

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра "Процеси та обладнання хімічних
і нафтопереробних виробництв"

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри

підпис, дата

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

Тема роботи: Випарна установка для концентрації барди у виробництві етилового спирту. Розробити випарний апарат з виносною поверхнею нагрівання.

Виконав:
студент групи ХМдн-54-чк
Комаров Олександр Ігорович

Підпис

Залікова книжка
№ _____

Кваліфікаційна робота бакалавра
захищена на засіданні ЕК

Керівник:
ст.викладач

з оцінкою _____

Корнієнко Віктор Миколайович

" ____ " _____ 20__ р.

підпис, дата

Підпис голови
(заступника голови) комісії

СУМИ 2020

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Кафедра процесів та обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв

Спеціальність 133 "Галузеве машинобудування"
Освітня програма "Комп'ютерний інжиніринг обладнання хімічних
виробництв"

Курс 3 Група ХМдн-54-чк Семестр

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Студент Комаров Олександр Ігоревич

1 Тема проекту: Випарна установка для концентрації барди у виробництві етилового спирту. Розробити випарний апарат з виносною поверхнею нагрівання .

2 Вихідні дані: Розробити випарний апарат для концентрації барди .Вміст сухих речовин %мас : у початковій барді–8;в упареній –72. Початкова температура барди 85°C . Продуктивність ректифікаційної установки для отримання етилового спирту 5000дал /добу.

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

- | | |
|---|-------------------|
| <u>1.Технологічна схема сушки цукру</u> | <u>– 1, 0арк.</u> |
| <u>2.Складальне креслення апарату</u> | <u>– 1,0 арк.</u> |
| <u>3.Складальні креслення вузлів</u> | <u>– 1,0 арк.</u> |

4 Рекомендована література: 1. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра / укладачі: Р. О. Острога, М. С. Скиданенко, Я. Е. Михайловський, А. В. Іванія. – Суми : СумДУ, 2019. – 32 с.; 2.Малежик І.Ф. Процеи і апарати харчових виробництв.Курсове проектування/ І.Ф.Малежик. –К. :НУХТ,2012. –544с.

5 Етапи виконання кваліфікаційної роботи:

Етапи та розділи проектування	ТИЖНІ				
	1	2,3	4,5	6,7	8
1 Вступна частина	x				
2 Технологічна частина		xx			
3 Проектно-конструкторська частина			xx		
4 Розробка креслень				xx	
5 Оформлення записки					x
6 Захист роботи					x

6 Дата видачі завдання

жовтень 2019 р.

Керівник

підпис

ст. викл. Корнієнко В.М.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Технологічна частина	
1.1 Опис технологічної схеми виробництва.....	6
1.2 Теоретичні основи процесу.....	9
1.3 Опис об'єкту розроблення та вибір основних конструктивних матеріалів.....	16
2 Технологічні розрахунки процесу і апарата	
2.1 Матеріальний та тепловий баланси процесу.....	19
2.2 Технологічні розрахунки.....	25
2.3 Конструктивні розрахунки.....	40
2.4 Гідралічний опір апарата.....	45
2.5 Вибір допоміжного обладнання.....	48
3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність	
3.1 Визначення товщини стінки апарата, кришки.....	55
3.2 Розрахунок і фланцевого з'єднання.....	58
3.3. Розрахунок та вибір опори апарата.....	71
4 Монтаж та ремонт апарата	
4.1 Монтаж розробленого апарата.....	79
4.2 Ремонт апарата.....	81
5 Охорона праці.....	85
Висновки.....	91
Список літератури.....	92
Додаток А	
Додаток Б - Перевірочний розрахунок на ПЕОМ	
Додаток В - Специфікації	

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Комаров</i>			Випарна установка для концентрації барди у виробництві етилового спирту. Розробити випарний апарат з виносною поверхнею нагрівання .	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Корнієнко</i>				3	94	
<i>Н. контр.</i>		<i>Корнієнко</i>			СумДУ, гр. ХМдн-54чк			
<i>Затв.</i>		<i>Складінський</i>						

ВСТУП

Спирт широко використовується в різних галузях народного господарства: фармацевтичної, харчової та парфумерної промисловості, в виробництві харчового оцту, фотоплівок та паперу, для отримання складних ефірів, в лакофарбовій промисловості та багатьох інших галузях.

Одним з основних напрямлень научно-технічного прогресу є: впровадження вдосконалених безперервних процесів виробництва, отримання спирту високої якості при мінімальній витраті тепло - та енергоресурсів, отримання додаткових продуктів при комплексній переробці сировини (хлібопекарські та кормові дріжджі, вітамін В12, медичні препарати, диоксид вуглецю, кормові біомаси, упарена барда), впровадження безвідходної технології.

В наш час спиртові заводи випускають харчовий та технічний етиловий спирт. Харчовий спирт отримують з картоплі, зернових злаків, меляси, цукрових буряків. Його застосовують для виготовлення лікєро-горілчаних виробів, кріплення виноградних та плодово-ягідних вин, в виробництві парфумів та медико-фармацевтичній промисловості і для отримання харчового оцту.

Основними завданнями спиртової промисловості є: подальше вдосконалення техніки та технології виробництва, завершення впровадження безперервних схем виробництва, механізація навантажувально-розвантажувальних робіт, автоматизація технологічних процесів, повне використання відходів виробництва, зменшення втрат в виробництві, покращення якості та зменшення собівартості готової продукції і підвищення рентабельності виробництва.

Щоб запобігти забруднення навколишнього середовища цими відходами, підприємства будують цеха по їх утилізації.

Мелясна барда складається із 8-12 % сухих речовини 92-88 % води. Сухі речовини барди складаються із органічних та мінеральних. До органічних речовин відносяться: білки, бетаїн, глютамінова кислота та інші амінокислоти, цукри (глюкоза, фруктоза, арабіноза, рафіноза та ін.), гліцерин, карбонові кислоти

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(мурав'їна, оцтова, пропанова, глікогелева, молочна, янтарна та ін.). Мінеральні речовини барди представлені солями калія, натрія, кальцію, магнія і мікроелементами (кобальт, залізо, мідь, марганець та ін.).

Барда вміщує також вітаміни групи В.

Досить довгий час барда не використовувалася. Її зазвичай викачували на поля фільтрації для мінералізації. При цьому не тільки не використовувалися цінні складові частини барди, а й створювалися великі труднощі, так як для полів фільтрації необхідна велика площа - на кожні 1000 дал спирта добової потужності заводу необхідно 10 га; земля таких полів пустує, так як на ній нічого не зростає. Крім того в наслідок розкладу складових частин барди виникають дурно пахучі речовини, тому поля фільтрації забруднюють повітря неприємним гнійним запахом.

Вміст в барді білків, амінокислот, гліцерину, цукрів, вітамінів, мікроелементів та інших речовин дає можливість використовувати її в якості корма для худоби. М'ясна барда може застосовуватися в якості корму в натуральному та згущеному вигляді. Упарена барда також використовується в виробництві цементу, бетону, добрив, в гідролізній та інших галузях промисловості.

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. Гріюча пара подається тільки в 1-й корпус, а для підігріву барди в слідуючих корпусах використовується вторинна пара - це дає можливість економити гріючу 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.

Комплексне використання відходів спиртових заводів, які переробляють м'ясу, дозволяє не тільки значно зменшувати викиди шкідливих речовин в навколишнє середовище, а й отримувати додаткові прибутки.

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

1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис технологічної схеми виробництва [2]

На вітчизняних спиртових заводах після спиртову мелясну барду згущують на багатокорпусних випарних установках, що працюють як під розрідженням (останній корпус) так і під тиском. При упарюванні барди і гріюча пара подається спочатку в перший корпус, потім в другий і т. д.

Проектом передбачено використання 4-х корпусної випарної станції, в якій останній корпус працює під вакуумом.

Сокові пари, одержані при упарюванні мелясної барди, хімічно агресивні, тому для теплообмінної апаратури потрібно використовувати антикорозійні сталі.

Використання 4-х корпусної випарної станції дозволяє вести процес з меншими затратами граючої пари, а наявність двох кип'ятильників дозволяє проводити очищення поверхні теплообміну без зупинки установки.

Попереднє підігрівання барди до температури кипіння екстрапарами з окремих випарок дозволяє зменшити витрати пари на випарювання.

В даному проекті передбачено видалення конденсату за безавтоматною схемою, що значно спрощує його дальшу утилізацію.

Суть цього способу полягає в тому, що з парової камери випарного апарата конденсат з невеликою кількістю пари надходить в спеціальний закритий збірник. Останній за допомогою труби з'єднаний з паровим простором випарного апарата. Цією ж трубою видаляється пара, що надійшла разом з конденсатом, а також пара, що утворилася при само випарюванні конденсату внаслідок різниці тисків у паровому просторі апарата і збірнику конденсату. Із збірника конденсат видаляється насосом.

На випарних апаратах передбачено встановлення піно пригнічуючих пристроїв, тому що при упарюванні мелясної барди, особливо на останніх корпусах, спостерігається значне її пінення. При встановленні нових станцій по

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

упарюванню барди слід застосовувати автоматичні схеми керування, контролю і регулювання процесу.

Даним дипломним проектом передбачено розробка схеми автоматичного керування, контролю і регулювання процесів випарювання барди на багатокорпусній установці, що раніше не використовувалась в спиртовій галузі.

Впровадження схеми випарювання післяспиртової барди дозволяє комплексно переробляти мелясу з отриманням продукту – упареної барди, яку є можливість використовувати при виробництві будівельних матеріалів, як добрива для сільськогосподарських угідь. Реалізація отриманого продукту дає можливість отримати відповідні додаткові прибутки.

Вибрана типова схема (4-х корпусна випарна установка, в якій останній корпус працює під розрідженням) для проектування дає можливість значно зменшити витрати на теплову енергію (приблизно 1,3 т гріючої пари на тону упареної барди порівняно з 1,4-3,9 при використанні інших схем). Цього досягнуто за рахунок раціонального розподілу теплових потоків, де вторинні пари використовуються для обігріву поверхонь теплообміну в корпусах установки (крім I-го), підігрівачах барди (крім 3-ї групи).

Утилізація після спиртової барди дозволяє зменшити площі відстійників, на які вона скидалась для природної фільтрації, а, значить, і відрахування в місцеві бюджети за використання відповідних земель. Крім того, це значно зменшує викиди в навколишнє середовище, покращує його екологічний стан.

Барда, концентрацією сухих речовин в ній 8 %, відводиться із бражної колони в збірник барди, звідки відцентровим насосом подається на першу групу підігрівачів (поз.1) перед випаркою. За допомогою вторинної пари з другого корпусу (поз.2) випарної установки (ВУ) барда нагрівається до температури 105°C і поступає на другу групу підігрівачів (поз.1). За допомогою вторинної пари з першого корпусу (поз.2) ВУ барда нагрівається до температури 120 °C і переходить в підігрівачі третьої групи (поз.1), де гріючою парою нагрівається до температури кипіння 131°C. Барда в підігрівачах подається в трубний простір, а пара - в між-трубний, для полегшення їх очищення і ремонту.

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

Нагріта барда до температури кипіння випарюється 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 випарюється до 20,5 % мас. с. р., в 3-му корпусі (поз. 10) 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'ятільним трубам, та циркуляційним трубам, а в між трубний простір подається пара. В перший корпус випарної станції подається гріюча пара тиском 4 ат, в другий корпус (поз.2) вторинна пара першого корпусу, яка також поступає в теплообмінник бражної колони, в третій (поз.2) –вторинна пара другого і в четвертий корпус вторинна пара третього корпусу. Утворена вторинна пара четвертого корпусу (поз.2) 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 (поз.1) і першого корпусу випарки (поз.2) спрямовується у збірник конденсату (поз.7), звідки надходить в збірник-випарник (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 (поз.2) випарної станції накопичується у відповідному збірнику (поз.7), туди також поступає конденсат з 2-ї групи підігрівачів (поз.1), пари, що утворюються в збірнику поступають на нагрівання кип'ятильників 3-го корпусу; конденсат з 3-го корпусу (поз.2) випарної станції накопичується у відповідному збірнику (поз.7), туди також поступає конденсат з 1-ї групи підігрівачів (поз. 1) пари, що утворюються в збірнику поступають на нагрівання кип'ятильників 4-го корпусу; конденсат з 4-го корпусу (поз.2) випарної станції накопичується у відповідному збірнику (поз. 7), пари що утворюються в збірнику поступають на барометричний конденсатор. Із цих збірників конденсат відцентровими насосами відкачується в умовно чисті води.

