.3)$$

де  $I - C_{вt_k} = r = 2136,1 \text{ кДж/кг}$  – питома теплота конденсації граючої пари.

					ПОХНВ. В.00.00.00.ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$$D_1 = \frac{9281,12}{2136,1} = 4,345 \text{ кг/с}$$

### 2.3 Конструктивні розрахунки

Розрахунок кип'ятильника ведемо по [4, с. 136].

Визначаємо загальну кількість труб (n), яку можна розташувати на трубній ґратці по вершинам рівносторонніх трикутників в межах вписаного в коло шестикутника:

$$n = 0,75 * (n_d^2 - 1) + 1, \quad (1.4)$$

де  $n_d$ -кількість труб, розташованих на діаметрі трубної решітки (на великій діагоналі шестикутника) [4]:

$$n_d = \sqrt[3]{\frac{4F}{3 \cdot \beta \cdot t \cdot f}} \quad (1.5)$$

де F – розрахункова поверхня теплопередачі (одного кип'ятильника, їх в кожному корпусі по 2-а), м :

$$F = \frac{505,3}{2} = 252,65 \text{ м}^2 ;$$

t – крок труб, м (при закріпленні труб розвальцовкою)

$$t = (1,3 \dots 1,5) * d_3, \quad (1.6)$$

де  $d_n = 57$  мм-зовнішній діаметр трубок [4]:

$$t = 1,3 * 0,057 = 0,074 \text{ м};$$

f-поверхня 1 м трубки прийнятого діаметра ( $d_n$ ):

$$f = \pi * d_n * h = 3,14 * 0,057 * 1 = 0,179 \text{ м}. \quad (1.7)$$

					ПОХНВ. В.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

$\beta$  – відношення висоти або розрахункової частини теплообмінника (H) до його діаметра (D):

$$\beta = \frac{H}{D} = \frac{4}{1} \quad (\text{приймаємо по рекомендаціям [4];}$$

тоді

$$n_d = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 252.65}{3 \cdot \frac{4}{1} \cdot 0,074 \cdot 0,179}} = 18,5 \text{ шт}$$

Діаметр трубної ґратки або внутрішній діаметр кожуха теплообмінника (кип'ятильника) [4]:

$$D = (n_d - 1) \cdot t + 4 \cdot d_n = (19 - 1) \cdot 0,074 + 4 \cdot 0,057 = 1,56 \text{ м}, \quad (1.8)$$

Приймаємо згідно рекомендацій [4]  $D = 1600 \text{ мм}$ .

Робоча довжина (l) однієї труби кип'ятильника [4]

$$l = \beta \cdot D = \frac{4}{1} \cdot 1,6 = 6,24 \text{ м}, \quad (1.9)$$

приймаємо довжину труб 6,25 м.

Повна висота теплообмінника (H), м [4]:

$$H = l + 2 \cdot \delta + h_1 + h_2 \quad (1.10)$$

де  $\delta$  - товщина трубної ґратки, м (для сталевих труб  $= 0,125 \cdot d_n + 5 \text{ мм}$ ):

$$\delta = 0,125 \cdot 57 + 5 \text{ мм} = 12 \text{ мм};$$

$h = 0,1 \dots 0,3 \text{ м}$  - висота нижньої камери, приймаємо  $h = 0,3 \text{ м}$ ;

$h$  – висота верхньої (парової) камери, приймаємо  $h = 0,4 \text{ м}$ ;

тоді

$$H = 6,25 + 2 \cdot 0,012 + 0,4 + 0,3 = 6,974 \text{ м}$$

Розрахунок сепаратора.

					ПОХНВ. В.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Визначаємо об'єм сепараційного простору для вторинної пари [4]:

$$V_n = \frac{W}{\rho \cdot A} \quad (1.11)$$

де  $W=1,05$  кг/с - кількість випареної води;

$\rho=1,12$  кг/м - густина вторинної пари при  $t=119,9^\circ\text{C}$  [4]:

$A=0,388$  м<sup>3</sup>/(м<sup>3</sup>\*с) – напруга парового простору.

тоді

$$V_n = \frac{4,3}{1,12 \cdot 0,388} = 9,9 \text{ м}^3$$

приймаємо об'єм апарата із номінального ряду [3]:  $V_n=2,5$  м .

Визначаємо висоту сепараційного простору ( $H_n$ ), м [3]:

$$H_n = \frac{4 \cdot V_n}{\pi \cdot D^2} \quad (1.12)$$

де  $D$  – діаметр парового простору, м (в зв'язку з тангенціальним розташуванням патрубків для входу суміші барди конструктивно приймаємо  $D=1,6$  м):

$$H_n = \frac{4 \cdot 10,0}{3,14 \cdot 2^2} = 3,2 \text{ м}$$

згідно рекомендацій [4]: висоту сепараційного простору (при випарюванні рідин, що піняться) приймаємо  $H_n=4$  м.

Визначаємо діаметри патрубків [4]:

$$d = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{G}{\rho \cdot \omega}} \quad (1.13)$$

де  $G$  – кількість речовини, що проходить через патрубок, кг/с;

$\rho$  – густина речовини, що проходить через патрубок, кг/м<sup>3</sup>;

$\omega$  – швидкість речовини, що проходить через патрубок, м/с.

Діаметр патрубка для подачі гріючої пари в кип'ятильник ( $d_1$ ), м ( $G_1 = W_1 / 2 = 4,345 / 2 = 2,172$  кг/с;  $\rho_1 = 2,172$  кг/м<sup>3</sup> при  $t = 143^\circ\text{C}$ ;  $\omega_1 = 20$  м/с [4]:

$$d_1 = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{G_1}{\rho_1 \cdot \omega_1}} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{2,172}{2,12 \cdot 20}} = 0,226 \text{ м}, \quad (1.14)$$

					ПОХНВ. В.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

приймаємо із стандартного ряду  $d = 250$  мм.

Діаметр патрубку для виходу суміші барди з кип'ятильника (на вході в сепаратор) ( $d_2$ ), м ( $G_p = \frac{S - W_1}{2} = \frac{10,07 - 4,345}{2} = 5,77$

$$\rho_p = \frac{1}{\frac{x_m}{\rho_m} - \frac{1-x_m}{\rho_{ж}}} = \frac{1}{\frac{0,158}{1200} - \frac{1-0,158}{944}} = 978,5 \text{ кг/м}^3$$

де  $\rho_r = 1200$  кг/м<sup>3</sup>-густина твердих частинок;

$x_r = 0,158$  (15,8 %);  $\rho_{ж} = 944$  кг/м<sup>3</sup> при  $t = 131^\circ\text{C}$ ) - витрата та густина рідини в суміші;

$$G_{n2} = \frac{W_1}{2} = \frac{4,345}{2} = 2,173 \text{ кг/с};$$

$\rho_{n2} = 1,8$  кг/м<sup>3</sup> – витрата та густина вторинної пари в суміші (при  $t = 131^\circ\text{C}$ );  $\omega_2 = 10$  м/с (ст. 59, к. 1):

$$d_2 = 1,13 * \sqrt{\frac{G_2}{\rho_2 \cdot \omega_2}} = 1,13 * \sqrt{\left(\frac{G_{n2}}{\rho_{n2}} + \frac{G_{p2}}{\rho_{p2}}\right) / 10} = 1,13 * \sqrt{\frac{\frac{2,173}{1,8} + \frac{2,885}{978,5}}{10}} = 0,348 \text{ м} \quad (1.13)$$

приймаємо із стандартного ряду  $d = 350$  мм.

Діаметр патрубку для відводу конденсату з кип'ятильника ( $d_3$ ), м ( $G_3 = 4,5/2 = 2,17$  кг/с;  $\rho = 937$  кг/м<sup>3</sup> при  $t = 143^\circ\text{C}$  – кількість та густина конденсату;  $\omega_3 = 0,2$  м/с [4]:

$$d_3 = 1,13 * \sqrt{\frac{G_3}{\rho_3 \cdot \omega_3}} = 1,13 * \sqrt{\frac{2,17}{937 \cdot 0,2}} = 0,107 \text{ м} \quad (1.14)$$

приймаємо із стандартного ряду  $d = 120$  мм.

									Арк.
									20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ПОХНВ. В.00.00.00.ПЗ				

Діаметр патрубкa для входу барди в кип'ятильник ( $d_4$ ), м

$$G_4 = \frac{S-W_1}{2} = \frac{10,07}{2} = 5,035 \quad (1.15)$$

$$\rho_4 = \rho_1 = \frac{1}{\frac{x_m}{\rho_m} + \frac{1-x_m}{\rho_{ж}}} = \frac{1}{\frac{0,09}{1200} + \frac{1-0,09}{933}} = 952,1 \text{ кг/м}^3 \quad (1.16)$$

де  $\rho_T=1200 \text{ кг/м}^3$  – густина твердих частинок;

$x_T=0,158$  (15,8 %);  $\rho_{ж}=933 \text{ кг/м}^3$  при  $t=131,8^\circ\text{C}$  – витрата та густина розчину;  $\omega_3=0,5 \text{ м/с}$  (ст. 169, к.3)):

$$d_4 = 1,13 * \sqrt{\frac{G_4}{\rho_4 \cdot \omega_4}} = 1,13 * \sqrt{\frac{5,035}{952,1 \cdot 0,5}} = 0,116 \text{ м} \quad (1.17)$$

приймаємо із стандартного ряду  $d_4=120 \text{ мм}$ .

Діаметр патрубкa для виходу вторинної пари з сепаратора ( $d_5$ ), м ( $G_5=W_5=3,345 \text{ кг/с}$ ;  $\rho_5 = 1,6 \text{ кг/м}^3$  при  $t=131^\circ\text{C}$  – кількість та густина вторинної пари;  $\omega_5=18 \text{ м/с}$  [4]):

$$d_5 = 1,13 * \sqrt{\frac{G_5}{\rho_5 \cdot \omega_5}} = 1,13 * \sqrt{\frac{3,345}{1,6 \cdot 18}} = 0,385 \text{ м} \quad (1.18)$$

приймаємо із стандартного ряду  $d_5=400 \text{ мм}$ .

Діаметр патрубкa для виходу упареної барди з сепаратора ( $d_6$ ), м ( $G_6=S-W_1 = 10-4,3 = 5,7 \text{ кг/с}$ ;  $\rho_6=\rho_p=978,5 \text{ кг/м}^3$  – витрата та густина розчину;  $\omega_6=0,5 \text{ м/с}$  [4]):

$$d_6 = 1,13 * \sqrt{\frac{G_6}{\rho_6 \cdot \omega_6}} = 1,13 * \sqrt{\frac{5,7}{978,5 \cdot 0,5}} = 0,121 \text{ м} \quad (1.19)$$

приймаємо із стандартного ряду  $d=125 \text{ мм}$ .

					ПОХНВ. В.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

## 2.4 Гідравлічний опір апарата

Оптимальний рівень киплячої рідини (для оптимальних умов тепловіддачі) проводимо по [2]:

$$h = (0,26 + 0,0014 * (\rho_p - \rho_v)) * H_{тр} == (0,26 + 0,0014 * (978,5 - 942)) * 6,25 = 1,94 \text{ м}, \quad (1.20)$$

де  $\rho_p = \rho_{p1} = 978,5 \text{ кг/м}^3$  – кінцева густина розчину барди [3];;

$\rho_v = 942 \text{ кг/м}^3$  – густина води при  $t=121,5^\circ\text{C}$  [4];;

$H_{тр} = 6,25 \text{ м}$  – висота труб в кип'ятильнику.

Швидкість циркуляції розчину в трубках  $\omega_{ц} = 0,3 \text{ м/с}$ .

Втрата тиску в трубному просторі ([4]):

$$\Delta p = \Delta p_{тр} + \Delta p_{м.о} = (\lambda \frac{1}{d} + \sum \xi) * \frac{\omega_{ц}^2 \cdot \rho_б}{2} \quad (1.21)$$

де  $\lambda$  – коеф. опору тертя в трубному просторі, який визначається відносно значення критерію Рейнольдса.

$$Re = \frac{\omega_{ц} \cdot d_{вн.} \cdot \rho_б}{\mu_б} = \frac{0,2 \cdot 0,052 \cdot 978,5}{3,6 \cdot 10^{-4}} = 28268$$

де  $\rho_б = 978,5 \text{ кг/м}^3$  – густина розчину барди при  $t=131^\circ\text{C}$  [3];;

$d_{вн.} = 0,052 \text{ м}$  – внутрішній діаметр трубок кип'ятильника;

$\mu_б$  – коеф. динамічної в'язкості розчину барди.

$$\mu_б = \mu_ж * (1 + 4,5 * \varphi), \quad (1.22)$$

де  $\mu_ж$  – в'язкість зовнішнього середовища (води), в якому знаходяться тверді частки,  $\text{Па}\cdot\text{с}$ ;

$\varphi$  – об'ємна концентрація твердих часток в розчині [3].

( $\mu_ж = 229 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}$  при  $t=131^\circ\text{C}$ ):

$$\varphi_2 = \frac{x_{m2} \cdot \rho_{p2}}{\rho_m} = \frac{0,158 \cdot 978,5}{1200} = 0,129 \quad (1.23)$$

					ПОХНВ. В.00.00.00.ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тоді  $\mu_2=229 \cdot 10^{-6} \cdot (1+4,5 \cdot 0,129)=3,6 \cdot 10^{-4} \text{Па} \cdot \text{с}$ ;

тоді по [1]:

$$\lambda = \frac{1}{(1,8 \cdot \lg Re - 1,5)^2} = \frac{1}{(1,8 \lg 28628 - 1,5)^2} = 0,024; \quad (1.24)$$

$$l = H \cdot n = 6,25 \cdot 271 = 1694 \text{ м}$$

де  $H=6 \text{ м}$  – висота кип’ятильних труб;

$n=271$  шт – кількість кип’ятильних труб в одному кип’ятильнику;

$$d=d_{\text{вн}}=0,052 \text{ м};$$

$\sum \xi = (1 + 1,5) \cdot 271 = 677,5$  – сума коеф. місцевих опорів (1,5 -коеф. місцевого опору при вході в камеру (виході з камери); 1 - коеф. місцевого опору при вході в труби (вході в трубу) [4, с. 51];

$$\text{тоді} \quad \Delta p_1 = (0,024 \cdot \frac{1694}{0,052} + 677,5) \cdot \frac{0,3^2 \cdot 992}{2} = 63744 \text{ Па}$$

Втрата тиску в міжтрубному просторі по формулі [4]:, яка прийме вигляд:

$$\Delta p_2 = \Delta p_{\text{м.о}} = \Delta p_{\text{вх}} + \Delta p_{\text{вих}} = \sum \xi_{\text{вх}} \cdot \frac{\omega_{\text{вх}}^2 \cdot \rho_n}{2} + \sum \xi_{\text{вих}} \cdot \frac{\omega_{\text{вих}}^2 \cdot \rho_k}{2}, \quad (1.25)$$

де  $\sum \xi_{\text{вх}}=1,5+1=2,5$  – сума коеф. місцевих опорів при вході пари в міжтрубний простір та повороті в міжтрубному просторі на  $90^\circ$ [4];

$\sum \xi_{\text{вих}}=1,5+1=2,5$  – сума коеф. місцевих опорів при виході конденсату з міжтрубного простору та повороті в міжтрубному просторі на  $90^\circ$  ;

$\omega_{\text{вх}}$ ;  $\rho_n$  – швидкість та густина пару, який поступає в міжтрубний простір ( $\omega_{\text{вх}}=20 \text{ м/с}$ ,  $\rho_n=1,6 \text{ кг/м}^3$ );

$\omega_{\text{вих}}$ ;  $\rho_k$  – швидкість та густина конденсату який виходить з міжтрубного простору ( $\omega_{\text{вих}}=0,2 \text{ м/с}$ ,  $\rho_k=397 \text{ кг/м}^3$ );

тоді  $p=2,5 \cdot \dots + 2,5 \cdot \dots = 750 \text{ Па}$ .

									Арк.
									23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ПОХНВ. В.00.00.00.ПЗ				

$$\Delta p_2 = 2,5 \cdot \frac{20^2 \cdot 1,6}{2} + 2,5 \cdot \frac{0,2^2 \cdot 937}{2} = 750 \text{ Па}$$

## 2.5 Вибір допоміжного обладнання

Температуру барометричної води прийемо на 3 °С нижчу від температури насиченої пари, яка входить в конденсатор

$t_{\text{н}} = 50,1 - 1 = 49,1^\circ\text{C}$  (таб. 2.1) [4]:

$$t_{\text{в.к}} = t_{\text{н}} - 3 = 49,1 - 3 = 46,1^\circ\text{C}. \quad (2.45)$$

Витрата води на охолодження [4]:

$$W = \frac{D \cdot (i - c_{\text{в}} \cdot t_{\text{в.к}})}{c_{\text{в}} \cdot (t_{\text{в.к}} - t_{\text{в.н}})} = \frac{1,4 \cdot (2588 \cdot 10^3 - 4180 \cdot 46,1)}{4180 \cdot (46,1 - 20)} = 30,7 \text{ кг/с}, \quad (2.46)$$

де  $D = W = 1,4 \text{ кг/с}$  - кількість конденсуючої пари;

$i = 2588 \text{ кДж/кг}$  - ентальпія пари (при  $t = 49,1^\circ\text{C}$ );

$t_{\text{в.к}} = 46,1^\circ\text{C}$ ,  $t_{\text{в.н}} = 20^\circ\text{C}$  - кінцева та початкова (приймаємо)

температури води (конденсату);

$c_{\text{в}} = 4,18 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}$  - теплоємність барометричної води

(при  $t = 46,1^\circ\text{C}$ ).

Кількість відсмоктаного повітря [5]:

$$G_{\text{в}} = 0,001 \cdot (0,025 \cdot W + 10 \cdot D) = 0,001 \cdot (0,025 \cdot 30,7 + 10 \cdot 1,4) = 0,015 \text{ кг/с}. \quad (2.47)$$

Температура повітря [5]:

$$t_{\text{в}} = t_{\text{в.н}} + 0,1 \cdot (t_{\text{в.к}} - t_{\text{в.н}}) + 4 = 20 + 0,1 \cdot (46,1 - 20) + 4 = 26,2^\circ\text{C}. \quad (2.48)$$

Загальний абсолютний тиск в конденсаторі при  $t_{\text{н}} = 49,1^\circ\text{C}$ :

$$p = 12 \text{ кПа (10, таб. LVI).}$$

Парціальний тиск водяної пари  $t_{\text{в}} = 26,2^\circ\text{C}$ :

$$p_{\text{п}} = 3,4 \text{ кПа (10, таб. LVI),}$$

а парціальний тиск повітря  $p_{\text{в}} = p - p_{\text{п}} = 12 - 3,4 = 8,6 \text{ кПа}$ .

Об'єм відсмоктуючого повітря [4]:

$$V_{\text{в}} = \frac{288 \cdot G_{\text{в}} \cdot (273 + t_{\text{в}})}{P_{\text{в}}} = \frac{288 \cdot 0,015 \cdot (273 + 26,2)}{8,6 \cdot 10^3} = 0,15 \text{ м}^3/\text{с}, \quad (2.49)$$

де 288 - газова постійна для повітря, Дж/(кг·К).

Відповідно отриманому об'єму повітря  $V_{\text{в}} = 0,15 \text{ м}^3/\text{с}$  необхідному розрідженні  $0,89 \cdot 10^5 \text{ Па}$  вибираємо вакуум-насос марки РМК-4 (стабільне розрідження 670 мм рт. ст.; діаметр робочого колеса 650 мм; кількість лопаток -22; внутрішній діаметр корпуса 760 мм; ексцентриситет - 40 мм; частота обертання робочого колеса 730 об/хв.

					ПОХНВ. В.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24



Масова витрата пари в конденсаторі:

$$D=1,4 \text{ кг/с} = 5,04 \text{ т/год}$$

Приймаємо типовий конденсатор РЗ-ПКО-12 (номінальне навантаження по пару -12 т/год; габаритні розміри: довжина - 3150 мм, ширина – 2450 мм; висота – 6670 мм; внутрішній діаметр корпусу – 1500 мм; вага – 3360 кг).

Визначаємо об'єм збірника для барометричної води при тривалості перебування її в збірнику  $\tau=5$  хв. і коефіцієнт заповнення  $\varphi=0,8$ :

$$V_1 = \frac{(W + D) \cdot \tau}{\rho_{\text{вод}} \cdot \varphi} = \frac{(30,7 + 1,4) \cdot 5 \cdot 60}{1000 \cdot 0,8} = 12 \text{ м}^3. \quad (2.50)$$

Приймаємо вертикальний циліндричний збірник діаметром  $D_1=2$  м, тоді його висота:

$$H_1 = \frac{4 \cdot V_1}{3,14 \cdot D_1^2} = \frac{4 \cdot 12}{3,14 \cdot 2^2} = 3,82 \text{ м}. \quad (2.51)$$

Продуктивність насоса для відкачування води із збірника

$$\Pi = \frac{(W + D) \cdot 3600}{\rho_{\text{вод}}} = \frac{(30,7 + 1,4) \cdot 3600}{1000} = 115,6 \text{ м}^3 / \text{с}. \quad (2.52)$$

Приймаємо до встановлення насос типу 6X18 (діаметр робочого колеса – 180 мм; продуктивність – 118 м<sup>3</sup> /год.; напір (Н) - 34 м; висота всмоктування – 5 м ст. рідини; КПД насоса - 65 %; частота обертання вала - 2900 об/хв.; N=30 кВт; вага – 171 кг).

Теплове навантаження на підігрівачі барди [4]:

$$Q = G_6 \cdot c_6 \cdot (t_2 - t_1) \cdot x, \quad (2.53)$$

де  $G_6$  - витрата барди ( $G_6 = 10$  кг/с);

$c_6$  - теплоємність барди, Дж/(кг·К) [3]:

$$c_6 = 4187 - 28 \cdot V = 4187 - 28 \cdot 9 = 3935 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К}); \quad (2.54)$$

де  $V=9$  % мас. - вміст сухих речовин;

$x=1,05$  - коефіцієнт, враховуючий втрати тепла теплообмінником в навколишнє середовище;

- підігрівачі першої групи ( $t_1 = 85$  °С,  $t_2 = 105$  °С):

$$Q_1 = 10 \cdot 3935 \cdot (105 - 85) \cdot 1,05 = 826350 \text{ Вт};$$

- підігрівачі другої групи ( $t_1 = 105$  °С,  $t_2 = 120$  °С):

$$Q_2 = 10 \cdot 3935 \cdot (120 - 105) \cdot 1,05 = 619763 \text{ Вт};$$

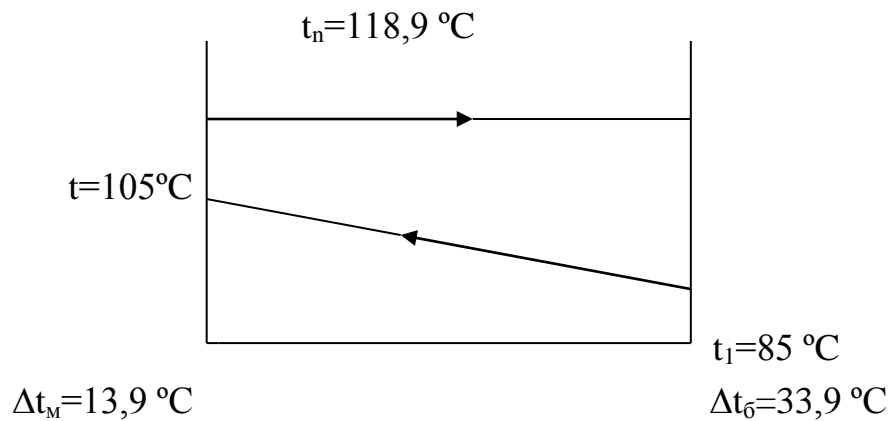
- підігрівачі третьої групи ( $t_1 = 120$  °С,  $t_2 = 131,8$  °С):

$$Q_3 = 10 \cdot 3935 \cdot (131,8 - 120) \cdot 1,05 = 487547 \text{ Вт}.$$

Середня різниця температур визначається згідно графіків температурного навантаження:

					ПОХНВ. В.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

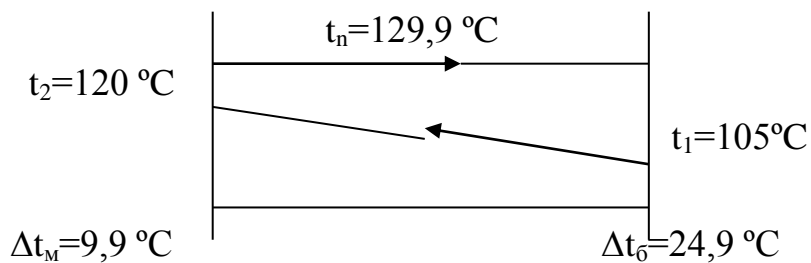
- для підігрівачів першої групи (підігрів вторинною парою 2-го корпусу випарної станції):



по формулі [4, ф. 126]:

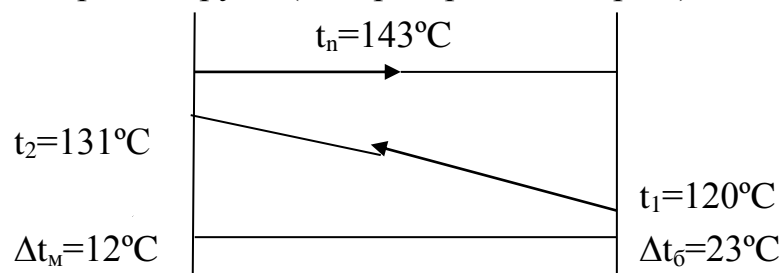
$$\frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{M}} = \frac{33,9}{13,9} = 2,4 > 2, \text{ тоді } \Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{M}}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{M}}} = \frac{33,9 - 13,9}{2,3 \cdot \lg \frac{33,9}{13,9}} = 22,4 \text{ } ^{\circ}\text{C}. \quad (2.55)$$

- для підігрівачів другої групи (підігрів вторинною парою 1-го корпусу випарної станції):



$$\frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{M}} = \frac{24,9}{9,9} = 2,5 > 2, \text{ тоді } \Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{M}}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{M}}} = \frac{24,9 - 9,9}{2,3 \lg \frac{24,9}{9,9}} = 16,3 \text{ } ^{\circ}\text{C}.$$

- для підігрівачів третьої групи (підігрів гріючою парою):



по формулі [5]:

$$\frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_m} = \frac{23}{12} = 1,9 > 2, \text{ тоді } \Delta t_{\text{cp}} = \frac{\Delta t_{\delta} + \Delta t_m}{2} = \frac{23+12}{2} = 17,5 \text{ }^{\circ}\text{C}. \quad (2.56)$$

Згідно рекомендацій[4] приймаємо коефіцієнт теплопередачі:

$K_1 = 600 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  - для першої групи;

$K_2 = 700 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  - для другої групи;

$K_3 = 800 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  - для третьої групи.