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

1.2 Теоретичні основи процесу [3]

Випаровуванням називається процес згущення розчинів при кипінні. На харчових виробництвах випаровують в основному водні розчини: дифузійний сік: сиропи, молоко, сусло, барду і т. д.

Кипіння проходить в розчині при умові, коли тиск парів розчинника дорівнює загальному тиску в над рідинному просторі; особливістю процесу є постійна температура кипіння при повному тиску і заданому складі розчину. По мірі згущення розчину його фізичні властивості змінюються: це має значення для розрахунків, конструювання і експлуатації випарної апаратури.

В процесі випаровування концентрація сухих речовин в розчині збільшується від початкового до кінцевого значення. При цьому концентрація змінюється спочатку швидко, а потім повільніше. При підвищенні концентрації змінюються властивості розчину: температура кипіння, теплопровідність, в'язкість, що впливає на умови теплопередачі і змінює режим роботи випарного апарата.

При заданому тиску температура кипіння розчину вища від температури насиченої пари, що знаходиться над розчином на величину фізико-хімічної депресії. В процесі випаровування розчину при постійному тиску температура кипіння його підвищується в результаті збільшення концентрації. При цьому збільшення густини розчину і зменшення теплопровідності його та теплоємності, збільшується також (особливо для барди і цукрових розчинів) в'язкість, одночасно падає теплопровідність від поверхні нагріву до киплячого розчину.

Утворення накипу на стінках випарного апарату; як правило збільшення концентрації розчину збільшує утворення накипу. При підвищенні концентрації розчинених речовин і підвищення температури кипіння органічних речовин, останні інтенсивно розкладаються і в результаті кінцевий продукт може набути неприємного запаху, кольору або змінити смакові якості. Тому для зберігання якості продукту, концентровані розчини випаровують під розрідженням при

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

знижених температурних режимах. З цією метою на заводах використовують випарні установки.

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 прямоточна схема живлення - розчин (барда) і гріюча пара подається спочатку в перший корпус, потім в другий і т.д. [2]

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

Однією з характерних властивостей мелясної барди є властивість швидко пінитись при кипінні, що обумовлює необхідність застосування випарних апаратів з виносною гріючою камерою.[2]

Випарення після спиртової барди ускладнюється тим, що в ній знаходиться велика кількість мінеральних солей. При застосуванні для підкислення меляси сірчаної кислоти під час упарювання барди проходить гіпсування поверхні нагріву, а при застосуванні соляної - при концентрації сухих речовин вище 45-50 % починається кристалізація хлористих солей калію, натрію і кальцію. Всі перелічені вище фактори необхідно враховувати при розробці і підборі випарних апаратів та схем випарних установок.

З різноманітних схем упарювання мелясної барди на багатокорпусних випарних установках на сьогодні найбільше використовуються на спиртових заводів 4-х корпусні випарні установки, що працюють під розрідженням (останній корпус),що дозволяє економити гріючу пару, паливо, воду; дозволяє використовувати вторинну пару для обігріву інших споживачів ,а відповідно і зменшує витрати на упарювання барди. [2]

На вітчизняних спиртових заводах після спиртову мелясну барду згущують на багатокорпусних випарних установках, що працюють як під розрідженням

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

(останній корпус) так і під тиском. При упарюванні барди і гріюча пара подається спочатку в перший корпус, потім в другий і т. д. [2] З 4-го корпуса вторинна пара спрямовується на барометричний конденсатор.

При безперервному випарюванні маємо усталений процес у часі, тобто в установку безперервно в постійній кількості надходять початковий розчин і нагрівна пара, а з установки також безперервно і в постійній кількості відводяться концентрований розчин (кінцевий продукт), вторинна пара і конденсат нагрівної пари. Для випарювання 1 кг води в окремому апараті потрібно 1,03...1,1 кг нагрівної пари. З такою витратою її можна погодитися лише тоді, коли випарювання в однокорпусних апаратах зумовлене технологічними вимогам.

Процес випарювання розчинника з розчину можна проводити під вакуумом, за атмосферним та підвищеним тиском. Під час випарювання під вакуумом знижується температура кипіння розчину, що дає можливість використати для обігрівання апарату пару низького тиску.

Цей спосіб особливо застосовується під час випарювання харчових розчинів, чутливих до високих температур. Перевагою процесу випарювання під вакуумом є: зменшення трат теплоти в навколишнє середовище, а також збільшення корисної різниці температур між гріючою парою та киплячим розчином. Це дає змогу зменшити поверхню теплообміну та габарити всього вакуум-випарного апарата.

При випарюванні під атмосферним тиском утворена вторинна пара звичайно не використовується і викидається в атмосферу.

Випарювання за підвищеного тиску викликає підвищення температури кипіння розчину і дає можливість використання вторинної пари як теплоносія в інших теплообмінниках. Можливість застосування цього способу випарювання залежить від стійкості компонентів розчину, що випарюється. При безперервному випарюванні маємо усталений процес у часі, тобто в установку безперервно в постійній кількості надходять початковий розчин і нагрівна пара, а з установки також безперервно і в постійній кількості відводяться концентрований розчин (кінцевий продукт), вторинна пара і конденсат нагрівної пари. Для випарювання 1

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

кг води в окремому апараті потрібно 1,03...1,1 кг нагрівної пари. З такою витратою її можна погодитися лише тоді, коли випарювання в однокорпусних апаратах зумовлене технологічними вимогам.[3]

Початкова випарна станція Лохвицького спирткомбінату (рис. 1.2) складалася з однокорпусної випарки попереднього згущення, що працювала під тиском, і двох паралельно працюючих трьох корпусних випарок під розрідженням. При безперервному випарюванні маємо усталений процес у часі, тобто в установку безперервно в постійній кількості надходять початковий розчин і нагрівна пара, а з установки також безперервно і в постійній кількості відводяться концентрований розчин (кінцевий продукт), вторинна пара і конденсат нагрівної пари. Для випарювання 1 кг води в окремому апараті потрібно 1,03...1,1 кг нагрівної пари. З такою витратою її можна погодитися лише тоді, коли випарювання в однокорпусних апаратах зумовлене технологічними вимогам.[2]

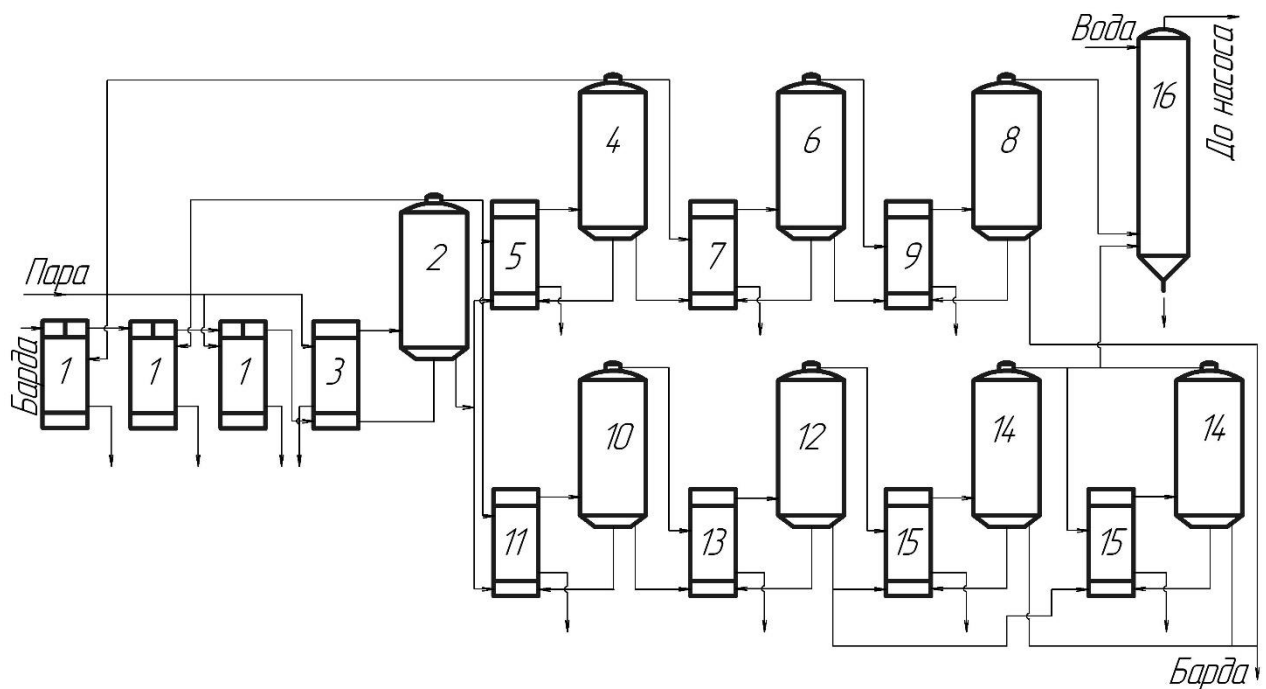


Рис. 1.1 - Схема першої випарної станції Лохвицького спиртового комбінату:

1- підігрівники барди; 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16- сепаратори пари; 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15- кип'ятильники; 16- барометричний конденсатор.

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

Однокорпусна випарка складалась із сепаратора (п. 2) і чотирьох кип'ятильників (п. 3). Кожен корпус трьохкорпусної випарки складався із сепараторів (п. 4, 6, 8) і трьох кип'ятильників (п. 5, 7, 9).

1-й і 2-й корпуси трьохкорпусної випарки складається з сепаратора (п. 10, 12)) і кип'ятильника (п. 11, 13). 3-й корпус був здвоєним і кожен з апаратів мав сепаратор (п. 14) і кип'ятильник (п. 15). Апарати 3-го корпусу були з'єднані паралельно щодо барди і послідовно щодо пари.

Вторинні пари з сепараторів 3-го корпусу (п. 8, 14) спрямовувалась в барометричний конденсатор (п. 16). Частина кип'ятильників випарної станції мали нагрівну поверхню типу "труба в трубі", решта - трубчасту поверхню.

Мелясна барда підігрівалась до температури кипіння у 1-му корпусі трьома підігрівниками (п. 1), які обігрівались парами різних потенціалів. Барда упарювалася на станції до вмісту 72-75 % СР. Витрата гріючої пари становила близько 1,3 т на 1 т упареної барди.

Наявність кількох кип'ятильників на один сепаратор давала можливість чистити і ремонтувати їх без зупинки випарки.

До недоліків цієї випарної станції слід віднести такі: велика кількість дрібних кип'ятильників, нагрівна поверхня яких виготовлена з міді, що неприпустимо для кислої барди; велика металоємкість, громіздкість, потреба у значній виробничій площі при порівняно невеликій продуктивності, складність чищення нагрівної поверхні "труба в трубі".

Всі ці недоліки були враховані при виготовленні нової випарної станції. Нова випарна станція складалася з чотирьох корпусів, з яких три перших працюють під тиском, а четвертий - під розрідженням.[3]

Кожен корпус випарної станції складався з сепаратора і двох трубчастих одноходових кип'ятильників, нагрівна поверхня яких виготовлена з труб сталі 1Х18Н9Т.