Поверхні теплообміну підігрівачів (2.36):

$$F_i = \frac{Q_i}{K_i \cdot \Delta t_{\text{cp},i}} ;$$

$$F_1 = \frac{826350}{600 \cdot 22,4} = 61,5 \text{ м}^2 ; F_2 = \frac{619763}{700 \cdot 16,3} = 54,3 \text{ м}^2 ; F_3 = \frac{487547}{800 \cdot 17,5} = 35 \text{ м}^2 .$$

Приймаємо для всіх трьох груп підігрівачів кожухотрубні теплообмінники марки (ГОСТ 15122-79) з поверхнею теплообмінна  $35 \text{ м}^2$  (теплообмінник з нерухомими трубними гратками в вертикальному виконанні (буква В в чисельнику) має кожух діаметром 400 мм, нероз'ємні росродільчі камери (цифра 1 в чисельнику); розрахований на умовний тиск 0,6 МПа; труби мають наружний діаметр 25 мм гладкі (буква Г в знаменнику), довжиною 4 м; кількість ходів в трубному просторі -1. Позначка Б ( в чисельнику вказує матеріал кожуха і трубок в відповідності до ГОСТ 15122-79). В першій і другій групах встановлюємо по 2 - а теплообмінника, а в третій - один.

					ПОХНВ. В.00.00.00.ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність

### 3.1 Визначення товщини стінки і кришки

Проводимо по [6]

Циліндрична обечайка кип'ятильника.

Виконавча товщина стінки обечайки (міжтрубний простір):

$$S_1 = S_p + C, \quad (3.1)$$

де  $S$  - розрахункова товщина стінки [к. 5, ф. 69]:

$$S_p = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{P_p \cdot D_B}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - P_p} \\ \frac{P_u \cdot D_B}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - P_u} \end{array} \right\} \quad (3.2)$$

де  $D_B = 1,6$  м – внутрішній діаметр апарата;

$\varphi$  - коеф. міцності зварного шва ( $\varphi = 0,9$  – стиковий з підварюванням кореня шва виконаний вручну [6]);

$P_p$  - розрахунковий тиск, МПа [6]:

$$P_p = P + P_r, \quad (3.3)$$

де  $P_p$  - робочий тиск ("тах"-ний внутрішній надлишковий тиску апараті, що виникає при нормальному перебігу процесу, без врахування гідростатичного тиску середовища); при температурі вторинної пари, що поступає в міжтрубний простір (ст. 30):  $P = 0,175$  МПа;

$P_r$  – гідростатичний тиск середовища, МПа (не враховуємо);

тоді

$P_p = P = 0,175$  МПа, відповідно до вимог державного стандарту приймаємо з нормованого ряду  $P = 0,2$  МПа;

$P_u$  – тиск при гідравлічному випробуванні, МПа [к. 5, таб. 2]:

					ПОХНВ. В.00.00.00.ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_u = \max \left\{ \frac{1,5 \cdot P_p \cdot [\sigma]_{20}}{[\sigma]_t}, 0,2 \right\} \quad (3.4)$$

де  $[\sigma]_{20}$  - допустиме напруження для матеріалу при  $t=20^\circ\text{C}$  (для сталі 12X18H10T  $[\sigma]_{20}=160$  МПа [6];

$[\sigma]_t$  – допустиме напруження для матеріалу при робочій температурі середовища (для сталі 12X18H10T при  $t=143^\circ\text{C}$ ;  $[\sigma]_{143}=148$  МПа [6];

тоді підставляємо дані у формулу (2.4)

$$P_u = \max \left\{ \frac{1,5 \cdot 0,2 \cdot 160}{148}, 0,2 \right\} = \max \left\{ 0,32, 0,2 \right\} = 0,32 \text{ МПа}$$

$[\sigma]_u$  - допустиме напруження для матеріалу при випробуванні, МПа [к. 5, ф. 67]:

$$[\sigma]_u = \frac{\sigma_m^{20}}{n_m} = \frac{196}{1,1} = 178 \text{ МПа} \quad (3.5)$$

де  $\sigma_m^{20}$  - мінімальне значення границі текучості матеріалу при  $t=20^\circ\text{C}$  (для сталі 12X18H10T  $\sigma_m^{20}=196$  МПа [6];

$n_t$  - коеф. запасу міцності (при гідравлічних випробуваннях  $n = 1,1$  [к. 12, ст. 119]);

$C$  - конструктивний додаток, м [6]:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + C_0, \quad (3.6)$$

де  $C_1$  - додаток на корозію, м [6] (для матеріалів, стійких в заданому середовищі, при відсутності даних про корозійну проникливість приймається  $C = 1 \text{ мм} = 0,001$  м;

$C_2$  – додаток на ерозію (не враховуємо);

$C_3$  – відд'ємний додаток (для компенсації від ємного допуску), м [5, табл. 10]:  $C = -0,22 \text{ мм} = -0,00022$  м;

$C_0$  – додаток на округлення до стандартного значення товщини стінки, м; тоді

$$C = 0,001 + (-0,00022) + C_0 = 0,00078 + C_0;$$

тоді

					ПОХНВ. В.00.00.00.ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$S_p = \max \left\{ \frac{0,2 \cdot 1,6}{2 \cdot 148 \cdot 0,9 - 0,2}, \frac{0,32 \cdot 1,6}{2 \cdot 178 \cdot 0,9 - 0,32} \right\} = \max \left\{ \begin{matrix} 0,0012 \\ 0,0016 \end{matrix} \right\} = 0,0016 \text{ м};$$

Тоді

$$S_1 = 0,0016 + 0,00078 + C_0 = 0,00238 + C_0 = 0,00238 + 0,00062 = 0,003 \text{ м} = 3 \text{ мм},$$

тоді ( $C_0 = 0,00062 \text{ м}$ ):

$$C = 0,00078 + 0,00062 = 0,0014 \text{ м} = 1,4 \text{ мм}$$

Допустимий тиск:

-у робочому стані [б]:

$$[P] = \frac{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_t \cdot (S_1 - C)}{D + S_1 - C} = \frac{2 \cdot 0,9 \cdot 148 \cdot (0,003 - 0,0014)}{1,6 + 0,003 - 0,0016} = 0,27 \text{ МПа}; \quad (3.7)$$

-при випробуваннях :

$$[P_u] = \frac{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_u \cdot (S_1 - C)}{D + S_1 - C} = \frac{2 \cdot 0,9 \cdot 178 \cdot (0,003 - 0,0014)}{1,6 + 0,003 - 0,0016} = 0,32 \text{ МПа}; \quad (3.8)$$

Перевіримо умову застосування формул (2.1, 2.2, 2.7, 2.8) [5]:

$$\frac{(S_1 - C)}{D} = \frac{0,003 - 0,0014}{1,6} = 0,001 < 0,1 \text{ МПа}; \quad (3.9)$$

умова виконується.

Умова  $P_p \leq [P]$ :  $0,2 < 0,27 \text{ МПа}$ ;  $P_u \leq [P_u]$ :  $0,32 = 0,32 \text{ МПа}$  – виконується.

Приймаємо товщину стінки циліндричної обечайки міжтрубного простору кип'ятильника  $S_1 = 3 \text{ мм}$ .

Сферична кришка кип'ятильника

Виконавча товщина стінки кришки (верхньої) (2.1):

					ПОХНВ. В.00.00.00.ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$S_2 = S_p + C,$$

де  $S$  - розрахункова товщина стінки (2.2):

$$S = \max \left\{ \frac{P_p \cdot D_c}{4 \cdot [\sigma]_t \cdot \varphi - P_p}, \frac{P_u \cdot D_c}{4 \cdot [\sigma]_u \cdot \varphi - P_u} \right\}, \quad (3.10)$$

де  $D_c = D_b = 1,6$  м - внутрішній діаметр апарата;

$\varphi$  - коеф. міцності зварного шва ( $\varphi = 0,9$  - стиковий з підварюванням кореня шва виконаний вручну [6];

$P_p$  - розрахунковий тиск, МПа (2.3):

$$P_p = P + P_r,$$

де  $P$  - робочий тиск ("тах"-ний внутрішній надлишковий тиск у апараті, що виникає при нормальному перебігу процесу, без врахування гідростатичного тиску середовища); при температурі розчину барди, що поступає в трубний простір  $t = 131^\circ\text{C}$  (ст. 30):  $P = 0,125$  МПа;

$P_r$  - гідростатичний тиск середовища, МПа [6]:

$$P_u = \max \left\{ \frac{1,5 \cdot P_p \cdot [\sigma]_{20}}{[\sigma]_t}, 0,2 \right\}, \quad (3.11)$$

де  $[\sigma]_{20}$  - допустиме напруження для матеріалу при  $t = 20^\circ\text{C}$  (для сталі 12X18H10T  $[\sigma]_{20} = 160$  МПа [6];

$[\sigma]_t$  - допустиме напруження для матеріалу при робочій температурі середовища (для сталі 12X18H10T при  $t = 131^\circ\text{C}$ ;  $[\sigma]_{143} = 150$  МПа [12, табл. 4.1];

тоді підставляємо дані у формулу (2.4)

$$P_u = \max \left\{ \frac{1,5 \cdot 0,16 \cdot 160}{150}, 0,2 \right\} = \max \left\{ 0,26, 0,2 \right\} = 0,26 \text{ МПа}$$

$[\sigma]_u$  - допустиме напруження для матеріалу при випробуванні, МПа[5]:

					ПОХНВ. В.00.00.00.ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$[\sigma]_u = \frac{\sigma_m^{20}}{n_m} = \frac{196}{1,1} = 178 \text{ МПа} \quad (3.12)$$

де  $\sigma_m^{20}$  - мінімальне значення границі текучості матеріалу при  $t=20^\circ\text{C}$  (для сталі 12Х18Н10Т  $\sigma_m^{20}=196$  МПа [6];

$n_T$  - коеф. запасу міцності (при гідравлічних випробуваннях  $n=1,1$  [6];

$C$  - конструктивний додаток, м [к. 5, ф. 68]:

$$C=C_1+C_2+C_3+C_0$$

де  $C_1$  - додаток на корозію, м [6] (для матеріалів, стійких в заданому середовищі, при відсутності даних про корозійну проникливість приймається  $C=1$  мм=0,001 м;

$C_2$  – додаток на ерозію (не враховуємо);

$C_3$  – від'ємний додаток (для компенсації від'ємного допуску), м [6]:  $C=-0,18$  мм=-0,00018 м;

$C_0$  – додаток на округлення до стандартного значення товщини стінки, м;

тоді

$$C=0,001+(-0,00018)+C_0=0,00082+C_0;$$

тоді

$$S_p = \max \left\{ \frac{\frac{0,16 \cdot 1,6}{2 \cdot 150 \cdot 0,9 - 0,16}}{0,26 \cdot 1,6}, \frac{0,0005}{0,0007} \right\} = \max \{0,0005\} = 0,0007 \text{ м};$$

тоді

$$S_1=0,0007+0,00082+C_0=0,00152+C_0=0,00152+0,00048=0,002 \text{ м} = 2 \text{ мм},$$

тоді ( $C_0=0,00048$  м):

$$C=0,00082+0,00048=0,0013 \text{ м} = 1,3 \text{ мм}$$

Допустимий тиск:

-у робочому стані [5, ф. 71]:

					ПОХНВ. В.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33



$$[P] = \frac{4 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_t \cdot (S_1 - C)}{D + S_2 - C} = \frac{2 \cdot 0,9 \cdot 150 \cdot (0,002 - 0,0013)}{1,6 + 0,002 - 0,0013} = 0,24 \text{ МПа}; \quad (3.13)$$

-при випробуваннях [6]:

$$[P_u] = \frac{4 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_u \cdot (S_1 - C)}{D + S_2 - C} = \frac{2 \cdot 0,9 \cdot 178 \cdot (0,002 - 0,0013)}{1,6 + 0,002 - 0,0013} = 0,28 \text{ МПа}; \quad (3.14)$$

Перевіримо умову застосування формул (2.1, 2.2, 2.7, 2.8) [6]:

$$\frac{(S_2 - C)}{D} = \frac{0,002 - 0,0013}{1,6} = 0,0004 < 0,1 \text{ МПа} \text{ — умова}$$

виконується.

Умова  $P_p \leq [P]$ :  $0,16 < 0,24$  МПа;  $P_u \leq [P_u]$ :  $0,26 = 0,28$  МПа – виконується.

Приймаємо товщину стінки сферичної кришки (верхньої) кип'ятильника  $S_2 = 2$  мм.