1-й корпус обігрівается ретурною парою під тиском. В грійні камери кип'ятильників 2-го корпусу надходить вторинна пара 1-го корпусу. Кип'ятильники 3-го корпусу обігріваются вторинною парою 2-го корпусу, а

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

кип'ятильники 4-го корпусу - вторинною парою 3-го корпусу. Вторинні пари 4-го корпусу поступають в барометричний конденсатор.

В зв'язку з тим, що тиск вторинної пари 1-го корпусу був достатньо великим, його спрямували у теплообмінник брагоперегінної колони, що дозволило заощадити 8-10 % пари, яка витрачається на упарювання барди.

На випарну станцію барда надходить з вмістом 8-9 % СР і упарюється до 75 % СР. З 4-го корпусу упарена барда виділяється періодично 1-2 рази на зміну. Випарна станція працює в режимі постійного температурного перепаду. Для підігрівання барди, що надходить до випарної станції, до температури її кипіння у 1-му корпусі були встановлені три шестиходові підігрівники. Перший (за ходом продукту) обігрівається вторинною парою 2-го корпусу, а другий обігрівався вторинною парою 1-го корпусу; третій - ретурною парою.

В усіх підігрівниках нагрівна поверхня була виготовлена з трубок нержавіючої сталі 1Х18Н9Т. Оскільки вторинні пари агресивні, то й кожухи кип'ятильників (крім 1-го корпусу) і підігрівачів (крім третього) виготовлені із сталі Х18Н9Т.

Незважаючи на свої переваги (невелика втрата гріючої пари, простота обслуговування, довговічність, компактність, стійкий режим роботи) ця випарна установка не могла задовольнити потреби комбінату, тому що не переробляла приблизно половини всієї барди.

У 1964 р. за проектом НДХІМмаш Смілянським машинобудівним заводом була виготовлена і встановлена випарна станція продуктивністю 50 т/год випареної води (рис. 1.3).

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

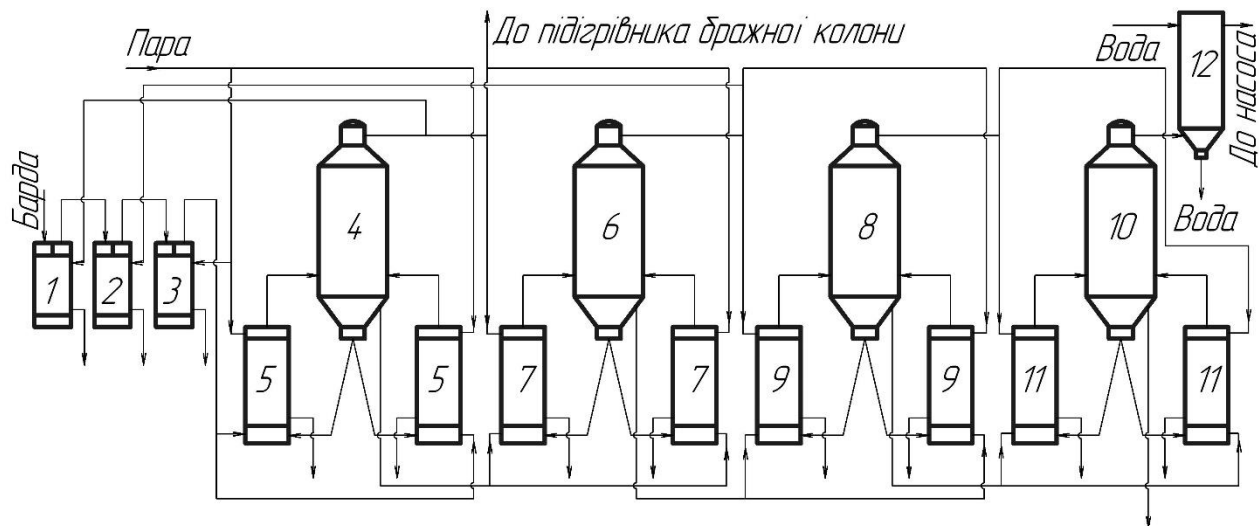


Рис. 1.3- Схема випарної станції Лохвицького спиртового комбінату:

1, 2, 3- підігрівники барди; 4, 6, 8, 10- сепаратори пари; 5, 7, 9, 11- кип'ятильники; 12- барометричний конденсатор.

Випарна станція цілком забезпечує упарювання всієї барди, одержуваної на комбінаті.

За своєю конструкцією, будовою та компоновкою вона подібна до випарної станції, що існувала раніше, але має більші габарити.

Випарна установка складається з трьох підігрівників (п. 1, 2, 3), чотирьох однакових випарних апаратів, барометричного конденсатора (п. 12) і допоміжного обладнання. Підігрівники являють собою вертикальні трубчасті шестиходові теплообмінники.

Випарний апарат складається з сепаратора (п. 4, 6, 8, 10) і двох виносних трубчастих одноходових кип'ятильників (п. 5, 7, 9, 11).

Випарна установка повністю виготовлена з нержавіючої сталі 1Х18Н9Т.

Кип'ятильники 1-го корпусу (п. 5) і третій підігрівник (п. 1) обігриваються ретурною парою. Вторинна пара 1-го корпусу надходить у гріючу камеру 2-го корпусу (п. 7), другий підігрівник (п. 2) і підігрівник бражної колони. У 2-му корпусі барда упарюється до 22 % СР. Вторинною парою з сепаратора 2-го корпусу (п. 6) обігриваються кип'ятильники 3-го корпусу (п. 9) і перший підігрівник барди перед випаркою (п. 3). У 3-му концентрація барди підвищується до 34 % СР. Вторинною парою з 3-го корпусу обігриваються кип'ятильники 4-го

корпуса (п. 11). Барда згущується до концентрації 75 % СР. Вторинна пара з сепаратора 4-го корпусу (п. 10) надходить в барометричний конденсатор (п. 12).

Конденсат ретурної пари з гріючих камер кип'ятильників 4-го корпусу і третього підігрівника спрямовується у збірник конденсату, звідки надходить в збірник-випарник, з'єднаний з паровим простором 2-го корпусу. Пара, що утворюється у випарнику, іде на обігрівання кип'ятильників 3-го корпусу.

Конденсати 2-го, 3-го і 4-го корпусів збираються у відповідні збірники.

1.3. Опис об'єкта розробки та вибір основних конструктивних матеріалів

Випарний апарат з виносною поверхнею теплообміну відноситься до вертикальних апаратів з багаторазовою циркуляцією продукту - барди. Апарат може працювати як під тиском так і під вакуумом, що робить його універсальним і практичним[2].

Випарний апарат складається із сепаратора і кип'ятильника, які тангенціально під'єднанні.

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

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

Частина кип'ятильника вище верхньої трубної решітки утворює над трубний 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.

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

В верхній частині сепаратора закріплений відбивний зонтик, 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 вікон.

Апарат обладнується лазом для огляду і проведення ремонтних робіт. Сепаратор і кип'ятильник закріплені на міжповерховому перекритті 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 направляється через інший патрубок в кип'ятильник наступного корпусу на слідує 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[8]:

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

- достатня загальна хімічна та корозійна стійкість матеріалів в агресивному середовищі з заданими концентрацією, температурою і тиском;
- 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 використання 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 [7]. 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.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

2 ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ ПРОЦЕСУ

2.1 Матеріальний та тепловий баланси процесу [5]

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

Перш за все визначимо розподіл парового відбору по корпусам. Витрата пари на підігрівачі [5]:

$$d = \frac{S \cdot c \cdot (t_2 - t_1) \cdot x}{i - c_k \cdot t_k}, \quad (2.1)$$

де S-маса барди, кг;

c-теплоємність барди (визнаємо по графіку [5]);

t_2, t_1 - початкова і кінцева температура барди, °С.

$x=1,05$ -коефіцієнт втрат теплоти;

i - ентальпія вторинної пари, Дж;

c_k - теплоємність конденсату,

t_k - температура конденсату, °С;

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

Розраховуємо витрати пари в підігрівачах:

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

(нагрівається вторинною парою другого корпусу);

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

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

(нагрівається вторинним паром першого корпусу);

$$d_3 = \frac{18105 \cdot 3955 \cdot (131 - 120) \cdot 105}{2262600} = 366 \text{ кг/Г} = 0,102 \text{ кг/с.}$$

Кип'ятильник бражної колони нагрібається вторинним паром першого корпусу випарної станції.

Витрата пари на кип'ятильник [5]:

$$d_k = \frac{\Pi \cdot d_\sigma}{24} = \frac{5000 \cdot 20}{24} = 4167 \text{ кг/Г} = 1,16 \text{ кг/с,} \quad (2.2)$$

де $d_\sigma = 20$ кг/дал спирту-витрата пари на бражну колону.

Кількість вторинної пари, відібраної з першого корпусу [5]

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

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 [5]

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

Загальна кількість випареної на установці води [5]:

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

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

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

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

Кількість води, випареної в n-му корпусі [5]:

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

-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 [5]

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

-в 1-му корпусі [5]

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

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

Визначаємо концентрацію мелясної барди після корпусів [5]:

$$B_k = \frac{S \cdot B_n}{S - \sum_1^n W} \quad (2.12)$$

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

де $\Sigma_1 W$ - кількість випареної води в n-му корпусі, кг/г;

$$B_{к1} = \frac{18104 \cdot 8}{18104 - 7854} = 14,1\% \text{ мас. - після 1-го корпусу};$$

$$B_{к2} = \frac{18104 \cdot 8}{18104 - 7854 - 3189} = 20,5\% \text{ мас. — після 2-го корпусу};$$

$$B_{к3} = \frac{18104 \cdot 8}{18104 - 7854 - 3189 - 2524} = 31,9\% \text{ мас. — після 3-го корпусу};$$

$$B_{к4} = \frac{18104 \cdot 8}{18104 - 7854 - 3189 - 2524 - 2524} = 72\% \text{ мас. - після 4-го корпусу.}$$

Визначимо температурну депресію, включаючи втрати температури внаслідок гідростатичного тиску[5]:

$$\Delta\phi = 0,0079 \cdot B^{1,7} \quad (2.13)$$

де B—концентрація мелясної барди після відповідного корпусу, % мас.;

$$\Delta\phi_1 = 0,0079 \cdot 14,1^{1,7} = 0,71 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\Delta\phi_2 = 0,0079 \cdot 20,5^{1,7} = 1,34 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\Delta\phi_3 = 0,0079 \cdot 31,9^{1,7} = 2,84 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\Delta\phi_4 = 0,0079 \cdot 72^{1,7} = 11,35 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Загальні температурні втрати [к.1,ст..84]:

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

$$\Sigma_4 \Delta\phi = \Delta\phi_1 + \Delta\phi_2 + \Delta\phi_3 + \Delta\phi_4 = 0,71 + 1,34 + 2,84 + 11,35 = 16,24 \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (2.14)$$

Температурні втрати між корпусом Δc приймаємо рівними 1°C .

Загальна корисна різниця температур всієї установки [5]:

$$\Sigma\Delta t = t_{n1} - t'_{вт4} - \Sigma_4 \Delta\phi = 143 - 49 - (4 + 16,24) = 73,76^\circ\text{C}, \quad (2.15)$$

де $t'_{вт4} = 49^\circ\text{C}$ - температура вторинної пари, яка надходить в конденсатор при розрідженні $0,98 \cdot 10^5 \text{ Па}$ (670 мм рт. ст.).

Розподіл корисної різниці температур по корпусам проводимо по мінімальній загальній поверхні теплопередачі. Попередньо приймаємо співвідношення:

$$K_1/K_2 = 1,15; \quad K_1/K_3 = 4,4; \quad K_1/K_4 = 30.$$

В першому наближенні можна прийняти, що теплові навантаження пропорціональні кількості випареної води:

$$Q_i/Q_1 = W_i/W_1 \text{ тоді } W_1/W_2/W_3/W_4 = 2,18/0,89/0,7/0,7 = 1/0,41/0,32/0,32.$$

Корисна різниця температур по корпусам [5]:

$$\Delta t_1 = \frac{\Sigma\Delta t}{1 + y_2 + y_3 + y_4} \quad (2.16)$$

$$\Delta t_2 = y_2 \cdot t_1; \quad \Delta t_3 = y_3 \cdot t_1; \quad \Delta t_4 = y_4 \cdot t_1; \quad (2.17-2.19)$$

де

$$y_2 = \sqrt{x_2}; \quad y_3 = \sqrt{x_3}; \quad y_4 = \sqrt{x_4}; \quad (2.20-2.22)$$

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

де

$$x_2=K_1/K_2 \cdot 0,41; \quad x_3=K_1/K_3 \cdot 0,32; \quad x_4=K_1/K_4 \cdot 0,32;$$

тоді

$$x_2=1,15 \cdot 0,41=0,47; \quad x_3=4,4 \cdot 0,32=1,408; \quad x_4=30 \cdot 0,32=9,6;$$

тоді

$$y_2=\sqrt{0,47}=0,68; \quad y_3=\sqrt{1,408}=1,187; \quad y_4=\sqrt{9,6}=3,1;$$

тоді

$$\Delta t_1 = \frac{73,76}{1 + 0,69 + 1,187 + 3,1} = 12,36 \text{ }^\circ\text{C}; \quad \Delta t_2 = 12,36 \cdot 0,68 = 8,5 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_3 = 12,36 \cdot 1,187 = 14,7 \text{ }^\circ\text{C}; \quad \Delta t_4 = 12,36 \cdot 3,1 = 38,3 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Дані про температурний режим випарної установки зводимо в табл.2.1.

Таблиця 2.1

Величина	Корп.1	Корп.2	Корп.3	Корп.4
Температура гріючої пари, °С	143	128,93	118,09	99,55
Корисна різниця температур, °С	12,36	8,5	14,7	38,3
Температура кипіння барди, °С	130,64	120,43	103,39	61,26
Фізико-хімічна температурна депресія, °С	0,71	1,34	2,84	11,35
Температура вторинної пари, °С	129,93	119,09	100,55	49,9
Втрати температури між корпусами, °С	1	1	1	1
Температура конденсату, °С	140	127	116	97
Ентальпія граючої пари кДж/кг	2738	2720	2705	2675

2.2 Технологічні розрахунки

Коефіцієнт теплопередачі для першого корпусу визначаємо з рівняння адитивності термічних опорів [5]:

$$K_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\Sigma\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (2.23)$$

де α_1 - коефіцієнт тепловіддачі від конденсуючого пару до стінки труби, Вт/(м²·К);

$\Sigma\delta/\lambda$ — загальний термічний опір, м²·К/Вт;

α_2 — коефіцієнт тепловіддачі від стінки труби до киплячого розчину, Вт/(м²·К).

Прийmemo, що загальний термічний опір дорівнює сумі термічного опору стінки δ_{cm}/λ_{cm} та накипу δ_n/λ_n . Термічний опір забруднення з боку пари не враховуємо. Тоді отримуємо [к.8, ст. 172]:

$$\Sigma\delta/\lambda = \delta_{cm}/\lambda_{cm} + \delta_n/\lambda_n = \frac{0,0025}{17,5} + \frac{0,0005}{2} = 3,9 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт} \quad (2.24)$$

де $\delta_{cm} = 0,0025$ м - товщина стінки трубки;

$\lambda_{cm} = 17,5$ Вт/(м²·К) — коефіцієнт теплопровідності стінки труби [к.2, ст.512];

$\delta_n = 0,0005$ м — товщина слою накипу (задаємось);

$\lambda_n = 2,0$ Вт/(м²·К) — коефіцієнт теплопровідності накипу [к.8, 414]:

Коефіцієнт тепловіддачі від конденсуючого пару до стінки [к.8, ф.4.14]:

$$\alpha_1 = 2,04 \cdot \sqrt[4]{(r_1 \cdot \rho_{жс1} \cdot \lambda_{жс1}) / (\mu_{жс} \cdot H \cdot \Delta t_1)} \quad (2.25)$$

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

де r_1 – теплота конденсації гріючої пари, кДж/кг;

$\rho_{ж1}$, $\lambda_{ж1}$, $\mu_{ж1}$ – відповідно густина (кг/м³), теплопровідність (Вт/(м·К)) та в'язкість (Па·с) конденсату при середній температурі плівки: $t_{пл} = t_{r1} - \Delta t_1 / 2$, де Δt_1 – різниця температур конденсації пари та стінки труби (градуси).

Розрахунок α_1 проводимо методом послідовних навантажень. В першому наближенні приймемо $\Delta t_1 = 2,0$ град.

Тоді

$r_1 = 2142,7$ кДж/кг при $t_n = 143^\circ\text{C}$ [к.3, ст.533],

$t_{пл} = 140 - 2/2 = 139^\circ\text{C}$, при якій $\rho_{ж1} = 926$ кг/м³, $\lambda_{ж1} = 0,685$ Вт/(м·К), $\mu_{ж1} = 196 \cdot 10^{-6}$ Па·с [к.2, ст.520];

$$\alpha_1 = 2,04 \cdot \sqrt[4]{(2142,7 \cdot 10^3 \cdot 926^2 \cdot 0,685^3) / (196 \cdot 10^{-6} \cdot 4 \cdot 2)} = 8986,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Для процесу з постійним режимом передача тепла [к.8, ст.173]:

$$q = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 = \Delta t_{cp} / \Sigma \frac{\sigma}{\lambda} = \alpha_2 \cdot \Delta t_2, \quad (2.26)$$

де q – відповідне теплове навантаження, Вт/м²;

Δt_{cp} – різниця температур на стінці труби, град.;

Δt_2 – різниця між температурою стінки з боку розчину і температурою кипіння, град. [6]:

Тоді

$$\Delta t_{cp} = \alpha_1 \cdot \Delta t \cdot \Sigma \frac{\sigma}{\lambda} = 8986,8 \cdot 2 \cdot 3,9 \cdot 10^{-4} = 7^\circ\text{C} \quad (2.27)$$

$$\Delta t_2 = \Delta t_{n1} - \Delta t_{cp} - \Delta t_1 = 12,36 - 7 - 2 = 3,36^\circ\text{C} \quad (2.28)$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки до киплячого розчину для бульбашкового кипіння в вертикальних кип'ятильних трубках при умові циркуляції за рахунок різниці тисків в апараті [6]:

$$\alpha_2 = A \cdot q^{0,6} = 780 \cdot q^{0,6} \frac{\lambda_1^{1,3} \cdot \rho_1^{0,5} \cdot \rho_{n1}^{0,06}}{\sigma_1^{0,5} \cdot r_{e1}^{0,6} \cdot \rho_0^{0,66} \cdot c_1^{0,3} \cdot \mu_1^{0,3}} \quad (2.29)$$

де λ_1 – теплопровідність розчину, Вт/(м·К);

Підставивши числові значення, отримаємо:

$$\begin{aligned} \alpha_2 &= 780 \cdot q^{0,6} \cdot \frac{0,62^{1,3} \cdot 965^{0,5} \cdot 1,62^{0,66}}{0,053^{0,5} \cdot (2165 \cdot 10^3)^{0,6} \cdot 0,579^{0,66} \cdot 39722^{0,3} \cdot (0,11 \cdot 10^{-4})^{0,3}} = \\ &= 33,7(\alpha_1 \cdot \Delta t_1)^{0,6} = 33,7(8986,8 \cdot 2)^{0,6} = 12034 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}). \end{aligned}$$

Перевіримо правильність першого наближення по відповідності навантажень:

$$\Delta t_{ст} = 8986,8 \cdot 2 \cdot 3,9 \cdot 10^{-4} = 7,0 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_2 = 12,36 - 2 - 7,0 = 3,36 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$q' = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 = 8986,8 \cdot 2 = 17937,6 \text{ Вт}/\text{м}^2;$$

$$q'' = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 = 12034 \cdot 3,36 = 24068 \text{ Вт}/\text{м}^2;$$

-розбіжність між значеннями більше 3 % (34 %).

Для другого наближення прийемо $\Delta t_1 = 2,66 \text{ } ^\circ\text{C}$. Знехтувавши зміною фізичних властивостей конденсату при зміні температури на $0,66 \text{ } ^\circ\text{C}$ розраховуємо α_1 по співвідношенню:

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

$$\alpha_1 = \alpha'_1 \cdot \sqrt{\frac{\Delta t'_1}{\Delta t_1}} = 8986,8 \cdot \sqrt{\frac{2}{2,66}} = 7793 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К});$$

Тоді

$$\Delta t_{\text{ст}} = 7793 \cdot 2,66 \cdot 3,9 \cdot 10^{-4} = 8,1 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_2 = 12,36 - 2,66 - 8,1 = 1,6 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\alpha_2 = 33,7 \cdot (7793 \cdot 2,66)^{0,6} = 13109 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К});$$

$$q' = 7793 \cdot 2,66 = 20729 \text{ Вт}/\text{м}^2;$$

$$q'' = 13109 \cdot 1,6 = 20974 \text{ Вт}/\text{м}^2.$$

Розбіжність між значеннями менше 3% (1.1%). Розрахунок коефіцієнта α_1 та α_2 на цьому закінчуємо. Визначаємо K_1 :

$$K_1 = \frac{1}{\frac{1}{7793} + 3,9 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{13109}} = 16818 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

$$\rho_{p2} = \frac{1}{\frac{0,205}{1200} + \frac{1-0,205}{943}} = 986,3 \text{ кг}/\text{м}^3;$$

3-й корпус ($x_{m3} = 0,319$; $\rho_{ж} = 958 \text{ кг}/\text{м}^3$ при $t = 103,4 \text{ }^\circ\text{C}$):

$$\rho_{p3} = \frac{1}{\frac{0,319}{1200} + \frac{1-0,319}{958}} = 1023,9 \text{ кг}/\text{м}^3$$

4-й корпус ($x_{m4} = 0,72$; $\rho_{ж} = 983 \text{ кг}/\text{м}^3$ при $t = 61,26 \text{ }^\circ\text{C}$):

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

$$\rho_{p4} = \frac{1}{\frac{0,72}{1200} + \frac{1-0,72}{983}} = 1130,1 \text{ кг/м}^3;$$

В'язкість розчину [к.3,ф19]:

$$\mu = \mu_{ж} \cdot (1 + 4,5 \cdot \varphi), \quad (2.30)$$

де $\mu_{ж}$ - в'язкість зовнішнього середовища (вода) в якому знаходяться тверді частки, Па·с;

φ - об'ємна концентрація твердих часток в розчині [3].

$$\varphi = \frac{x_m \cdot \rho_p}{\rho_m} \quad (2.31)$$

1-й корпус ($\mu_{ж}=212 \cdot 10^{-6}$ Па·с при $t=130,64$ °C);

$$\varphi_1 = \frac{x_{m1} \cdot \rho_{p1}}{\rho_m} = \frac{0,141 \cdot 965}{1200} = 0,11;$$

Тоді

$$\mu_1 = 212 \cdot 10^{-6} \cdot (1 + 4,5 \cdot 0,11) = 3,2 \cdot 10^{-4} \text{ Па} \cdot \text{с};$$

2-й корпус ($\mu_{ж}=213 \cdot 10^{-6}$ Па·с при $t=120,43$ °C):

$$\varphi_2 = \frac{x_{m2} \cdot \rho_{p2}}{\rho_m} = \frac{0,205 \cdot 968,3}{1200} = 0,17;$$

Тоді

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

$$\mu_2 = 231 \cdot 10^{-6} \cdot (1 + 4,5 \cdot 0,17) = 4,1 \cdot 10^{-4} \text{ Па} \cdot \text{с};$$

3-й корпус ($\mu_{ж} = 280 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$ при $t = 103,4 \text{ }^\circ\text{C}$):

$$\varphi_3 = \frac{x_{m3} \cdot \rho_{p3}}{\rho_m} = \frac{0,319 \cdot 1023,9}{1200} = 0,27;$$