Виконавча товщина стінки (нижньої) (2.1):

$$S_2' = S_p + C, \quad (3.15)$$

де  $S$  - розрахункова товщина стінки (2.10):

$$S = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{P_p \cdot D_c}{4 \cdot [\sigma]_t \cdot \varphi - P_p} \\ \frac{P_u \cdot D_c}{4 \cdot [\sigma]_u \cdot \varphi - P_u} \end{array} \right\},$$

де  $D_c = D_B = 1,6$  м - діаметр сфери;

$\varphi$  – коеф. міцності зварного шва ( $\varphi = 0,9$  - стиковий з підварюванням кореня шва виконаний вручну [6]);

$P_p$  – розрахунковий тиск, МПа (3.3):

$$P_p = P + P_r,$$

де  $P$  - робочий тиск ("тах"-ний внутрішній надлишковий тиск у апараті, що виникає при нормальному перебігу процесу, без врахування гідростатичного тиску середовища); при температурі суміші барди, що знаходиться в трубному просторі  $t = 131^\circ\text{C}$  (ст. 30):  $P = 0,125$  МПа;

					ПОХНВ. В.00.00.00.ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$P_r$  – гідростатичний тиск середовища, МПа [6]:

$$P = \rho \cdot g \cdot h = 499 \cdot 9,81 \cdot 1,31 = 6413 \text{ Па} = 0,01 \text{ МПа} \quad (3.16)$$

де  $\rho = 499 \text{ кг/м}^3$  густина розчину барди при пазирковому кипінні [6]:

$$\rho = \varepsilon \cdot \rho_{p2} = 0,5 \cdot 997 = 499 \text{ кг/м}^3, \quad (3.17)$$

$\rho_{p2} = 997 \text{ кг/м}^3$  – густина поступаючого розчину барди в кип’ятильник;  
 $\varepsilon = 0,5$  – коефіцієнт, враховуючий паронаповнення в режимі кипіння [к.8, ст..168];

$h = h_0 = 1,31 \text{ м}$  – рівень киплячого розчину барди, (ст..37)

тоді

$P = 0,125 + 0,01 = 0,135 \text{ МПа}$ , відповідно держстандарту приймаємо з нормованого ряду  $P = 0,16 \text{ МПа}$ ;

$P_u$  – тиск при гідравлічному випробуванні, МПа (2.11):

$$P_u = \max \left\{ \frac{1,5 \cdot P_p \cdot [\sigma]_{20}}{[\sigma]_t}, 0,2 \right\}, \quad (3.18)$$

де  $[\sigma]_{20}$  – допустиме напруження для матеріалу при  $t = 20^\circ\text{C}$  (для сталі 12X18H10T  $[\sigma]_{20} = 160 \text{ МПа}$  [6];

$[\sigma]_t$  – допустиме напруження для матеріалу при робочій температурі середовища (для сталі 12X18H10T при  $t = 131^\circ\text{C}$ ;  $[\sigma]_{131} = 150 \text{ МПа}$  [6]; тоді

$$P_u = \max \left\{ \frac{1,5 \cdot 0,16 \cdot 160}{150}, 0,2 \right\} = \max \left\{ 0,26, 0,2 \right\} = 0,26 \text{ МПа},$$

$[\sigma]_u$  – допустиме напруження для матеріалу при випробуванні, МПа (2.12):

$$[\sigma]_u = \frac{\sigma_m^{20}}{n_m} = \frac{196}{1,1} = 178 \text{ МПа} \quad (3.19)$$

де  $\sigma_m^{20}$  – мінімальне значення границі текучості матеріалу при  $t = 20^\circ\text{C}$  (для сталі

					ПОХНВ. В.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

12X18H10T  $\sigma_m^{20}=196$  МПа [6];

$p_T$  - коеф. запасу міцності (при гідравлічних випробуваннях  $p_T=1,1$  [6]);

C – конструктивний додаток, м (2.6):

$$C=C_1+C_2+C_3+C_0, \quad (3.20)$$

де  $C_1$  - додаток на корозію, м [12, ф. 120] (для матеріалів, стійких в заданому середовищі, при відсутності даних про корозійну проникливість приймається  $C=1$  мм=0,001 м;

$C_2$ - додаток на ерозію (не враховуємо);

$C_3$ -від'ємний додаток (для компенсації від'ємного допуску),м [6]:

$C_4=-0,18$  мм=-0,00018 м;

$C_0$  - додаток на округлення до стандартного значення товщини стінки, м;

тоді

$$C=0,001+(-0,00018)+C=0,00082+C ;$$

тоді

$$S_p = \max \left\{ \frac{0,16 \cdot 1,6}{2 \cdot 150 \cdot 0,9 - 0,16}, \frac{0,26 \cdot 1,6}{2 \cdot 178 \cdot 0,9 - 0,26} \right\} = \max \{0,0005, 0,0007\} = 0,0007 \text{ м};$$

тоді

$$S=0,0007+0,00082+C_0=0,00152+C_0=0,00152+0,00048=0,002 \text{ м}=2 \text{ мм},$$

тоді ( $C=0,00048$  м):

$$C=0,00082+0,00048=0,0013 \text{ м}=1,3 \text{ мм}.$$

Допустимий тиск:

-у робочому стані (2.13):

$$[P] = \frac{4 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_t \cdot (S_2 - C)}{D + S_2 - C} = \frac{2 \cdot 0,9 \cdot 150 \cdot (0,002 - 0,0013)}{1,6 + 0,002 - 0,0013} = 0,24 \text{ МПа}; \quad (3.21)$$

-при випробуваннях (3.14)

					ПОХНВ. В.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

$$[P_u] = \frac{4 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_u \cdot (S_1 - C)}{D + S_2 - C} = \frac{2 \cdot 0,9 \cdot 178 \cdot (0,002 - 0,0013)}{1,6 + 0,002 - 0,0013} = 0,24 \text{ МПа};$$

Перевіримо умову застосування формул (2.1; 2.12; 2.13; 2.14) [5]:

$$\frac{(S_2 - C)}{D} = \frac{0,002 - 0,0013}{1,6} = 0,0004 < 0,1 \text{ МПа} \text{ — умова виконується.} \quad (3.22)$$

Умова  $P_p \leq [P]$ :  $0,16 < 0,24$  МПа;  $P_u \leq [P_u]$ :  $0,26 = 0,28$  МПа – виконується.

Приймаємо товщину стінки сферичної кришки (верхньої) кип'ятильника  $S_2' = 2$  мм.

Сферичне днище (верхнє) сепаратора пари.

Виконавча товщина стінки днища (2.1):

$$S_5 = S_p + C,$$

де  $S$  - розрахункова товщина стінки (3.10):

$$S = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{P_p \cdot D_c}{4 \cdot [\sigma]_t \cdot \varphi - P_p} \\ \frac{P_u \cdot D_c}{4 \cdot [\sigma]_u \cdot \varphi - P_u} \end{array} \right\},$$

де  $D_c = D_b = 2,0$  м - діаметр сфери;

$\varphi$  - коеф. міцності зварного шва ( $\varphi = 0,9$  -стиківий з підварюванням кореня шва виконаний вручну [6]);

$P_p$ - розрахунковий тиск, МПа (2.3):

$$P_p = P + P_r,$$

де  $P_p$ - робочий тиск ("тах"-ний внутрішній надлишковий тиску апараті, що виникає при нормальному перебігу процесу, без врахування гідростатичного тиску середовища); при температурі вторинної пари, що поступає в сепаратор  $t = 131^\circ\text{C}$  (ст. 30):  $P = 0,103$  МПа;

$P_r$ -гідростатичний тиск середовища, МПа (не враховуємо);

тоді  $P_p = P = 0,103$  МПа, відповідно держстандарта приймаємо з нормованого ряду  $P = 0,16$  МПа;

					ПОХНВ. В.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

$P_u$ - тиск при гідравлічному випробуванні, МПа (3.4):

$$P_u = \max \left\{ \frac{1,5 \cdot P_p \cdot [\sigma]_{20}}{[\sigma]_t}, 0,2 \right\},$$

де  $[\sigma]_{20}$  -допустиме напруження для матеріалу при  $t=20^\circ\text{C}$  (для сталі 12X18H10T  $[\sigma]_{20}=160$  МПа [6];

$[\sigma]_t$ -допустиме напруження для матеріалу при робочій температурі середовища (для сталі 12X18H10T при  $t=131^\circ\text{C}$   $[\sigma]_{131}=150$  МПа [6];

$$\text{тоді } P_u = \max \left\{ \frac{1,5 \cdot 0,16 \cdot 160}{150}, 0,2 \right\} = \max \left\{ 0,26, 0,2 \right\} = 0,26 \text{ МПа,}$$

$[\sigma]_u$  - допустиме напруження для матеріалу при випробуванні, МПа (2.5):

$$[\sigma]_u = \frac{\sigma_m^{20}}{n_m} = \frac{196}{1,1} = 178 \text{ МПа} \quad (3.23)$$

де  $\sigma_m^{20}$ - мінімальне значення границі текучості матеріалу при  $t=20^\circ\text{C}$  (для сталі 12X18H10T  $\sigma_m^{20}=196$  МПа [6, ст. 123];

$n_T$ - коеф. запасу міцності (при гідравлічних випробуваннях  $n_T=1,1$  [6]);

$C$  - конструктивний додаток, м (2.6):

$$C=C_1+C_2+C_3+C_0,$$

де  $C_1$ - додаток на корозію, м [12, ф. 120] (для матеріалів, стійких в заданому середовищі, при відсутності даних про корозійну проникливість приймається  $C_1=1$  мм=0,001 м;

$C_2$ - додаток на ерозію (не враховуємо);

$C_3$ - від'ємний додаток (для компенсації від ємного допуску), м [6]:  $C_3=-0,18$  мм=-0,00018 м;

$C_0$ - додаток на округлення до стандартного значення товщини стінки, м; тоді

$$C=0,001+(-0,00018)+C =0,00082+C ;$$

					ПОХНВ. В.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

$$S_p = \max \left\{ \frac{0,16 \cdot 2,0}{2 \cdot 150 \cdot 0,9 - 0,16}, \frac{0,26 \cdot 2,0}{2 \cdot 178 \cdot 0,9 - 0,26} \right\} = \max \{0,00059; 0,00081\} = 0,00081 \text{ м};$$

тоді

$$S_5 = 0,00081 + 0,00082 + C_0 = 0,0016 + C_0 = 0,0016 + 0,00078 = 0,0024 \text{ м} = 3 \text{ мм},$$

Приймаємо  $S_5 = 3 \text{ мм}$ .

### 3.2 Розрахунок фланцевого з'єднання

Проводимо по [6]

Фланець для кришки кип'ятильника діаметром  $d_2 = 1,6 \text{ м}$  з товщиною стінки циліндричної обичайки  $5 \text{ мм}$   $P_2 = 0,32 \text{ МПа}$ . Температура середовища в апараті  $t_2 = 122 \text{ °C}$ .

Згідно з табл. I [6] для заданих умов підходять фланець сталевий приварний з виступом або западиною за ГОСТ 12828-67.

Товщина циліндричної втулки фланця:

$$S_{02} = 1,35 \cdot S_2 = 1,35 \cdot 0,005 = 0,0068 \text{ м},$$

приймаємо  $S_{02} = 0,007 \text{ м}$ ;

де  $S_2 = 0,005 \text{ м}$  - товщина стінки обечайки.

Приймаємо діаметр болтів  $d_{62} = 20 \text{ [6]}$ .

Діаметр болтового кола:

$$D_{62} \geq D + 2 \geq (S_{02} + d_{62} + 0,006) = 1,6 + 2 \cdot (0,007 + 0,020 + 0,006) = 1,666 \text{ м}, \quad (3.33)$$

приймаємо  $D_{62} = 1690 \text{ мм}$ ;

де  $D_2 = d_2 = 1,6 \text{ м}$  - внутрішній діаметр фланцевого з'єднання.

Зовнішній діаметр фланця:

$$D_{\phi 2} = D_{62} + \alpha_2 = 1690 + 40 = 1730 \text{ мм}, \quad (3.34)$$

де  $\alpha_1 = 40 \text{ мм}$  - [6].

Зовнішній діаметр прокладки:

$$D_{\pi 2} = D_{62} - l_2 = 1690 - 30 = 1650 \text{ мм}, \quad (3.35)$$

де  $l_2 = 30 \text{ мм}$  - [6]

Середній діаметр прокладки :

$$D_{\text{сп}2} = D_{\pi 2} - \sqrt{v_2} = 1650 - 20 = 1630 \text{ мм}, \quad (3.36)$$

де  $v_2 = 25 \text{ мм}$  - ширина прокладки згідно табл. 2, [6].

					ПОХНВ. В.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Ефективна ширина прокладки [7] (для плоских прокладок при  $v > 0,015$  м):

$$b_{e2} = 0,06 \cdot \sqrt{\beta_2} = 0,06 \cdot \sqrt{0,025} = 0,0095 \text{ м.} \quad (3.37)$$

Згідно з табл. 3 [7] як матеріал прокладки приймаємо пароніт. Її розрахункові параметри:  $m_2 = 2,5$  мм;  $q_2 = 20$  МПа;  $[q]_2 = 130$  МПа;  $E_{n2} = 2000$  МПа.

Орієнтовна кількість болтів:

$$Z_{\phi 2} = \pi \cdot D_{\phi 2} / t_{\phi 2} = 3,14 \cdot 1,69 / (4,6 \cdot 0,02) = 57,7 \text{ шт,} \quad (3.38)$$

приймаємо  $Z_{\phi 2} = 60$  шт;

де  $t_{\phi 2} = 4,6 \cdot d_{\phi 2}$  - шаг болтів (по табл. 16[6]).

На підставі результатів розрахунку вибираємо стандартний фланець. Його параметри [7, таб. 48, 50]: зовнішній діаметр  $D_{\phi 2} = 1,73$  м; діаметр болтового кола  $D_{\phi 2} = 1,69$  м; зовнішній діаметр прокладки  $D_{n2} = 1,65$  мм; товщина диска фланця  $h_{\phi 2} = 0,055$  м. Кількість болтів  $Z_{\phi 2} = 60$  шт. Згідно з табл. 14 [6] вибираємо матеріал фланців - сталь 12Х18Н10Т за ГОСТ 7350-77 група А.

Матеріал для шпильок - сталь 45Х14Н14В2М таб. 15, [6].

Перевірочний розрахунок [6],

Розрахунок допоміжних величин.

Відношення більшої товщини втулки до меншої:  $\beta_2 = 1$ .

Середній діаметр прокладки:

$$D_{cp2} = D_{n2} - b_2 = 1,65 - 0,02 = 1,63 \text{ м.}$$

Ефективна ширина прокладки:

при  $v_2 > 0,015$  м

$$b_{e2} = 0,06 \cdot \sqrt{\beta_2} = 0,06 \cdot \sqrt{0,025} = 0,0095 \text{ м.}$$

Конструктивний коефіцієнт для фланців:

$$K_{\phi 2} = D_{\phi 2} / D_2 = 1,73 / 1,6 = 1,08.$$

Конструктивні коефіцієнт для фланців:

$$\lambda_{\phi 21} = h_{\phi 21} / \sqrt{D_2 \cdot S_{02}} = 0,055 / \sqrt{1,6 \cdot 0,007} = 0,52; \quad (3.39)$$

$$\lambda_{\phi 22} = h_{\phi 22} / \sqrt{D_2 \cdot S_{02}} = 0,053 / \sqrt{1,6 \cdot 0,007} = 0,5, \quad (3.40)$$

де  $h_{\phi 22} = h_{\phi 2} = 0,055$  м - товщина диска фланця;

$h_{\phi 22} = h_{\phi 2} - t_2 = 0,055 - 0,002 = 0,053$  м - товщина диска відповідного фланця,

де  $t_2 = 0,002$  м - товщина прокладки.