Тоді

$$\mu_3 = 280 \cdot 10^{-6} \cdot (1 + 4,5 \cdot 0,27) = 6,2 \cdot 10^{-4} \text{ Па} \cdot \text{с};$$

4-й корпус ($\mu_{ж} = 470 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$ при $t = 62,26 \text{ }^\circ\text{C}$):

$$\varphi_4 = \frac{x_{m4} \cdot \rho_{p4}}{\rho_m} = \frac{0,72 \cdot 1130,1}{1200} = 0,68$$

Тоді

$$\mu_4 = 470 \cdot 10^{-6} \cdot (1 + 4,5 \cdot 0,68) = 19,1 \cdot 10^{-4} \text{ Па} \cdot \text{с};$$

Теплопровідність розчину [5]:

$$\lambda = \lambda_g \cdot \frac{\omega}{100} + \lambda_{c.g.} \cdot \frac{100 - \omega}{100}, \quad (2.32)$$

де $\omega = 1 - B_k$ – вміст води в розчині, % мас.;

B_k – концентрація сухих речовин в розчині, % мас.;

$$\omega_1 = 100 - B_{k1} = 100 - 14,4 = 85,9 \text{ \% мас.};$$

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

$$\omega_2=100-B_{к2}=100-20,5=79,5 \text{ \% мас.};$$

$$\omega_3=100-B_{к3}=100-31,9=68,1\% \text{ мас.};$$

$$\omega_4=100-B_{к4}=100-72= 28,0\% \text{ мас.};$$

$\lambda_{в}$ – теплопровідність рідини (води), Вт/(м·К) [5]:

$$\lambda_{в1}=68,6 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/(м·К) при } t=130,64 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\lambda_{в2}=68,6 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/(м·К) при } t=120,43^\circ\text{C};$$

$$\lambda_{в3}=68,4 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/(м·К) при } t=103,39 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\lambda_{в4}=65,9 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/(м·К) при } t=61,26^\circ\text{C};$$

$\lambda_{с.в.}=0,23 \text{ Вт/(м·К)}$ – теплопровідність сухих речовин розчину;
тоді

$$\lambda_1=68,6 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{85,9}{100} + 0,23 \cdot \frac{100-85,9}{100} = 0,62 \text{ Вт/(м·К)};$$

$$\lambda_2=68,6 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{79,5}{100} + 0,23 \cdot \frac{100-79,5}{100} = 0,59 \text{ Вт/(м·К)}$$

$$\lambda_3=68,4 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{68,1}{100} + 0,23 \cdot \frac{100-68,1}{100} = 0,54 \text{ Вт/(м·К)};$$

$$\lambda_4=65,9 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{28}{100} + 0,23 \cdot \frac{100-28}{100} = 0,35 \text{ Вт/(м·К)}.$$

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

Отримані дані зводимо в таблиці 2.2

Таблиця 2.2

Величина	Кор. 1	Кор. 2	Кор. 3	Кор. 4
Теплопровідність розчину λ , Вт/(м·К)	0,62	10,59	10,54	0,35
Густина розчину ρ , кг/м ³	965	986,3	1023,9	1130,1
Теплоємність розчину c , Дж/(кг·К)	3972,2	3613	3293,8	2162
В'язкість розчину μ , Па·с	$0,11 \cdot 10^{-4}$	$4,1 \cdot 10^{-4}$	$6,2 \cdot 10^{-4}$	$16,1 \cdot 10^{-4}$
Поверхнєве напруження σ , Н/м [к.2, ст.509]	0,053	0,056	0,058	0,066
Теплота пароутворення r_v , Дж/кг	$2165 \cdot 10^3$	$2190 \cdot 10^3$	$2245 \cdot 10^3$	$2350 \cdot 10^3$
Густина пари ρ_p , кг/м ³ (дод.1, ст.350,к.3)	1,62	1,11	0,69	0,13

Підставивши числові значення, отримаємо:

$$\alpha_2 = 780 \cdot q^{0,6} \cdot \frac{0,62^{1,3} \cdot 965^{0,5} \cdot 1,62^{0,06}}{0,053^{0,5} \cdot (2165 \cdot 10^3)^{0,6} \cdot 0,579^{0,66} \cdot 3972,2^{0,3} \cdot (0,11 \cdot 10^{-4})^{0,3}} =$$

$$= 33,7 \cdot (\alpha_1 \cdot \Delta t_1)^{0,6} = 33,7 \cdot (8986,8 \cdot 2)^{0,6} = 12034 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Перевіримо правильність першого наближення по відповідності теплових навантажень:

$$\Delta t_{ст} = 8986,8 \cdot 2 \cdot 3,9 \cdot 10^{-4} = 7,0 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_2 = 12,36 - 2 - 7,0 = 3,36 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$q' = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 = 8986,8 \cdot 2 = 17937,6 \text{ Вт}/\text{м}^2;$$

$$q'' = \alpha_2 \cdot \Delta t_2 = 12034 \cdot 3,36 = 24068 \text{ Вт}/\text{м}^2;$$

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

- розбіжність між значеннями більше 3% (34%).

Для другого наближення прийmemo $\Delta t_1=2,66$ °C. Знехтувавши зміною фізичних властивостей при зміні температури на 0,66 °C розраховуємо α_1 по співвідношенню:

$$\alpha_1 = \alpha'_1 \cdot \sqrt{\frac{\Delta t'_1}{\Delta t_1}} = 8986,8 \cdot \sqrt{\frac{2}{2,66}} = 7793 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К});$$

Тоді

$$\Delta t_{\text{ст}} = 7793 \cdot 2,66 \cdot 3,9 \cdot 10^{-4} = 8,1 \text{ °C};$$

$$\Delta t_2 = 12,36 - 2,66 - 8,1 = 1,6 \text{ °C};$$

$$\alpha_2 = 33,7 \cdot (7793 \cdot 2,66)^{0,6} = 13109 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К});$$

$$q' = 7793 \cdot 2,66 = 20729 \text{ Вт}/\text{м}^2;$$

$$q'' = 13109 \cdot 1,6 = 20974 \text{ Вт}/\text{м}^2.$$

Розбіжність між значеннями менше 3%(1,1%). Розрахунок коефіцієнта α_1 та α_2 на цьому закінчуємо. Визначаємо K_1 :

$$K_1 = \frac{1}{\frac{1}{7793} + 3,9 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{13109}} = 1681,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Далі визначаємо коефіцієнт теплопередачі для 2-го корпусу K_2 .

Розрахунок α_1 проводимо методом послідовних наближень. В першому наближенні прийmemo $\Delta t_1=1,3$ град. Тоді

$$r_1 = 2238 \text{ кДж}/\text{кг} \text{ при } t_n = 128,93 \text{ °C [5];}$$

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

$t_{пл.}=127-1,3/2=126,35 \text{ }^\circ\text{C}$, при якій $\rho_{ж1}=937 \text{ кг/м}^3$, $\lambda_{ж1}=0,686 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$,
 $\mu_{ж1}=222 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}$ [3];

$$\alpha_1=2,04 \cdot \sqrt[4]{\frac{2238 \cdot 10^3 \cdot 937^2 \cdot 0,686^3}{222 \cdot 10^{-6} \cdot 4 \cdot 1,3}} = 9877 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}.$$

$$\Delta t_{ст.}=9877 \cdot 1,3 \cdot 3,9 \cdot 10^{-4} = 5,0 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_2=8,5-1,3-5,0=2,2 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\alpha_2=780 \cdot q^{0,6} \cdot \frac{0,59^{1,3} \cdot 986,3^{0,5} \cdot 1,1^{0,66}}{0,056^{0,5} (2190 \cdot 10^3)^{0,6} \cdot 0,579^{0,66} \cdot 3613^{0,3} \cdot (4,1 \cdot 10^{-4})^{0,3}} =$$

$$=10,49 \cdot (\alpha_1 \cdot \Delta t_1)^{0,6} = 10,49 (9877 \cdot 1,3)^{0,6} = 3061,4 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$$

Перевіримо правильність першого наближення по відповідності теплових навантажень:

$$q'=\alpha_1 \cdot \Delta t_1=9877 \cdot 1,3=12840 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q''=\alpha_2 \cdot \Delta t_2=3061,4 \cdot 2,2=6735 \text{ Вт/м}^2;$$

- розбіжність між значеннями більше 3 % (48 %).

Для другого наближення прийmemo $\Delta t_1=0,8 \text{ }^\circ\text{C}$. Знехтувавши зміною фізичних властивостей конденсату при зміні температури на $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ розраховуємо α_1 по співвідношенню:

$$\alpha_1 = \alpha'_1 \cdot \sqrt{\frac{\Delta t'_1}{\Delta t_1}} = 9877 \cdot \sqrt{\frac{1,3}{0,8}} = 12591 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)};$$

Тоді

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

$$\Delta t_{cr}=12591 \cdot 0,8 \cdot 3,9 \cdot 10^{-4}=3,9 ;$$

$$\Delta t_2=8,5-0,8-3,9=3,8 \text{ }^\circ\text{C} ;$$

$$\alpha_2=10,49 \cdot (12591 \cdot 0,8)^{0,6}=2646 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К});$$

$$q'=12591 \cdot 0,8=10073 \text{ Вт}/\text{м}^2;$$

$$q''=2646 \cdot 3,8=10055 \text{ Вт}/\text{м}^2.$$

Розбіжність між значеннями менше 3% (0,2%). Розрахунок коефіцієнта α_1 та α_2 на цьому закінчуємо. Визначаємо K_2 :

$$K_2 = \frac{1}{\frac{1}{12591} + 3,9 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{2646}} = 1180 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Далі визначаємо коефіцієнт теплопередачі для 3-го корпусу K_3 .

Розрахунок α_1 проводимо методом послідовних наближень. В першому наближенні прийmemo $\Delta t_1=1$ град. Тоді

$$r_1=2210 \text{ кДж}/\text{кг} \text{ при } t_n=118,19 \text{ }^\circ\text{C} \text{ [5];}$$

$$t_{пл.}=116-1/2=115,5 \text{ }^\circ\text{C}, \text{ при якій } \rho_{ж1}=947 \text{ кг}/\text{м}^3, \lambda_{ж1}=0,6855 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}), \\ \mu_{ж1}=243 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с} \text{ [к.2,ст.520]}$$

$$\alpha_1 = 2,04 \cdot \sqrt[4]{(2210 \cdot 10^3 \cdot 947^2 \cdot 0,6855^3)/(242 \cdot 10^{-6} \cdot 4 \cdot 1)} = 10327,4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

$$\Delta t_{cr}=10327,4 \cdot 1 \cdot 3,9 \cdot 10^{-4}= 4,0 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_2=14,7-1-4,0=9,7 \text{ }^\circ\text{C};$$

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

$$\alpha_2 = 780 \cdot q^{0.6} \cdot \frac{0,54^{1.3} \cdot 10239^{0.5} \cdot 0,69^{0.06}}{0,058^{0.5} \cdot (2245 \cdot 10^3)^{0.6} \cdot 0,579^{0.66} \cdot 32938^{0.3} \cdot (6,2 \cdot 10^{-4})^{0.3}} =$$

$$= 8,1 \cdot (\alpha_1 \cdot \Delta t_1)^{0.6} = 8,1 \cdot (10327,4 \cdot 1)^{0.6} = 2074,3 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Перевіримо правильність першого наближення по відповідності теплових навантажень:

$$q' = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 = 10327,4 \cdot 1 = 10327,4 \text{ Вт}/\text{м}^2;$$

$$q'' = \alpha_2 \cdot \Delta t_2 = 2074,3 \cdot 9,7 = 20121 \text{ Вт}/\text{м}^2;$$

-розбіжність між значеннями більше 3% (95%).

Для другого наближення приймемо $\Delta t_1 = 2,6 \text{ }^\circ\text{C}$. Знехтувавши зміною фізичних властивості конденсату при зміні температури на $1,6 \text{ }^\circ\text{C}$ розраховуємо α_1 по співвідношенню:

$$\alpha_1 = \alpha_1' \cdot \sqrt{\frac{\Delta t_1'}{\Delta t_1}} = 10327,4 \cdot \sqrt{\frac{1}{2,45}} = 6598 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К});$$

Тоді

$$\Delta t_{\text{ст}} = 6598 \cdot 2,45 \cdot 3,9 \cdot 10^{-4} = 6,3 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_2 = 14,7 - 2,45 - 6,3 = 5,95 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\alpha_2 = 8,1 \cdot (6598 \cdot 2,45)^{0.6} = 2714 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К});$$

$$q' = 6598 \cdot 2,45 = 16165 \text{ Вт}/\text{м}^2;$$

$$q'' = 2714 \cdot 5,95 = 16148 \text{ Вт}/\text{м}^2;$$

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

Розбіжність між значеннями менше 3% (0,1%). Розрахунок коефіцієнта α_1 та α_2 на цьому закінчуємо. Визначаємо K_3 :

$$K_3 = \frac{1}{\frac{1}{6598} + 3,9 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{2714}} = 1099 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Далі визначаємо коефіцієнт теплопередачі для 4-го корпусу K_4 . Розрахунок α_1 проводимо методом послідовних наближень.

В першому наближенні прийmemo $\Delta t_1 = 8 \text{ }^\circ\text{C}$.

Тоді:

$r_1 = 2264 \text{ кДж}/\text{кг}$ при $t_{\text{п}} = 99,55 \text{ }^\circ\text{C}$ [3,533]; $t_{\text{пл}} = 97 - 1/8 = 89 \text{ }^\circ\text{C}$, при якій $\rho_{\text{ж1}} = 965 \text{ кг}/\text{м}^3$, $\lambda_{\text{ж1}} = 0,675 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, $\mu_{\text{ж1}} = 355 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$ [5];

$$\alpha_1 = 2,04 \cdot \sqrt[4]{\frac{2264 \cdot 10^3 \cdot 965^2 \cdot 0,675^3}{355 \cdot 10^{-6} \cdot 4 \cdot 8}} = 5607,2 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

$$\Delta t_{\text{ст}} = 5607,2 \cdot 8 \cdot 3,9 \cdot 10^{-4} = 17,5 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_2 = 38,3 - 8 - 17,5 = 12,8 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\begin{aligned} \alpha_2 &= 780 \cdot q^{0,6} \cdot \frac{0,35^{1,3} \cdot 1130,1^{0,5} \cdot 0,13^{0,66}}{0,066^{0,5} \cdot (2350 \cdot 10^3)^{0,6} \cdot 0,579^{0,66} \cdot 2162^{0,3} \cdot (19,1 \cdot 10^{-4})^{0,3}} = \\ &= 3,3 \cdot (\alpha_1 \cdot \Delta t_1)^{0,6} = 3,3 \cdot (5607,2 \cdot 8)^{0,6} = 2040 \text{ Вт}/\text{м}^2. \end{aligned}$$

Перевіримо правильність першого наближення по відповідності теплових навантажень:

$$q' = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 = 5607,2 \cdot 8 = 44858 \text{ Вт}/\text{м}^2;$$

$$q'' = \alpha_2 \cdot \Delta t_2 = 2040 \cdot 12,8 = 26112 \text{ Вт}/\text{м}^2;$$

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

- розбіжність між значеннями більше 3% (42%).

Для другого наближення прийmemo $\Delta t_1=5$ °C. Знехтувавши зміною фізичних властивостей конденсату при зміні температури на 0,6°C розраховуємо α_1 по співвідношенню:

$$\alpha_1 = \alpha'_1 \cdot \sqrt{\frac{\Delta t'_1}{\Delta t_1}} = 5607,2 \cdot \sqrt{\frac{8}{5}} = 7093 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К});$$

Тоді

$$\Delta t_{\text{ст}} = 7093 \cdot 5 \cdot 3,9 \cdot 10^{-4} = 13,8 \text{ °C};$$

$$\Delta t_1 = 38,3 - 5 - 13,8 = 19,5 \text{ °C};$$

$$\alpha_2 = 3,3 \cdot (7093 \cdot 5)^{0,6} = 1772 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К});$$

$$q' = 7093 \cdot 5 = 35465 \text{ Вт}/\text{м}^2;$$

$$q'' = 1772 \cdot 19,5 = 34554 \text{ Вт}/\text{м}^2;$$

Розбіжність між значеннями менше 3% (2,6%). Розрахунок коефіцієнта α_1 та α_2 на цьому закінчуємо. Визначаємо K_4 :

$$K_4 = \frac{1}{\frac{1}{7093} + 3,9 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{1772}} = 1410 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Теплові навантаження на відповідний корпус:

$$q_1 = \frac{q'_1 + q''_1}{2} = \frac{20729 + 20974}{2} = 20851,5 \text{ Вт}/\text{м}^2;$$

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

$$q_2 = \frac{q'_2 + q''_2}{2} = \frac{10073 + 10055}{2} = 10064 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_3 = \frac{q'_3 + q''_3}{2} = \frac{16165 + 16148}{2} = 16156,5 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_4 = \frac{q'_4 + q''_4}{2} = \frac{35465 + 34554}{2} = 20851,5 \text{ Вт/м}^2.$$

Кількість теплоти що передається відповідно по корпусам [5]:

$$Q = W \cdot (i - t_K \cdot 4,19),$$

де W - кількість випареної води в корпусі, кг/с;

i – ентальпія грючої пари, Дж/кг [5] :

$$i_1 = 2738 \text{ кДж при } t = 143^\circ\text{C};$$

$$i_2 = 2720 \text{ кДж при } t = 128,93^\circ\text{C};$$

$$i_3 = 2705 \text{ кДж при } t = 118,09^\circ\text{C};$$

$$i_4 = 2675 \text{ кДж при } t = 99,55^\circ\text{C};$$

t_K – температура конденсату, °C;

тоді

$$Q_1 = 2,18 \cdot (2738 - 140 \cdot 4,19) = 4690 \text{ Дж/кг};$$

$$Q_2 = 0,89 \cdot (2720 - 127 \cdot 4,19) = 2311 \text{ Дж/кг};$$

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

$$Q_3=0,7 \cdot (2705-116 \cdot 4,19)=1553 \text{ Дж/кг};$$

$$Q_4=0,7 \cdot (2675-97 \cdot 4,19)=1588 \text{ Дж/кг}.$$

Поверхня нагріву кожного корпусу [5]:

$$F_1 = \frac{4690 \cdot 10^3}{1681,8 \cdot 12,36} = 225,6 \text{ м}^2;$$

$$F_2 = \frac{2311 \cdot 10^3}{1180 \cdot 8,5} = 230,4 \text{ м}^2;$$

$$F_3 = \frac{1553 \cdot 10^3}{1099 \cdot 14,7} = 96 \text{ м}^2;$$

$$F_4 = \frac{1588 \cdot 10^3}{1410 \cdot 38,9} = 29,4 \text{ м}^2;$$

2.3 Конструктивні розрахунки

Зважаючи, що кожний випарний апарат має два кип'ятильника, то:

$$n_d = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 115,2}{3 \cdot \frac{3}{1} \cdot 0,074 \cdot 0,179}} = 15,6 \text{ шт.}$$

Приймаємо $n_d = 16$ шт,

Тоді

$$n=0,75 \cdot (16^2 - 1) + 1 = 192 \text{ шт.}$$

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

Діаметр трубної ґратки або внутрішній діаметр кожуха теплообмінника (кип'ятильника) [7]:

$$D=(n_d-1) \cdot t+4 \cdot d_n=(16-1) \cdot 0,074+4 \cdot 0,057=1,34 \text{ м}, \quad (2.33)$$

Приймаємо згідно рекомендацій [5] $D=1600 \text{ мм}$.

Робоча довжина (l) однієї труби кип'ятильника [7]:

$$l=\beta \cdot D=\frac{3}{1} \cdot 1,34=4,0 \text{ м}, \quad (2.34)$$

Приймаємо довжину труб 4,0 м.

Повна висота теплообмінника (H), м [7]:

$$H=l+2 \cdot \delta +h_1 +h_2 , \quad (2.35)$$

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

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

$h_2=0,1 \dots 0,3$ - висота нижньої камери, приймаємо $h_2=0,3 \text{ м}$;

h_1 - висота верхньої (парової) камери, приймаємо $h_1=0,4 \text{ м}$;

тоді

$$H=4+2 \cdot 0,012+0,4+0,3=4,724 \text{ м}.$$

Визначаємо об'єм сепараційного простору для вторинної пари [5]:

$$V_n=\frac{W}{\rho \cdot A} , \quad (2.36)$$

де $W=1,05 \text{ кг/с}$ - кількість випареної води;

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

$\rho=1,12$ кг/м - густина вторинної пари при $t=119,9$ °С [5];

$A=0,388$ м³ / (м³ · с) - напруга парового простору;

Тоді

$$V_n = \frac{1,05}{1,12 \cdot 0,388} = 2,4 \text{ м}^3,$$

приймаємо об'єм апарата із номінального ряду [5]

$$V_n = 2,5 \text{ м}^3.$$

Визначаємо висоту сепараційного простору (H_n), м [5]:

$$H_n = \frac{4 \cdot V_n}{\pi \cdot D^2}, \quad (2.37)$$

де D - діаметр парового простору, м (в зв'язку з тангенціальним розташуванням патрубків для входу бардяної суміші конструктивно приймаємо [5] $D=1,6$ м):

$$H_n = \frac{4 \cdot 2,5}{\pi \cdot 1,6^2} = 1,24 \text{ м},$$

Згідно рекомендацій висоту сепараційного простору (при випарюванні пінних рідин) приймаємо $H_n=3$ м.

Визначаємо діаметри патрубків [5]:

$$d = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{G}{\rho \cdot \omega}}, \quad (2.38)$$

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

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

ρ - густина речовини, що проходить через патрубок, кг/м^3 ;

ω - швидкість речовини, що проходить через патрубок, кг/с .

Діаметр патрубку для подачі 2-ї (гріючої) пари в кип'ятильник (d_1), м ($G_1 = W_1/2 = 2,6/2 = 1,3$ кг/с ; $\rho = 1,49$ кг/м^3 при $t = 129,9^\circ\text{C}$; $\omega = 20$ м/с (ст. 59, к. 1)):

$$d_1 = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{G_1}{\rho_1 \cdot \omega_1}} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{1,3}{1,49 \cdot 20}} = 0,236 \text{ м,}$$

Приймаємо із стандартного ряду $d_1 = 250$ мм.

Діаметр патрубку для виходу бардяної суміші з кип'ятильника (входу в сепаратор)(d_2),

$$(G_{p2} = \frac{S - W_1 - W_2}{2} = \frac{10 - 4,3 - 1,74}{2} = 1,98 \text{ кг/с;}$$

$$\rho_{p2} = \frac{1}{\frac{x_m}{\rho_m} + \frac{1 - x_m}{\rho_{ж}}} = \frac{1}{\frac{0,228}{1200} + \frac{1 - 0,228}{944}} = 992 \text{ кг/м}^3$$

($\rho = 1200$ кг/м^3 - густина твердих частинок; $x_{m2} = 0,228$ (22,8 %); $\rho_{ж} = 944$ кг/м^3 при $t = 121,5$ $^\circ\text{C}$) - витрата та густина рідини в суміші;

$$G_{n2} = \frac{W_2}{2} = \frac{1,05}{2} = 0,53 \text{ кг/с;}$$

$\rho_{n2} = 1,12$ кг/м^3 - витрата та густина вторинної пари в суміші

(при $t_1 = 119,9$ $^\circ\text{C}$); $\omega_2 = 10$ м/с (ст. 59, к. 1):

$$d_2 = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{G_2}{\rho_2 \cdot \omega_2}} = 1,13 \cdot \sqrt{\left(\frac{G_{n2}}{\rho_{n2}} + \frac{G_{p2}}{\rho_{p2}}\right) / 10} = 1,13 \cdot \sqrt{\left(\frac{0,53}{1,12} + \frac{1,18}{992}\right) / 10} = 0,246 \text{ м,}$$

Приймаємо із стандартного ряду $d_2 = 250$ мм.