Поправкові коефіцієнти для фланців:

$$\Psi_{1\phi 2} = 1,28 \cdot \lg K_{\phi 2} = 1,28 \cdot \lg 1,08 = 0,043; \quad (3.41)$$

					ПОХНВ. В.00.00.00.ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Psi_{2\phi 2} = (K_{\phi 2} + 1) / (K_{\phi 2} - 1) = (1,08 + 1) / (1,08 - 1) = 26. \quad (3.42)$$

Поправковий коефіцієнт для перерізу  $S_{02}$  рис. 10, [ 6]:

$\Psi_{32} = 1$  - для плоских приварних фланців.

Геометричні параметри фланців:

$$j_{\phi 21} = h_{\phi 21} / S_{02} = 0,055 / 0,007 = 7,86; \quad (3.43)$$

$$j_{\phi 22} = h_{\phi 22} / S_{02} = 0,053 / 0,007 = 7,57. \quad (3.44)$$

Безрозмірний параметр фланців:

$$T_{\phi 2} = \frac{K_{\phi 2}^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg K_{\phi 2}) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot K_{\phi 2}^2) \cdot (K_{\phi 2} - 1)} = \frac{1,08^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg 1,08) - 1}{(1,05 + 1,945 + 1,08^2) \cdot (1,08 - 1)} = 1,88. \quad (3.45)$$

Безрозмірні параметри фланців:

$$\omega_{\phi 21} = [1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 21} \cdot (1 + \Psi_{1\phi 2} \cdot j_{\phi 21}^2)]^{-1} = \quad (3.46)$$

$$= [1 + 0,9 \cdot 0,52 \cdot (1 + 0,043 \cdot 7,86^2)]^{-1} = 0,37;$$

$$\omega_{\phi 22} = [1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 22} \cdot (1 + \Psi_{1\phi 2} \cdot j)]^{-1} = \quad (3.47)$$

$$= [1 + 0,9 \cdot 0,5 \cdot (1 + 0,043 \cdot 7,57^2)]^{-1} = 0,39.$$

Кутова піддатливість фланців:

$$y_{\phi 12} = \frac{[1 - \omega_{\phi 21} \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 21})] \cdot \Psi_{2\phi 2}}{h_{\phi 21}^3 \cdot E_{\phi 21}} = \quad (3.48)$$

$$= \frac{[1 - 0,37 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,52)] \cdot 26}{0,055^3 \cdot 1,99 \cdot 10^5} = 0,36 \text{ (МН} \cdot \text{м)}^{-1};$$

$$y_{\phi 22} = \frac{[1 - \omega_{\phi 22} \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 22})] \cdot \Psi_{2\phi 2}}{h_{\phi 22}^3 \cdot E_{\phi 22}} = \quad (3.49)$$

$$= \frac{[1 - 0,39 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,5)] \cdot 26}{0,053^3 \cdot 1,99 \cdot 10^5} = 0,38 \text{ (МН} \cdot \text{м)}^{-1};$$

де  $E_{\phi 21} = E_{\phi 22} = 1,99 \cdot 10^5$  МПа - модуль пружності матеріала фланців при  $t_{\phi 2} = 122$  °С.

Розрахункова довжина болтів фланцевого з'єднання:

$$L_{62} = h_{\phi 21} + h_{\phi 22} + h_2 + 0,28 \cdot d_{62} = \quad (3.50)$$

$$= 0,055 + 0,053 + 0,002 + 0,28 \cdot 0,020 = 0,116 \text{ м,}$$

де  $h_2 = 0,002$  м - товщина прокладки.

Лінійна піддатливість прокладки:

$$y_{п2} = h_2 / (\pi \cdot D_{сп2} \cdot v_2 \cdot E_{п2}) = \quad (3.52)$$

$$= 0,002 / (3,14 \cdot 1,63 \cdot 0,02 \cdot 200) = 9,77 \cdot 10^{-5} \text{ м/МН.}$$

Площа поперечного перерізу болта:

					ПОХНВ. В.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41



$$f_{62}=0,785 \cdot d_{02}^2 = 0,785 \cdot (17,3 \cdot 10^{-3})^2 = 2,35 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2, \quad (3.53)$$

де  $d_{02} = 17,3 \cdot 10^{-3}$  м - внутрішній діаметр болта.

Лінійна піддатливість болтів:

$$y_{62} = L_{62} / (E_{62} \cdot f_{62} \cdot Z_{62}) = 0,116 / (2 \cdot 10^5 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 60) = 4 \cdot 10^{-5} \text{ м/МН}, \quad (3.54)$$

де  $E_{62} = 2 \cdot 10^5$  МПа - модуль пружності матеріала шпильок при  $t_{62} = 0,97 \cdot t_{\phi 2} = 0,97 \cdot 122 = 118$  °С.

Параметр жорсткості фланцевого з'єднання:

$$A_{\phi 2} = [y_{\phi 12} + y_{\phi 22} + 0,25 \cdot (y_{\phi 12} + y_{\phi 22}) \cdot (D_{62} - D_{\text{сп}2})^2]^{-1} = [9,77 \cdot 10^{-5} + 4 \cdot 10^{-5} + 0,25 \cdot (0,36 + 0,38) \cdot (1,69 - 1,63)^2]^{-1} = 1244 \text{ МН/м}. \quad (3.55)$$

Параметри жорсткості фланців:

$$B_{\phi 12} = y_{\phi 12} \cdot (D_{62} - D_2 - S_{02}) = 0,36 \cdot (1,69 - 1,6 - 0,007) = 29,8 \cdot 10^{-3} \text{ МН}^{-1}; \quad (3.56)$$

$$B_{\phi 22} = y_{\phi 22} \cdot (D_{62} - D_2 - S_{02}) = 0,38 \cdot (1,69 - 1,6 - 0,007) = 31,5 \cdot 10^{-3} \text{ МН}^{-1}; \quad (3.57)$$

Безрозмірний коефіцієнт фланцевого з'єднання:

$$\gamma_2 = A_{\phi 2} \cdot y_{62} = 1244 \cdot 4 \cdot 10^{-5} = 0,05.$$

Безрозмірний коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання:

$$\alpha_{\phi 2} = A_{\phi 2} \cdot [y_{62} + 0,25 \cdot (B_{\phi 12} + B_{\phi 22}) \cdot (D_{62} - D_{\text{сп}2})] = 1244 \cdot [4 \cdot 10^{-5} + 0,25 \cdot (29,8 \cdot 10^{-3} + 31,5 \cdot 10^{-3}) \cdot (1,69 - 1,63)] = 1,2. \quad (3.58)$$

Розрахунок болтів фланцевого з'єднання.

Рівнодіюча внутрішнього тиску:

$$Q = 0,785 \cdot D_{\text{сп}2}^2 \cdot P_2 = 0,785 \cdot 1,63^2 \cdot 0,32 = 0,67 \text{ МН}. \quad (3.59)$$

Реакція прокладки в робочих умовах:

$$R_{\text{п}2} = 2 \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}2} \cdot v_{e2} \cdot T_2 \cdot P_2 = 2 \cdot 3,14 \cdot 1,63 \cdot 0,0095 \cdot 2,5 \cdot 0,32 = 0,078 \text{ МН}. \quad (3.60)$$

Зусилля, що виникає від температурної деформації фланцевого з'єднання  $Q_{\text{т}\phi 2}$ :

$$\gamma_2 \cdot Z_{62} \cdot f_{62} \cdot E_{62} \cdot (\alpha^{\text{т}}_{\phi 2} \cdot t_{\phi 2} - \alpha^{\text{т}}_{62} \cdot t_{62}) = 0,05 \cdot 60 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot (1,7 \cdot 10^{-5} \cdot 122 - 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot 118) = 9,6 \cdot 10^{-3} > 0, \text{ тоді } Q_{\text{т}\phi 2} = 9,6 \cdot 10^{-3}$$

$$\text{де } \alpha^{\text{т}}_{\phi 2} = (\alpha^{\text{т}}_{\phi 21} + \alpha^{\text{т}}_{\phi 22}) / 2 = (1,7 \cdot 10^{-5} + 1,7 \cdot 10^{-5}) / 2 = 1,7 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}, \quad (3.61)$$

де  $\alpha^{\text{т}}_{\phi 21} = \alpha^{\text{т}}_{\phi 22} = 1,7 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  - по табл. 4 [к. 13]

Монтажне болтове навантаження фланцевого з'єднання зарізних умов розрахунку:

$$P'_{621} = \pi \cdot D_{\text{сп}2} \cdot v_{e2} \cdot q_2 = 3,14 \cdot 1,63 \cdot 0,0095 \cdot 20 = 0,972 \text{ МПа}; \quad (3.62)$$

					ПОХНВ. В.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

$$P''_{621} = \alpha_{\phi 2} \cdot (Q_{d2} + P_2) + R_{n2} + \frac{4 \cdot M_2}{D_{cn2}} = 1,2 \cdot (0,67 + 0,32) + 0,078 + 0 = 1,266 \text{ МПа}; \quad (3.63)$$

де  $\frac{4 \cdot M_1}{D_{cn1}}$  - загальне додаткове навантаження на болти фланцевого з'єднання (приймаємо рівним нулю).

$$P'''_{621} = 0,4 \cdot [\sigma_{62}]^{20} \cdot Z_{61} \cdot f_{61} = 0,4 \cdot 160 \cdot 20 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} = 0,3 \text{ МПа}, \quad (3.64)$$

де  $[\sigma_{62}] = 160 \text{ МПа}$  - допустиме навантаження для матеріалу шпильок при  $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  (таб. 7, к. 13).

Розрахункове навантаження (при  $P_2 \leq 0,6 \text{ МПа}$ ):

$$P_{62} = \max \{ P'_{621}; P''_{621}; P'''_{621} \} = \max \{ 0,972; 1,266; 0,3 \} = 1,266 \text{ МПа}.$$

Умова міцності прокладки :

$$P_{621} / (\pi \cdot D_{cn2} \cdot b_2) \leq [q]_2; \quad (3.65)$$

$$1,226 / (3,14 \cdot 1,63 \cdot 0,025) = 10 < 130 \text{ МПа} - \text{ умова міцності виконується.}$$

Болтове навантаження за робочих умов:

$$P_{622} = P_{621} + (1 - \alpha_{\phi 2}) \cdot (Q_{d2} \pm P_2) + Q_{t\phi 2} + \frac{4 \cdot M_2}{D_{cn2}} =$$

$$= 1,226 + (1 - 1,2) \cdot (0,67 + 0,32) + 9,6 \cdot 10^{-3} + 0 = 1,04 \text{ МПа}. \quad (3.66)$$

Так як  $Q_{t\phi 2} > 0$  то перевірку на додаткову умову:

$$[\sigma_{62}]^t \cdot Z_{62} \cdot f_{62} - \gamma_2 \cdot Z_{62} \cdot f_{62} \cdot E_{62} \cdot (\alpha_{62}^t \cdot t_{\phi 2} - \alpha_{62}^t \cdot t_{62}) > P_{622}$$

не проводимо.

Розрахункове навантаження проводимо на болти:

$$P_{6\phi 2} = \max \{ P_{621}; P_{622} \} = \max \{ 1,226; 1,04 \} = 1,226 \text{ МПа}.$$

Напруження розтягування в болтах за умов монтажу:

$$\sigma_{62}^{20} = \frac{P_{621}}{Z_{62} \cdot f_{62}} = \frac{1,226}{60 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4}} = 87 \text{ МПа}. \quad (3.67)$$

Напруження розтягування в болтах за робочих умов:

$$\sigma_{62}^t = \frac{P_{622}}{Z_{62} \cdot f_{62}} = \frac{1,04}{60 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4}} = 74 \text{ МПа}. \quad (3.68)$$

Скручуючий момент, що виникає від розтягування гайок:

$$M_{скр2} = f_{21} \cdot \frac{P_{6\phi 2}}{Z_{62}} \cdot d_{62} = 0,1 \cdot \frac{1,226}{60} \cdot 0,02 = 4,1 \cdot 10^{-5} \text{ МН} \cdot \text{м}, \quad (3.69)$$

де  $f_{21} = 0,1$  - коефіцієнт тертя.

Дотичне напруження в болтах:

					ПОХНВ. В.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

$$\tau_{62} \frac{M_{\text{кр}2}}{0,2 \cdot d_{02}^3} = \frac{4,1 \cdot 10^{-5}}{0,2 \cdot 0,017^3} = 41,7 \text{ МПа}, \quad (3.70)$$

Еквівалентні напруження в болтах:

$$\sigma_{6e2}^{20} = \sqrt{(\sigma_{62}^{20})^2 + 3 \cdot \tau_{62}^2} = \sqrt{87^2 + 3 \cdot 41,7^2} = 113 \text{ МПа}; \quad (3.71)$$

$$\sigma_{6e2}^t = \sqrt{(\sigma_{62}^t)^2 + 3 \cdot \tau_{62}^2} = \sqrt{74^2 + 3 \cdot 41,7^2} = 103 \text{ МПа}. \quad (3.72)$$

Умови міцності болтів:

$$\sigma_{6e2}^{20} \leq [\sigma_{62}]^{20}: 113 < 160;$$

$$\sigma_{6e2}^t \leq [\sigma_{62}]^t: 103 < 147 - \text{умова виконується};$$

де  $[\sigma_{62}]^t = 147 \text{ МПа}$  - допустиме напруження для матеріалу шпильок при  $t = 118 \text{ }^\circ\text{C}$  (к. 13, таб. 10).

Розрахунковий згинаючий момент у діаметральному перерізі фланця:

$$M_{01\phi2} = 0,5 \cdot P_{621} \cdot (D_{62} - D_{\text{сп}2}) = 0,5 \cdot 1,226 \cdot (1,69 - 1,63) = 0,037 \text{ МПа}; \quad (3.73)$$

$$M_{02\phi2} = 0,5 \cdot [P_{622} \cdot (D_{62} - D_{\text{сп}2}) + Q_{\text{д}2} \cdot (D_{\text{сп}2} - D_2 - S_{02})] \cdot \frac{[\sigma_{\phi2}]^{20}}{[\sigma_{\phi2}]^t} =$$

$$= 0,5 \cdot [1,04 \cdot (1,69 - 1,63) + 0,67 \cdot (1,63 - 1,6 - 0,007)] \cdot \frac{110}{103} = 0,042 \text{ МПа}; \quad (3.74)$$

$$\text{де } \frac{[\sigma_{\phi2}]^{20}}{[\sigma_{\phi2}]^t} = \max \left\{ \frac{[\sigma_{\phi12}]^{20}}{[\sigma_{\phi12}]^t}; \frac{[\sigma_{\phi22}]^{20}}{[\sigma_{\phi22}]^t} \right\} = \frac{110}{103};$$

де  $[\sigma_{\phi12}]^{20} = [\sigma_{\phi22}]^{20} = 110 \text{ МПа}$  - допустиме напруження для матеріалу фланців при  $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

$[\sigma_{\phi12}]^t = [\sigma_{\phi22}]^t = 103 \text{ МПа}$  - допустиме напруження для матеріалу фланців при  $t = 122 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Розрахунковий згинаючий момент у діаметральному перерізі фланця:

$$M_{\text{оф}2} = \max \{ M_{01\phi2}; M_{02\phi2} \} = \max \{ 0,037; 0,042 \} = 0,042 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

Максимальні напруження в перерізі  $S_0$  фланців від дії вигинаючого моменту  $M_{\text{оф}2}$ :

$$\sigma_{\text{оф}12} = \psi_{32} \cdot \frac{T_{\phi2} \cdot M_{\text{оф}2} \cdot \omega_{\phi21}}{D_2' \cdot (S_{02} - c_2)^2} = 1 \cdot \frac{1,88 \cdot 0,037 \cdot 0,42}{1,6 \cdot (0,007 - 0,001)^2} = 507 \text{ МПа}; \quad (3.75)$$

$$\sigma_{\text{оф}22} = \psi_{32} \cdot \frac{T_{\phi2} \cdot M_{\text{оф}2} \cdot \omega_{\phi22}}{D_2' \cdot (S_{02} - c_2)^2} = 1 \cdot \frac{1,88 \cdot 0,016 \cdot 0,42}{1,6 \cdot (0,007 - 0,001)^2} = 535 \text{ МПа}; \quad (3.76)$$

де при  $D_2 = 1,6 > 20 \cdot S_{02} = 20 \cdot 0,007 = 0,14 \text{ м}$ :

$$D_1' = D_1 = 1,6 \text{ м}.$$

					ПОХНВ. В.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Максимальні кільцеві напруження в дисках фланців від дії згинаючого моменту  $M_{\phi 2}$ :

$$\begin{aligned}\sigma_{\kappa\phi 21} &= \frac{M_{\phi 2} \cdot [1 - \omega_{\phi 21} \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 21})] \cdot \psi_{2\phi 2}}{D_1 \cdot h_{\phi 21}^2} = \\ &= \frac{0,042 \cdot [1 - 0,37 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,52)] \cdot 26}{1,6 \cdot 0,055^2} = 103 \text{ МПа}\end{aligned}\quad (3.77)$$

$$\begin{aligned}\sigma_{\kappa\phi 22} &= \frac{M_{\phi 2} \cdot [1 - \omega_{\phi 22} \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 22})] \cdot \psi_{2\phi 2}}{D_2 \cdot h_{\phi 22}^2} = \\ &= \frac{0,42 \cdot [1 - 0,39 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,5)] \cdot 26}{1,6 \cdot 0,053^2} = 106 \text{ МПа.}\end{aligned}\quad (3.78)$$

Кільцеве та меридіальне напруження у циліндричній втулці фланця від дії внутрішнього тиску  $P_2$ :

$$\sigma_{x\phi 12} = \sigma_{x\phi 22} = \frac{P_2 \cdot D_2}{2 \cdot (S_{02} - c_2)} = \frac{0,32 \cdot 1,6}{4 \cdot (0,007 - 0,001)} = 43 \text{ МПа};\quad (3.79)$$

$$\sigma_{y\phi 12} = \sigma_{y\phi 22} = \frac{P_2 \cdot D_2}{4 \cdot (S_{02} - c_2)} = \frac{0,32 \cdot 1,6}{4 \cdot (0,007 - 0,001)} = 21,5 \text{ МПа};\quad (3.80)$$

Еквівалентні напруження в перерізі циліндричної втулки фланців (3.93-3.94):

$$\begin{aligned}\sigma_{\epsilon\phi 12} &= \sqrt{(\sigma_{o\phi 12} + \sigma_{y\phi 12})^2 + \sigma_{x\phi 12}^2 - (\sigma_{o\phi 12} + \sigma_{y\phi 12}) \cdot \sigma_{x\phi 12}} = \\ &= \sqrt{(507 + 21,5)^2 + 43^2 - (507 + 21,5) \cdot 43} = 508 \text{ МПа.}\end{aligned}\quad (3.82)$$

$$\begin{aligned}\sigma_{\epsilon\phi 22} &= \sqrt{(\sigma_{o\phi 22} + \sigma_{y\phi 22})^2 + \sigma_{x\phi 22}^2 - (\sigma_{o\phi 22} + \sigma_{y\phi 22}) \cdot \sigma_{x\phi 22}} = \\ &= \sqrt{(535 + 21,5)^2 + 43^2 - (535 + 21,5) \cdot 43} = 536 \text{ МПа.}\end{aligned}\quad (3.83)$$

Умова міцності:

$$\sigma_{\epsilon\phi 12} \leq [\sigma_{\phi 12}^{S02}] \cdot \varphi_2 : 508 \leq 597 \cdot 0,9 = 537 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{\epsilon\phi 22} \leq [\sigma_{\phi 22}^{S02}] \cdot \varphi_2 : 536 \leq 597 \cdot 0,9 = 537 \text{ МПа} -$$

умова виконується;

де  $[\sigma_{\phi 12}^{S02}] = [\sigma_{\phi 22}^{S02}] = 0,003 \cdot E'_{\phi 21} = 0,003 \cdot E'_{\phi 22} = 0,003 \cdot 1,99 \cdot 10^5 = 597 \text{ МПа}$  - допустиме напруження матеріалу фланця у перерізім  $S_{02}$ .

Умови герметичності (при  $D_2 \leq 2 \text{ м}$   $[\Theta] = 0,013 \text{ рад}$ ):

$$\sigma_{\kappa\phi 21} \cdot D_2 / (E^t_{\phi 21} \cdot h_{\phi 21}) \leq [\Theta];\quad (3.84)$$

$$91 \cdot 1,6 / (1,9 \cdot 10^5 \cdot 0,52) = 0,00015 \leq 0,013 \text{ рад};$$

$$\sigma_{\kappa\phi 22} \cdot D_2 / (E^t_{\phi 22} \cdot h_{\phi 22}) \leq [\Theta];\quad (3.85)$$

					ПОХНВ. В.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

$\epsilon 93 \cdot 1,6 / (1,9 \cdot 10^5 \cdot 0,5) = 0,00016 \leq 0,013$  рад; - умова виконується.

### 3.3 Розрахунок опори апарата[7]

Для підвішування апаратів між перекриттями використовують лапи [7]  
Розрахунок опор апаратів зводиться до визначення товщини ребер опорних лап [7]

$$\delta = \frac{2,24 \cdot G}{k \cdot n \cdot z \cdot l \cdot \sigma_{с.д.}} + c_k, \quad (3.86)$$

де  $G$  - максимальна вага апарата, МН (зазвичай буває під час випробовувань, коли апарат заповнений водою);

$n$  - кількість лап, шт. (не менше 2-х);

$z$  - число ребер в одній лапі, шт. (не менше 2-х);

$\sigma_{с.д.}$  - допустимі напруження на стискання (можна прийняти  $\sigma_{с.д.} = 100$  НМ/м<sup>2</sup>);

$l$  - вибір опори, м;

$k$  - коефіцієнт, приймаємо  $k = 0,6$ ;

$c_k = 0,001$  м - допуск.

Розрахунок товщини ребер опорних лап кип'ятильника:

$$\delta_1 = \frac{2,24 \cdot G_1}{k \cdot n_1 \cdot z_1 \cdot l_1 \cdot \sigma_{сд}} + c_k, \quad (3.87)$$

де  $n_1 = 2$  шт.;

$z_1 = 2$  шт.;

$l_1 = 0,2$  м, тоді висота лапи  $h_1 = \frac{l_1}{0,5} = \frac{0,2}{0,5} = 0,4$  м;

$G_1$  - максимальна вага кип'ятильника, МН

$$G_1 = G_{1 п.а} + G_{1в}, \quad (3.88)$$

де  $G_{1 п.а}$  - вага пустого апарата, МН:

$$G_{1 п.а} = G_{ц} + 2 \cdot G_{кр} + 2 \cdot G_{г.р} + G_{г} + G_{дод}, \quad (3.89)$$

де  $G_{ц}$  - вага циліндричної частини апарата, МН:

$$\begin{aligned} G_{ц} &= V_{ц} \cdot \rho_{ц} = h_{ц} \cdot F_{ц} \cdot \rho_{ц} = h_{ц} \cdot \frac{3,14 \cdot (D_n^2 + D_6^2)}{4} \cdot \rho_{ц} = \\ &= 4,84 \cdot \frac{3,14 \cdot (1,41^2 - 1,4^2)}{4} \cdot 7850 = 838 \text{ кг} = 0,008 \text{ МН}, \end{aligned} \quad (3.90)$$

де  $\rho_{ц} = 7850$  кг/м<sup>3</sup> - густина сталі;

					ПОХНВ. В.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

$h_{ц}=4,48$  м - висота циліндричної частини кипятильника;

$D_{н}=1,41$  м,  $D_{в}=1,4$  м - зовнішній та внутрішній діаметри апарату;

$G_{кр}$  - вага сферичної кришки ( $R_{1сф}=1,750$  м) МН:

$$G_{кр}=V_{к} \cdot \rho_{м} = \frac{3,14 \cdot D_{ек}^2}{4} \cdot \delta \cdot \rho_{м} = \frac{3,14 \cdot 1,46^2}{4} \cdot 0,005 \cdot 7850 = 67 \text{ кг} = 0,0007 \text{ МН}, \quad (3.91)$$

де  $D_{ек}$  - еквівалентний діаметр, м:

$$D_{ек}=b_1=0,131 \cdot l_1 = 0,131 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot R_{1сф} = 0,133 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 1,75 = 1,46 \text{ м}, \quad (3.92)$$

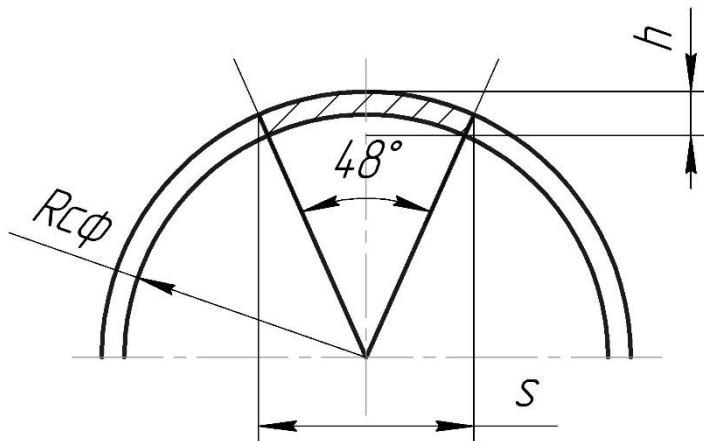


Рис. 3.3 Сферична кришка кип'ятельника

де  $\alpha/360=48/360=0,133$  - частина кола, яку займає сфера;

$\delta=0,005$  м - товщина стінки кришки;

$G_{т.р}$  - вага трубної ґратки, МН:

$$G_{т.р}=V_{т.р} \cdot \rho_{м} = F_{т.р} \cdot \delta_{т.р} \cdot \rho_{м} = \left( \frac{3,14 \cdot D_6^2}{4} - \frac{3,14 \cdot d_n^2}{4} \cdot n \right) \cdot \delta_{т.р} \cdot \rho_{м} =$$

$$= \frac{3,14}{4} \cdot (D_6^2 - n \cdot d_n^2) \cdot \delta_{т.р} \cdot \rho_{м} = \frac{3,14}{4} \cdot (1,6^2 - 192 \cdot 0,057^2) \cdot 0,012 \cdot 7850 = 99 \text{ кг} = 0,00099 \text{ МН}, \quad (3.31)$$

де  $\delta_{т.р}=0,012$  м - товщина трубної ґратки;

$D_{в}=1,6$  м - внутрішній діаметр апарату;

$d_{н}=0,057$  м - зовнішній діаметр труб кипятильника;

$n=192$  шт. - кількість труб в трубній ґратці.

$G_{т}$  - вага труб, МН:

$$G_{т}=n \cdot V_{т} \cdot \rho_{м} = n \cdot \frac{3,14}{4} \cdot (d_{н}^2 - d_{в}^2) \cdot h_{т} \cdot \rho_{м} =$$

$$= 192 \cdot \frac{3,14}{4} \cdot (0,057^2 - 0,052^2) \cdot 4 \cdot 7850 = 2579 \text{ кг} = 0,02 \text{ МН}, \quad (3.93)$$

									Арк.
									47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ПОХНВ. В.00.00.00.ПЗ				

де  $d_B=0,052$  м - внутрішній діаметр труб кипятильника.