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

Діаметр патрубкa для відводу конденсату з кип'ятильника (d_3), м ($G_3 = 2,6/2 = 1,3$ кг/с; $\rho_3 = 937$ кг/м при $t = 127$ °С - кількість та густина конденсату; $\omega = 0,2$ м/с (ст. 59, к. 1)):

$$d_3 = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{G_3}{\rho_3 \cdot \omega_3}} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{1,3}{937 \cdot 0,2}} = 0,094 \text{ м,}$$

Приймаємо із стандартного ряду $d_3 = 100$ мм.

Діаметр патрубкa для входу барди в кип'ятильник (d_4), м ($G_4 = \frac{S - W_1}{2} = \frac{6 - 2,6}{2} = 1,7$ кг/с; $\rho_4 = \rho_{p1} = \frac{1}{\frac{x_m}{\rho_m} + \frac{1 - x_m}{\rho_{ж}}} = \frac{1}{\frac{0,158}{1200} + \frac{1 - 0,158}{933}} = 997$ кг/м ($\rho_r = 1200$ кг/м³ - густина твердих частинок; $x_r = 0,158$ (15,8 %); $\rho_{ж} = 933$ кг/м³ при $t = 131,8$ °С - витрата та густина розчину; $\omega = 0,3$ м/с (ст. 169, к.3)):

$$d_4 = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{G_4}{\rho_4 \cdot \omega_4}} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{1,7}{997 \cdot 0,5}} = 0,066 \text{ м,}$$

Приймаємо із стандартного ряду $d_4 = 70$ мм.

Діаметр патрубкa для виходу вторинної пари з сепаратора (d_5), м ($G_5 = W_2 = 1,05$ кг/с; $\rho_5 = 1,12$ кг/м³ при $t = 119,9$ °С

- кількість та густина вторинної пари; $\omega_5 = 18$ м/с[3]:

-

$$d_5 = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{G_5}{\rho_5 \cdot \omega_5}} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{1,05}{1,12 \cdot 18}} = 0,27 \text{ м,}$$

Приймаємо із стандартного ряду $d_5 = 300$ мм.

Діаметр патрубкa для виходу упареної барди з сепаратора (d_6), м ($G_6 = S - W_1 - W_2 = 6 - 2,6 - 1,05 = 2,35$ кг/с; $\rho_6 = \rho_{p2} = 992$ кг/м³ - витрата та густина розчину; $\omega_6 = 0,5$ м/с[3]):

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

$$d_6 = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{G}{\rho_6 \cdot \omega_6}} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{2,35}{992 \cdot 0,5}} = 0,086 \text{ м,}$$

Приймаємо із стандартного ряду $d_6 = 100$ мм.

Діаметр патрубка для входу циркуляційного розчину з сепаратора (d_7), м (переріз циркуляційної труби становить 20% від загальної площі всіх трубок в кип'ятильнику); враховуючи наявність двох кип'ятильників:

$$d_7 = d_{в.т} \cdot \sqrt{\frac{n \cdot \pi}{5 \cdot 2}} = 0,052 \cdot \sqrt{\frac{192 \cdot 3,14}{5 \cdot 2}} = 0,4 \text{ м,}$$

де $d_{в.т} = 0,052$ м - внутрішній діаметр кип'ятільних трубок;

$n = 192$ шт - кількість трубок в кип'ятильнику.

Приймаємо $d_7 = 400$ мм.

2.4 Гідравлічний опір апарата

Оптимальний рівень киплячої рідини (для оптимальних умов тепловіддачі) [4]:

$$h_0 = (0,26 + 0,0014 \cdot (\rho_p - \rho_v)) \cdot H_{тр} = (0,26 + 0,0014 \cdot (992 - 943)) \cdot 4 = 1,31 \text{ м,} \quad (2.39)$$

де $\rho_p = \rho_{p2} = 992$ кг/м³ - кінцева густина розчину барди;

$\rho_v = 942$ кг/м³ - густина води при $t = 121,5$ °С; [4]

$H_{тр} = 4$ м - висота труб в кип'ятильнику.

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

Втрата тиску в трубному просторі [5]:

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

$$\Delta p = \Delta p_{\text{тр}} + \Delta p_{\text{м.о}} = \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \xi \right) \cdot \frac{\omega_{\text{ц}}^2 \cdot \rho_{\text{б}}}{2}, \quad (2.40)$$

де λ – коефіцієнт опору тертя в трубному просторі, який визначається відносно значення критерію Рейнольдса:

$$\text{Re} = \frac{\omega_{\text{ц}} \cdot d_{\text{вн}} \cdot \rho_{\text{б}}}{\mu_{\text{б}}} = \frac{0,2 \cdot 0,052 \cdot 992}{4,2 \cdot 10^{-4}} = 24564$$

де $\rho_{\text{б}} = 992$ кг/м,³ - густина розчину барди при $t = 121,5^{\circ}\text{C}$;

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

$\mu_{\text{б}}$ - коефіцієнт динамічної в'язкості розчину барди:

$$\mu_{\text{б}} = \mu_{\text{ж}} \cdot (1 + 4,5 \cdot \varphi), \quad (2.41)$$

де $\mu_{\text{ж}}$ - в'язкість зовнішнього середовища (води) в якому знаходяться тверді частки, Па·с;

φ - об'ємна концентрація твердих часток в розчині [4]:

($\mu_{\text{ж}} = 229 \cdot 10^{-6}$ Па·с при $t = 121,5^{\circ}\text{C}$):

$$\varphi_2 = \frac{x_{\text{м2}} \cdot \rho_{\text{р2}}}{\rho_{\text{м}}} = \frac{0,228 \cdot 992}{1200} = 0,19; \quad (2.42)$$

тоді

$$\mu_2 = 229 \cdot 10^{-6} \cdot (1 + 4,5 \cdot 0,19) = 4,2 \cdot 10^{-4} \text{ Па} \cdot \text{с};$$

тоді [5]:

$$\lambda = \frac{1}{(1,8 \cdot \lg \text{Re} - 1,5)^2} = \frac{1}{(1,8 \cdot \lg 24564 - 1,5)^2} = 0,024; \quad (2.43)$$

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

$$l=H \cdot n=4 \cdot 192=768 \text{ м,}$$

де $H=4$ м - висота кип'ятильних труб;

$n=192$ шт - кількість кип'ятильних труб в одному кип'ятильнику;

$d=d_{\text{вн}}=0,052$ м;

$\Sigma \xi = (1+1,5) \cdot 271 = 677,5$ - сума коефіцієнта місцевих опорів (1,5 - коефіцієнт місцевого опору при вході в камеру (виході з камери);

1 - коефіцієнт місцевого опору при вході в труби (виході з труби)[5];

$$\text{тоді } \Delta p_1 = (0,024 \cdot \frac{768}{0,052} + 677,5) \frac{0,3^2 \cdot 992}{2} = 46067 \text{ Па.}$$

Втрата тиску в міжтрубному просторі по формулі (2.28), яка прийме вигляд ($\Delta p_{\text{тр}}=0$):

$$\Delta p_2 = \Delta p_{\text{м.о}} = \Delta p_{\text{вх}} + \Delta p_{\text{вих}} = \sum \xi_{\text{вх}} \cdot \frac{\omega_{\text{вх}}^2 \cdot \rho_n}{2} + \sum \xi_{\text{вих}} \cdot \frac{\omega_{\text{вих}}^2 \cdot \rho_k}{2}, \quad (2.44)$$

де $\Sigma \xi_{\text{вх}} = 1,5 + 1 = 2,5$ - сума коефіцієнтів місцевих опорів при вході пари в між трубний простір та повороті в міжтрубному просторі на 90° ;) [5]

$\Sigma \xi_{\text{вих}} = 1,5 + 1 = 2,5$ - сума коефіцієнта місцевих опорів при виході конденсату з міжтрубного простору та повороті в між трубному просторі на 90°) [5];

$\omega_{\text{вх}}$ - швидкість та густина пару який поступає в міжтрубний простір ($\omega_{\text{вх}}=20$ м/с, $\rho_n=1,49$ кг/м³);

$\omega_{\text{вих}}$ - швидкість та густина конденсату, який виходить з міжтрубного простору ($\omega_{\text{вих}}=0,2$ м/с, $\rho_n=397$ кг/м³);

тоді

$$\Delta p_2 = 2,5 \cdot \frac{20^2 \cdot 1,49}{2} + 2,5 \cdot \frac{0,2^2 \cdot 937}{2} = 750 \text{ Па.}$$

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

2.5 Вибір допоміжного обладнання [5]

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

$$t_{\text{н}} = 50,1 - 1 = 49,1^{\circ}\text{C} \quad [5]:$$

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

Витрата води на охолодження [5]:

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

де $D = W = 1,4$ кг/с - кількість сконденсованої пари;

$i = 2588$ кДж/кг - ентальпія пари (при $t = 49,1$ °С);

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

$c_{\text{в}} = 4,18$ кДж/(кг·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 $t_{\text{н}} = 49,1$ °С:

$$p = 12 \text{ кПа} \quad [5]$$

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

Парціальний тиск водяної пари $t_b = 26,2$ °C:

$$p_n = 3,4 \text{ кПа [5]}$$

а парціальний тиск повітря $p_b = p - p_n = 12 - 3,4 = 8,6$ кПа.

Об'єм відсмоктуючого повітря [5]:

$$V_B = \frac{288 \cdot G_B \cdot (273 + t_B)}{P_B} = \frac{288 \cdot 0,015 \cdot (273 + 26,2)}{8,6 \cdot 10^3} = 0,15 \text{ м}^3/\text{с}, \quad (2.49)$$

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

Відповідно отриманому об'єму повітря $V_B = 0,15$ м³/с необхідно розрідженні $0,89 \cdot 10^5$ 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.

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 корпуса - 1500 мм; вага - 3360 кг).

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

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

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

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 6Х18 (діаметр робочого колеса – 180 мм; продуктивність – 118 м³ /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 [5]:

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

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

c_6 - теплоємність барди, Дж/(кг·К) [5]:

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

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):

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

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

- підігрівачі другої групи ($t_1 = 105 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_2 = 120 \text{ }^\circ\text{C}$):

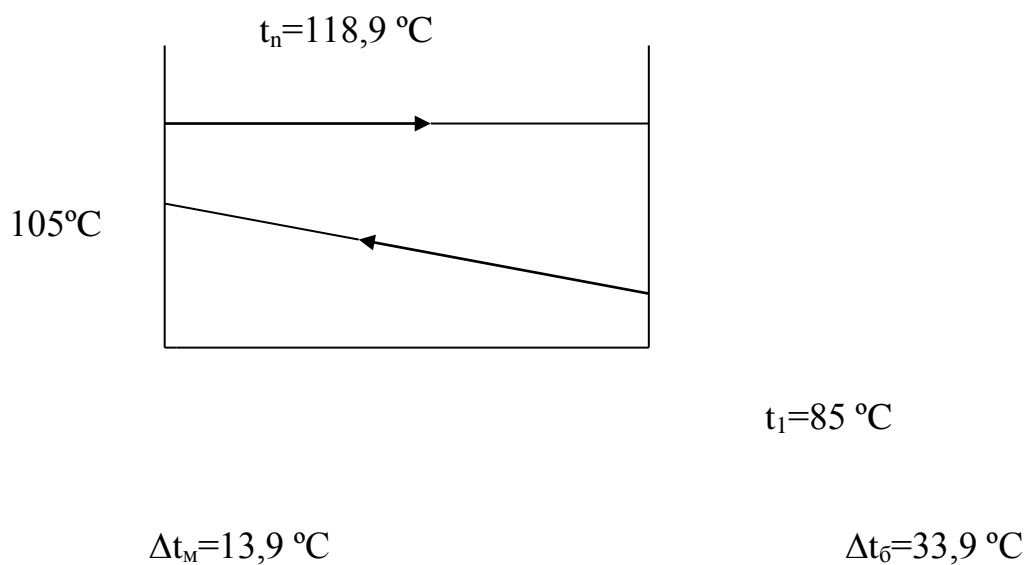
$$Q_2 = 10 \cdot 3935 \cdot (120 - 105) \cdot 1,05 = 619763 \text{ Вт};$$