$G_{\text{доп}}=571$  кг=0,0057 МН-вага не врахованих елементів апарата (патруки, фланці, т.д);

тоді  $G_{\text{п.а}}=0,0084+2\cdot 0,0007+2\cdot 0,001+0,026+0,0057=0,0435$  МН.

$G_{1B}$  - вага води, яка може заповнити трубний об'єм кип'ятильника, МН:

$$G_{1B}=V_{\text{ап}}\cdot\rho_B=(2\cdot 0,3\cdot\frac{3,14}{4}\cdot D_B^2+h_0\cdot 192\cdot\frac{3,14}{4}\cdot d_B^2)\rho_B=$$
$$=\frac{3,14}{4}\cdot(2\cdot 0,3\cdot 1,4^2+4\cdot 192\cdot 0,052^2)\cdot 1000=2553\text{ кг}=0,026\text{ МН},$$

тоді  $G_1=0,0435+0,026=0,0696$  МН $\approx 7000$  кг,

$$\text{тоді } \delta_1 = \frac{2,24\cdot 0,0696}{0,6\cdot 2\cdot 2\cdot 0,2\cdot 100} + 0,001 = 0,0042\text{ м},$$

$$\frac{l}{\delta} = \frac{0,2}{0,0042} = 47,62\text{ по графіку IV.5[7]}$$

Перевіряємо коефіцієнт  $k$ , він приймає значення  $k'=0,05 < k=0,6$ .

Робимо перерахунок, прийнявши  $k=0,24$ .

$$\delta_1 = 24\frac{2,24\cdot 0,0696}{0,24\cdot 2\cdot 2\cdot 0,2\cdot 100} + 0,001 = 0,0026\text{ м}$$

Приймаємо товщину ребер опорних лап 40мм.

					ПОХНВ. В.00.00.00.ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 4 МОНТАЖ ТА РЕМОНТ ОБЛАДНАННЯ

### 4.1 Монтаж розробленого апарата[8]

Для розміщення технологічного устаткування використовується двоповерхова комбінована будівля із сіткою колон на першому поверсі 12x18; на другому поверсі - 12x36. Така розбивка продиктована тим, що на міжповерховому перекритті розташовується великогабаритне, важке встаткування. А саме на другому поверсі розташовуються 4 випарні апарати й - підігрівник дифузійного соку

Необхідність розміщення на другому поверсі випарних апаратів продиктована необхідністю відбору готового продукту в нижній частині тому що організація технологічного процесу - вертикальна. На першому поверсі розташовується ємності для вихідної сировини - 2шт; для упареного продукту; для збору конденсату.

Для обслуговування й установки ємнісного встаткування застосовуються додаткові метало зварені конструкції (майданчик, сходи), і бетонні фундаменти, завдяки яким можливо надійно закріпити апарати, забезпечити їхнє розміщення на необхідних висотах, забезпечити їхню зручну експлуатацію й ремонт.

Для зручності обслуговування випарних апаратів і підігрівника сировини на другому поверсі передбачені обслуговуючі конструкції (майданчика для обслуговування, сходи), виконані з металу виді самостійних конструкцій. Для обслуговування апаратів передбачені похилі технологічні сходи. Майданчика й сходів виготовляють із рифленого матеріалу або витяжного протяжливого аркуша не менш 5 мм. Висота огорожень відповідає вимогам безпеки й становить 0,8 м.;

Апарати скомпоновані паралельними й перпендикулярними рядами, при розміщенні встаткування в плані враховані регламентовані значення проходів "у світлі" (не менш 1м).

#### Трасування трубопроводів

Обв'язка основними й допоміжними трубопроводами проведена з урахуванням необхідності забезпечення мінімального гідравлічного опору, зручності й безпечної експлуатації, усі трубопроводи прокладені паралельно будівельним осям, що надає всій системі більш організований вид;

Навантаження від сили ваги трубопроводів колонного встаткування не передається на конструкцію посудини, на всіх обв'язувальних трубопроводах

					ПОХНВ. В.00.00.00.ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



апарати, що з'єднують теплообмінні й інші, по яких рухаються теплоносії, передбачена можливість самокомпенсації температурних напруг; технологічно трубопроводи виконані як надземними так і підземними з урахуванням необхідності частого обслуговування.

Зовнішні трубопроводи монтують укрупненими блоками або секціями. Монтаж міжцехових трубопроводів окремими трубами допускається тільки в тих випадках, коли через стиснуті умови прокладка секціями стає неможливою.

По виду укрупнення блоки можуть бути з будівельних конструкцій, трубопровідні й комбіновані.

До складу трубопровідних блоків можуть входити: прямі ділянки трубопроводів, що полягають із однієї або декількох секцій (у межах температурного блоку); супутники; П-Образні, лінзові або чепцеві компенсатори; теплоізоляція. Монтаж випарних апаратів роблять відповідно до установочних креслень в наступному порядку:

- 1) розмічають місце установки апарата;
- 2) роблять складання металевого каркаса під апарат;
- 3) встановлюють апарат на каркасі й вивіряють його положення;
- 4) виготовляють обслуговуючий майданчик;
- 5) приєднують до апарата трубопроводи і контрольно-вимірюючі прилади;
- б) випробовують апарат на герметичність.

Особливістю складання випарних апаратів є велика кількість металевих конструкцій, безпосередньо пов'язаних з апаратом, що монтується.

Тому що трубчасті випарні апарати мають звичайно більшу висоту, то для зручності обслуговування близько них на необхідній висоті встановлюють площадку для апаратника.

Технологічний процес складання металевого каркаса під апарат зводиться до установки стійок, перевірки їх вертикальності й до скріплення їх між собою. Вертикальність стійок перевіряється відвісом, а взаємне розташування їх у плані контролюється струнами. Скріплення стійок здійснюють у два приймання. Спочатку стики попi-річкових зв'язків прихоплюють зварюванням короткими швами, а після вивірки каркасу стики остаточно зварюють.

					ПОХНВ. В.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Після установки й вивірки каркаса роблять підливу башмаків стійок рідким цементним розчином. Після вистойки підливи приступають до установки апарата на каркас. У якості вантажопідйомних механізмів застосовують талі або лебідки. Після установки апарата на каркас перевіряють на вертикальність його основної осі.

Площадку для обслуговування апарата часто виготовляють і монтують по місці. Відстань від підлоги до площадки не повинно бути менше 1,9 м, що дозволяє встановити під нею допоміжні обладнання. Після монтажу площадки до апарата приєднують трубопроводи і встановлюють вакуум-насос. При монтажі випарних апаратів так розташовують трубопроводи, щоб вони не заважали обслуговуванню апарата, щоб легко можна було здійснювати чищення, ремонт і спостереження за їхнім станом.

Надійна робота станції можлива лише при надійнім розрідженні в хвостових корпусах, тому необхідно забезпечити повну герметизацію системи.

Для ведення будівництва й монтажу потрібно наступна тех-нічна документація:

компонувальні креслення в масштабі 1:100 зі специфікацією технологічного й допоміжного устаткування;

проект монтажу встаткування в масштабі 1:50;

кошторису на виробництво монтажних робіт.

Проект організації монтажного майданчика повинен охоплювати наступні питання:

взаємозв'язок робіт з оснащення монтажного майданчика з планом виробництва будівельних робіт;

організацію складського господарства й транспортування про-рудования до приміщень, де проводиться монтаж;

організацію подачі встаткування на оцінку монтажу;

організацію тимчасових майстерень по монтажу. Одним з істотних факторів швидкісних методів монтажу є механізація монтажних робіт.

Обладнання з місця його зберігання (розвантаження) до місця його монтажу транспортується за допомогою автотранспорту (автокрана і вантажного автомобіля, лебідки).

					ПОХНВ. В.00.00.00.ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Монтаж обладнання проводиться в повній відповідності до монтажних креслень. При встановленні кожної одиниці обладнання, вказаної на монтажному кресленні, повинні виконуватися всі технічні вимоги, вказані на складальних кресленнях кожної одиниці обладнання.

Монтаж обладнання виконуємо в наступному порядку:

- 1) розмічаємо місця встановлення апаратів;
  - 2) в міжповерхових перекриттях на місцях встановлення апаратів робимо монтажні пройоми, через які за допомогою лебідки та блочків підіймаємо корпуси апаратів на необхідну висоту і закріплюємо їх болтами, сумістивши отвори опорних лап та рами, при цьому перевіряємо за допомогою підвіса вертикальність його основної вісі; до монтажних проїмів апарати транспортуємо автотранспортом або за допомогою лебідки та блочків тягнучи апарат на металевому листі по підлозі;
  - 3) збірник барди, який встановлюється на 3-му поверсі виготовляється із листової сталі безпосередньо на площадці монтажу;
  - 4) збірники конденсату та збірник барометричної води монтується на фундаменті на першому поверсі;
  - 5) встановлюємо насоси для на відповідні фундаменти. Правильність установки насосів перевіряємо по рівню;
  - 6) вузли трубопроводів (продуктопроводів, паро- та конденсатопроводів, водопроводів) монтуємо в відповідності з робочими кресленнями (трубопроводи повинні розміщуватися так, щоб не мішати обслуговуванню апаратів і щоб легко можна було виконувати очищення, ремонт та нагляд за їх станом). При монтажі апаратів, трубопроводів та насосів особливо уважно виконуємо з'єднання, які забезпечують герметичність установки (фланці, місця зварювання, вентилі, засувки, оглядові вікна і т.д.).
- По закінченні монтажу апаратів проводять випробування їх на герметичність.
- 7) після проведення обв'язки обладнання проводиться установка контрольно-вимірних приладів, а також прокладання кабельних ліній.

## 4.2 Ремонт апарата[8]

Для забезпечення планування і реалізації технічного обслуговування та ремонту в визначені терміни в необхідній послідовності при визначених об'ємах

					ПОХНВ. В.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

на підприємстві повинна бути впроваджена система технічного обслуговування і ремонту.

Система технічного обслуговування і ремонту - це комплекс організаційно-технічних заходів по веденню документації, технічному обслуговуванню та ремонту обладнання, забезпечення необхідних заходів персоналом та відповідними матеріально-технічними засобами.

Система ТО і Р включає два види робіт: міжремонтне технічне обслуговування, проведення в визначені терміни планових ремонтних робіт.

В основному випарну установку зупиняють для ремонту при слідуючих основних несправностях: забруднення поверхностей теплообміну кип'ятильників та появі пропусків рідини чи пари.

Ремонт установки заключається в очищенні поверхні нагріву кип'ятильників від накипу та інших забруднень, ремонту поверхонь нагріву; скруток та інших місць з'єднань, усунення дефектів в трубопроводах.

Крім вказаних операцій проводять ремонт запірних органів, ізоляції та насосів.

При очищенні поверхні нагріву вилучають відкладені на стінках апарату (трубках) мінеральні та органічні речовини, які є в складі продукту що нагрівається.

Для ремонту трубчатки кип'ятильника застосовують слідуючі види очищення від накипу: хімічне, термічне, гідравлічне, механічне. Найбільш поширена механічна та хімічна очистка сталевих труб. Механічна очистка проводиться за допомогою шарошок, які приводяться в обертальний рух від електродвигуна через гнбкий вал, або гідротурбінки. Очищення труб проводять зверху вниз і під час чищення в трубу подається вода для зливу накипу і охолодження шарошок. Кожну трубу "проходять" шарошками зверху вниз і назад, якщо при цьому шар накипу знятий не повністю, операцію повторюють.

При хімічному очищенні апаратів (промивання станції випарювання барди лугом), останні промиваються розчином луги, підігрітим до температури 100 °С. Після цього установка прокачується водою, а ппім розчином барди.

Очищення поверхні нагріву (механічна) повинна закінчуватися перевіркою якості виконаної роботи. Для цього уважно оглядають очищені поверхні, освітлюючи їх низьковольтною електролампю або іншим джерелом світла.

Ремонт поверхні нагріву кип'ятильника складається з слідуючих операцій: 1) огляду поверхні нагріву; 2) вилученню труб, що підлягають заміні (їх заглушуванню пробками, якщо їх кількість не перевищує 10 % загальної їх

					ПОХНВ. В.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

кількості); 3) підготовці нових труб і трубної ґратки; 4) встановленні трубок і розвальцовки; 5) випробування.

Огляд поверхні нагріву проводять після очищення апарату від накипу під час гідравлічного випробування.

Під час опресування апаратів, якщо деякі трубки дають тічь до досягнення пробного тиску ( $P = 1,5P_{0,2}$  МН/м<sup>2</sup>), їх заглушують дерев'яними пробками і продовжують випробування. При опресуванні апарата проводять уважний огляд трубної ґратки, на якій можуть бути виявлені тріщини, раковини та інші дефекти.

Після гідравлічного випробування та спуску води з апарата для більш повної картини про стан поверхні нагріву необхідно вийняти із апарата декілька трубок із діаметрально протилежних місць і уважно їх оглянути. Видалені трубки оглядають, фіксують місцезнаходження корозійних і ерозійних поверхонь, проводиться визначення товщини металу в найбільш вражених місцях. Після огляду зношені трубки замінюються новими.

Ремонт трубчатих ґраток зводиться для усунення тріщин електрозваркою й підготовці отворів в ґратці (видалення бруду і мастила; промиванні, зачистці й обдуву стисненим повітрям; при необхідності усунення конусності і еліптичності проводиться розверчування). Перед встановленням труб отвір повинен мати чисту і яскраву поверхню.

Підготовка труб до встановлення заключається в відрізанні необхідної їх довжини, зачищенні їх кінців, яка проводиться безпосередньо перед встановленням.

Вальцювання розділяється на дві операції: встановлення і прихватку труб, а потім кінцеве розвальцювання.

Вальцювання труб виконується як найшвидше після зачистки отворів та кінців труб. При цьому особливу увагу звертають на якість вальцовочного з'єднання. Якщо при гідравлічному випробуванні труба потекла, то підвальцовувати її більше 2-3 разів неприпустимо.

При експлуатації трубопроводів зустрічаються в основному 2-а види несправностей: 1) порушення герметичності, в результаті чого проходить утічка рідини (пари); 2) пошкодження окремих деталей трубопроводу, фланців, муфт, шпильок та гайок.

Герметичність частіше всього порушується в місцях з'єднання труб, в кранах і т.п. В деяких випадках появляються щилини в шовних трубах в результаті високого тиску, та дії високої температури. Порушується герметичність в

					ПОХНВ. В.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

трубопроводах також від корозії. З'єднувальні частини трубопроводів ламаються в результаті недбалого користуванні ними , а також корозії. Тріщини в трубопроводах заварюються, якщо їх багато на відповідному відрізку, то її доцільно замінити новою.

В місцях з'єднань труб, тіть усувають підтягуванням фітингів, або розбиранням їх з підгонкою та встановленням необхідних ущільнювачів.

При заміні відрізків паропроводів необхідно слідкувати, щоб трубопровід мав постійний нахил в сторону руху конденсату.

При ремонті арматури проводять:

- 1) очищення внутрішніх полостей, сальникових коробок і фланців від накипу, пригара та бруду;
- 2) притирку та при необхідності заміну ущільнюючих поверхонь клапанів та сідел;
- 3) заміну сальникових ущільнювачів;
- 4) відновлення пошкоджених деталей (тріщини в корпусах, погнуті шпінделі і т.п.).

Кінцевим контролем придатності для експлуатації відремонтованої та складеної арматури, є гідравлічне випробування за допомогою гідравлічного пресу.

					ПОХНВ. В.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ[11]

Аналіз небезпечних і шкідливих факторів, що виникають при роботі випарної установки[11]

Питання підвищення продуктивності праці і збільшення економічного ефекту підприємства багато в чому залежить від безпечних і нешкідливих умов праці. Широке впровадження автоматизації, механізації і сучасної високопродуктивної техніки разом зі здійсненням спеціальних заходів щодо техніки безпеки й оздоровлення умов праці є основними напрямками подальшого зниження травматизму і захворювань на підприємствах хімічної та харчової промисловості. Досить важливим представляється використання автоматизованих пристроїв з дистанційним керуванням, забезпечення цехів, у приміщенні яких можлива поява токсичних і шкідливих речовин, ефективною системою вентиляції, максимальна герметизація устаткування, проведення санітарно-оздоровчих заходів і профілактика уражень електричним струмом.

При проектуванні й експлуатації виробництв необхідно керуватися ГОСТ 12.3.002-75 ССБП. Процеси виробничі. Загальні вимоги безпеки. [11]

При проектуванні і реконструкції виробництв, технологічних процесів, які пов'язані з утворенням чи використанням шкідливих речовин, треба прагнути до заміни речовин на менш шкідливі та нешкідливі, сухих способів переробки матеріалів мокрими, і до випуску кінцевих продуктів у не киплячих формах. Технологія виробництв повинна базуватися на замкнених циклах автоматизації, комплексній механізації, дистанційному керуванні, що виключає контакт людини зі шкідливими речовинами. Виробниче устаткування і комунікації не повинні допускати виділення шкідливих речовин у повітря робочої зони. Технологічні викиди повинні проходити очищення з метою уловлювання, рекуперації і нейтралізації шкідливих речовин, що містяться в газах, що відходять, промивних стічних водах. Виробництво повинно бути оснащено аварійною вентиляцією, засобами вибухоподавлення, активним і пасивним вибухозахистом.

На кожному виробництві повинні бути специфічні нормативно-технічні документи з безпеки праці, застосування і збереження шкідливих речовин, що включають дані про токсикологічні характеристики шкідливих речовин і вказівки щодо засобів захисту (колективних та індивідуальних), що відповідають вимогам ГОСТ 12.4.001-75 „ССБП. Засоби захисту працюючих. Класифікація” [11]. На виробництвах, де працюють зі шкідливими речовинами 1-го класу небезпеки,

					ПОХНВ. В.00.00.00.ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

повинен здійснюватися безперервний контроль їх вмісту в повітрі робочого середовища. Вміст речовин 2, 3 і 4-го класів контролюється періодично. Безперервний контроль вмісту шкідливих речовин у повітрі робочої зони повинен передбачати застосування самописних автоматичних приладів, що видають сигнали перевищення рівня ГДК. Чутливість методів контролю не повинна бути нижче 0,5 рівня ГДК, а їх похибка не повинна перевищувати  $\pm 25\%$  від обумовленої величини.

Всі особи зайняті на виробництві і які мають контакт зі шкідливими речовинами повинні в обов'язковому порядку проходити попередній і періодичний медичний огляд і знати методи надання невідкладної долікарської допомоги потерпілим при аварії.

У проєктованому виробництві існують наступні потенційні небезпеки[11]:

1. Небезпека одержання травматизму, а також падіння рівня продуктивності праці внаслідок неправильного вибору і освітлення робочого місця.

Найменша освітленість робочих поверхонь у виробничих приміщеннях встановлюється в залежності від зорової роботи і регламентується санітарними нормами і правилами СНіП II-4-79 Ці норми виходять з того, що основним джерелом світла є газорозрядні лампи, однак у спеціальних випадках допускається використання ламп накаливання.

2. Небезпека ураження електричним струмом. Джерелом впливу можуть бути всі струмоведучі частини устаткування. Небезпечний і шкідливий вплив на людей електричного струму, електричної дуги й електромагнітних полів виявляються у вигляді професійних захворювань.

Проходячи через організм людини електричний струм викликає опіки, нагрівання кровоносних судин, нервів, розкладання крові, порушення живих тканин організму, а також повне припинення діяльності органів подиху і кровообігу.

Згідно [11] пред'являються наступні вимоги:

- захисному заземленню або зануленню підлягають металеві частини електроустановок, доступних для дотику людини;
- матеріал, конструкція і розміри заземлювачів і нульових захисних провідників повинні забезпечити стійкість до механічних і термічних впливів на весь період експлуатації.

3. Небезпека контакту з рухливими частинами виробничого устаткування.

					ПОХНВ. В.00.00.00.ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



На ділянці знаходиться насосний агрегат, що приводиться в дію електродвигуном. Контакт з обертовими частинами даного устаткування може привести до одержання травми працюючими людьми.

Згідно [11] висуваються наступні вимоги:

- частини виробничого устаткування, що рухаються, повинні бути обгороджені або розташовані так, щоб виключити можливість дотику до них робітника;
- у безпосередній близькості від частин, що рухаються, що знаходяться поза полем видимості оператора повинні бути встановлені органи керування аварійною установкою (гальмуванням) їм у небезпечній зоні, створюваній частинами, що рухаються, де можуть знаходитися працюючі;
- конструкція виробничого устаткування повинна передбачати сигналізацію, що попереджає про пуск устаткування, а також використання сигнальних кольорів і знаків.

#### 4. Небезпека одержання термічних опіків.

Ця небезпека відноситься до фізичної групи. Процес підігрівання бражки відбувається при температурі 140<sup>0</sup>С. При дотику до зовнішньої поверхні апарата людина може одержувати опіки термічні. Згідно [11] висувають наступні вимоги: температура поверхні доступної до дотику не повинна перевищувати 45<sup>0</sup>С.

#### 5. Вплив підвищеної запиленості повітря в робочій зоні.

Згідно [11] пред'являються наступні вимоги: вміст шкідливих речовин у повітрі робочої зони не повинне перевищувати ГДК.

В атмосферу виробничих приміщень можуть виділятися різні отрутні гази. У випадку виникнення на робочому місці концентрацій отрутних газів у працюючих з'являються різні ознаки отруєння – кашель, задуха, запаморочення, втрата свідомості, припинення дихання і серцевої діяльності.

Згідно [11] висуваються наступні вимоги:

- вміст шкідливих речовин у повітрі робочої зони не повинен перевищувати ГДК;
- вміст шкідливих речовин у повітрі робочої зони підлягає систематичному контролю для попередження можливості підвищення ГДК.

Провівши аналіз небезпек і шкідливих факторів даного виробництва, передбачені наступні заходи щодо їх усунення:

- а) відповідно до [11], для усунення небезпеки ураження електричним струмом, передбачені заземлення і занулення електроапаратури;

					ПОХНВ. В.00.00.00.ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

б) відповідно до [11], для запобігання небезпеки прямого контакту обслуговуючого персоналу з частинами виробничого устаткування, що рухаються, встановлені огороження захисні і захисні кожухи;

в) відповідно до [11], для усунення небезпеки одержання термічних опіків у проекті передбачена ізоляція апарата, щоб знизити температуру зовнішньої поверхні до 40 °С.

г) Відповідно до [11] для запобігання впливу на працюючих підвищеної запиленості робочої зони всі люки й отвори бункерів герметично закриваються, здійснюється контроль якості повітря в робочій зоні. При підвищенні ГДК пилу передбачено автоматичне включення витяжної вентиляції, а також використання обслуговуючим персоналом засобів індивідуального захисту – респіраторів.

### Розрахунок теплової ізоляції[11]

Визначаємо коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої неізольованої поверхні апарату до повітря (Вт/(м<sup>2</sup>·К)

$$\alpha_{\beta} = 9,74 + 0,07 \cdot (t_{ст} - t_{п}) = 9,74 + 0,07 \cdot (125 - 20) = 17,09 \quad (5.1)$$

$t_{п} = 20$  °С – температура навколишнього середовища

Визначаємо втрати тепла неізольованою стінкою

$$q_1 = \frac{t_{ст} - t_{п}}{\frac{1}{\alpha_{\beta}}} = \frac{125 - 20}{\frac{1}{17,09}} = 1794,45 \quad (5.2)$$

Визначаємо втрати ізольованим апаратом з врахуванням ККД ізоляції (Вт/м<sup>2</sup>)

$$q_2 = (1 - \eta_{із}) \cdot q_1 = (1 - 0,95) \cdot 1794,45 = 89 \quad (5.3)$$

$\eta_{із} = 0,85$  – ККД совелітової ізоляції

Визначаємо  $\lambda_{із}$  для совелітової ізоляції:

$$\lambda_{із} = 0,09 + 0,000087 \cdot t \quad (5.4)$$

де  $t_{із}$  - середня температура ізоляції( °С)

Визначаємо середню температуру ізоляції ( °С)

$$t_{із} = \frac{t_{ст} + t_3}{2} = \frac{125 + 36}{2} = 80,5 \quad (55)$$

$t_3 = 36$  °С – температура зовнішньої поверхні ізоляції

Знайдені величини підставляємо у формулу і обчислюємо

$$\lambda_{із} = 0,09 + 0,000087 \cdot 80,5 = 0,09$$

					ПОХНВ. В.00.00.00.ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначаємо необхідну товщину ізоляції

$$\delta_{i3} = \frac{\lambda_{i3}}{q_2} \cdot (t_{ст} - t_3) = \frac{0,09}{89} \cdot (125 - 36) = 0,09 \quad (5.6)$$

Приймаємо шар теплової ізоляції товщиною  $\delta_{i3} = 100\text{мм}$

					ПОХНВ. В.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

## Висновки

При проектуванні розроблений кип'ятильник – випарник після спиртової барди кожухотрубний, одноходовий з внутрішньою паровою камерою.

В роботі описано технологічну схему випарювання барди, обґрунтовано теоретичні основи процесу.

Складено матеріальні і теплові баланси. Проведено технологічні і конструктивні розрахунки, вибір допоміжного обладнання, визначений гідравлічний опір апарата.

Розрахунками на міцність підтверджена працездатність апарату.

Матеріал (нержавіюча сталь марки 12Х18Н10Т), якого виготовлені секції апарата, є найбільш корозостійким до бражки, що дозволяє уникнути витрат на відповідні ремонтні роботи.

Результатом проекту є кип'ятильник – випарник після спиртової барди для упарювання на випарній станції післяспиртової барди.

					ПОХНВ. В.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Шиян П.Л., Сосницький В.В., Олійнічук С.Т. Інноваційні технології спиртової промисловості. Теорія і практика: Монографія. – К.: Видавничий дім «Асканія», 2009. – 424 с.
2. Технологія спирту /В.О. Маринченко, В.А. Домарецький, П.Л. Шиян, В.М.Швець, П.С. Циганков, І.Д. Жолнер// Під ред. проф. В.О. Маринченка. – Вінниця: Поділля-2000, 2003. – 496 с.
3. Демчук Г.С., Константинов С.М. Упарювання мелясної барди.- К.,Техніка,1966.-106с.
4. Под ред. Н.В.Стабникова. Проектирование процессов и аппаратов пищевых производств.- Киев., "Вища школа". 1982.
5. Малежик І.Ф. Процеси і апарати харчових виробництв. Курсове проектування- К.,НУХТ,2012.- 543 с.
- 6.Лацинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. – Л., Машиностроение, 1970.- 752 с.
7. О.Г.Лунин, В.Н.Вельтешев. Теплообменные аппараты пищевых производств. Москва ВО"Агропромиздат"1987.
- 8.Фарамазов В.Н. Ремонт и монтаж химического и нефтеперерабатывающего оборудования: -М.: Химия, 1985.-246с.
9. Методика расчета выпарной установки. Копия главы 4 из книги "Основы процессов и аппаратов химической технологии," (Под ред. Ю.И.Дыгнерского, 2-еизд., перераб. и дополн.-Москва., Химия. 1991.)-Сумы., СумГУ. 2
- 10.Циганков П.С. Монтаж і експлуатація браго ректифікаційних установок.- Київ: Техніка,1970.-с.205
- 11.Основы охорони праці / М. П. Купчик, М. П. Гандзюк, І. Ф. Степанець та ін.// К.: Основа, 2000. – 416 с.

					ПОХНВ. В.00.00.00.ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		