- підігрівачі третьої групи ($t_1 = 120 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_2 = 131,8 \text{ }^\circ\text{C}$):

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

Середня різниця температур визначається згідно відповідних графіків температурного навантаження:

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



по формулі [к. 3, ф. 126]:

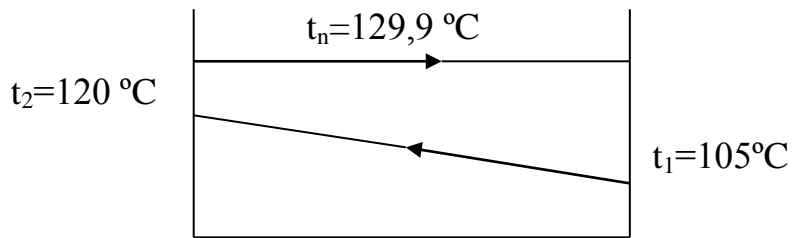
$$\frac{\Delta t_6}{\Delta t_m} = \frac{33,9}{13,9} = 2,4 > 2,$$

тоді

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

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

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



$$\Delta t_{\mathcal{M}} = 9,9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

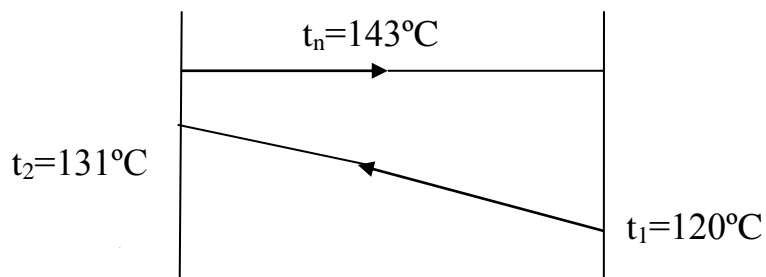
$$\Delta t_{\delta} = 24,9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\mathcal{M}}} = \frac{24,9}{9,9} = 2,5 > 2,$$

тоді

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

- для підігрівачів третьої групи (підігрів гриноюю парою):



$$\Delta t_{\mathcal{M}} = 12 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{\delta} = 23 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ

Арк.

52

по формулі [5]:

$$\frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\text{м}}} = \frac{23}{12} = 1,9 > 2,$$

тоді

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{\Delta t_{\delta} + \Delta t_{\text{м}}}{2} = \frac{23+12}{2} = 17,5 \text{ }^{\circ}\text{C}. \quad (2.56)$$

Згідно рекомендацій [3] 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):

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

$$F_1 = \frac{826350}{600 \cdot 22,4} = 61,5 \text{ м}^2 ;$$

$$F_2 = \frac{619763}{700 \cdot 16,3} = 54,3 \text{ м}^2 ;$$

$$F_3 = \frac{487547}{800 \cdot 17,5} = 35 \text{ м}^2 .$$

Приймаємо для всіх трьох груп підігрівачів кожухотрубні теплообмінники [6] марки (ГОСТ 15122-79) з поверхнею теплообмінна 35 м² (теплообмінник з нерухомими трубними ґратками в вертикальному виконанні

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

(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.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

3 РОЗРАХУНОК АПАРАТА НА МІЦНІСТЬ ТА ГЕРМЕТИЧНІСТЬ

3.1 Визначення товщини стінки апарата, кришки [7]

Приймаємо розрахункові параметри, згідно умов експлуатації й завдання на проектування. За розрахункову температуру ухвалюємо максимально можливу температуру:

$$t = 130^{\circ}\text{C}.$$

Розрахунковий тиску прийняти рівним максимально можливому при мінімальному протіканні технологічного процесу без обліку гідростатичного, тому що тиску стовпа рідини не перевищує 5% від робочого [7]

$$p = 0,10 \text{ Мпа (надлишковий)}.$$

Збільшення на корозію в цьому випадку дорівнює нулю, тому що застосовується харчова нержавіюча сталь 12Х18Н10Т:

$$c=0.$$

Коефіцієнт міцності зварених швів - для стикової із двостороннім проваром, виконаним автоматичним і напівавтоматичним зварюванням при контролі швів по довжині до 50% [7].

Напруга, що допускається для матеріалу (сталь 12Х18Н10Т) циліндричної стінки царг колони й еліптичного днища (кришки) при 20 і розрахунковій температурі відповідно:

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

$$[\sigma]_{20} = 184 \text{ МПа};$$

$$[\sigma] = 173 \text{ МПа.}$$

Розрахункове значення границі текучості для сталі 12Х18Н10Т [7]:

$$\sigma_{m20} = 276 \text{ МПа.}$$

Допускають напруга в умовах гідравлічних випробувань по формулі:

$$[\sigma]_u = \sigma_{m20} / 1,1 = 276 / 1,1 = 251 \text{ МПа.} \quad (3.1)$$

Пробний тиск при гідровипробуванні [7]:

$$P_u = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,5p[\sigma]_{20} / [\sigma] \\ 0,2 \end{array} \right\} \quad (3.2)$$

$$P_u = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,5 \cdot 0,10 \cdot \frac{184}{173} = 0,16 \text{ МПа} \\ 0,2 \text{ МПа} \end{array} \right\} = 0,2 \text{ МПа}$$

Розрахункова (номінальна) товщина стінки обичайки визначається по формулі:

$$s_p = \max \left\{ \begin{array}{l} pD / (2\varphi[\sigma] - p) \\ p_u D / (2\varphi[\sigma]_u - p_u) \end{array} \right\} = \quad (3.3)$$

$$= \max \left\{ \begin{array}{l} 0,10 \cdot \frac{1600}{2 \cdot 0,9 \cdot 173 - 0,10} = 0,51 \text{ мм} \\ 0,20 \cdot \frac{1600}{2 \cdot 0,9 \cdot 251 - 0,20} = 0,71 \text{ мм} \end{array} \right\} = 0,62 \text{ мм}$$

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

де D - внутрішній діаметр обечайки апарата, мм.

Виконавча товщина листа для обечайки корпусу апарата:

$$s \geq s_p + c = 0,71 + 0 = 0,71 \text{ мм.} \quad (3.4)$$

Остаточно ухвалюємо товщину циліндричної обечайки з урахуванням стійкості при виготовленні рівної:

$$s = 6 \text{ мм.}$$

Перевіряємо умову застосовності формул безмоментної теорії:

$$(s-c)/D \leq 0,1; \quad (3.5)$$

$$(6-0)/1600 = 0,004,$$

що менше 0,1 - умова застосовності формул виконане.

Визначаємо товщину еліптичного днища (кришки) апарата. Схема днища представлена на мал.3.1

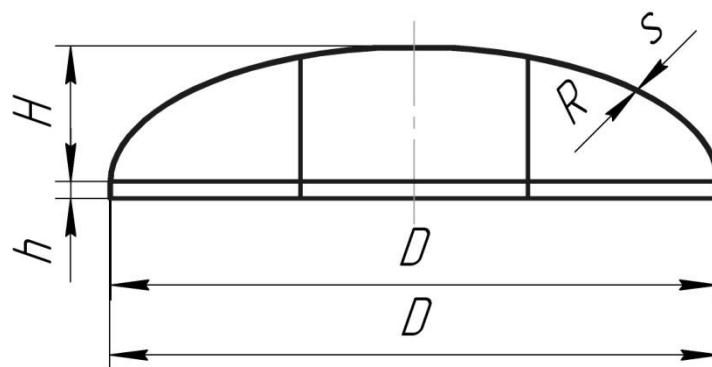


Рисунок 3.1 Схема еліптичного днища

Приймаємо еліптичне днище з висотою $H=0,25D$, для якого розрахунковий параметр $R=D=1600$ мм.

Розрахунковий параметр еліптичного днища визначаємо по формулі:

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

$$S_{1p} = \max \left\{ \frac{pR}{2\varphi[\sigma] - 0,3p}, p_u R / (2\varphi[\sigma]_u - 0,5p_u) \right\} = \quad (3.6)$$

$$= \max \left\{ \begin{array}{l} 0,10 \cdot \frac{1600}{2 \cdot 0,9 \cdot 173 - 0,10} = 0,51 \text{ мм} \\ 0,20 \cdot \frac{1600}{2 \cdot 0,9 \cdot 251 - 0,20} = 0,71 \text{ мм} \end{array} \right\} = 0,62 \text{ мм}$$

Виконавча товщина листа для днища по формулі (3.5):

$$S_1 \geq 0,71 + 0 = 0,71 \text{ мм.}$$

Остаточна товщину еліптичного днища рівна:

$$S = 6 \text{ мм.}$$

Перевіряємо умову застосовності формул безмоментної теорії:

$$(s-c)/D \leq 0,1; \quad (3.7)$$

$$(6-0)/1600 = 0,004,$$

що менше 0,1 - умова застосовності формул виконане

3.2 Розрахунок фланцевого з'єднання

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

Згідно з[7] для заданих умов підходять фланець сталевий приварний з виступом або западиною за ГОСТ 12828-67.

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

Товщина циліндричної втулки фланця:

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

Приймаємо $S_{02}=0,007$ м;

де $S_2 = 0,005$ м - товщина стінки обечайки.

Приймаємо діаметр болтів $d_{62} = 20$ мм (к. 13, таб. 9).

Діаметр болтового кола:

$$D_{62} \geq D + 2 \geq (S_{02} + d_{62} + 0,006) = 1,6 + 2 \cdot (0,007 + 0,020 + 0,006) = 1,666 \text{ м,} \quad (3.27)$$

Приймаємо $D_{62} = 1690$ мм;

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

Зовнішній діаметр фланця:

$$D_{\phi 2} = D_{62} + \alpha_2 = 1690 + 40 = 1730 \text{ мм,} \quad (3.8)$$

де $\alpha_1 = 40$ мм - за табл. 10 (к. 13).

Зовнішній діаметр прокладки:

$$D_{п2} = D_{62} - l_2 = 1690 - 30 = 1650 \text{ мм,} \quad (3.9)$$

де $l_2 = 30$ мм - за табл. 10 (к. 13).

Середній діаметр прокладки :

$$D_{сп2} = D_{п2} - \sqrt{e_2} = 1650 - 20 = 1630 \text{ мм,} \quad (3.30)$$

де $v_2 = 25$ мм - ширина прокладки (згідно табл. 2, к. 13).

Ефективна ширина прокладки [к. 13, ст. 34] (для плоских прокладок при $v > 0,015$ м):

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

$$v_{e2} = 0,06 \cdot \sqrt{e_2} = 0,06 \cdot \sqrt{0,025} = 0,0095 \text{ м.} \quad (3.10)$$

Згідно [7] 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:

$$Z_{62} = \pi \cdot D_{62} / t_{62} = 3,14 \cdot 1,69 / (4,6 \cdot 0,02) = 57,7 \text{ шт,} \quad (3.11)$$

Приймаємо $Z_{62} = 60$ шт;

де $t_{62} = 4,6 \cdot d_{62}$ - шаг болтів [7]

На підставі результатів розрахунку вибираємо стандартний фланець.

Його параметри : зовнішній діаметр $D_{\phi 2} = 1,73$ м; діаметр болтового кола $D_{62} = 1,69$ м; зовнішній діаметр прокладки $D_{n2} = 1,65$ мм; товщина диска фланця $h_{\phi 2} = 0,055$ м. Кількість болтів $Z_{62} = 60$ шт.

Згідно [7] вибираємо матеріал фланців - сталь 12X18H10T за ГОСТ 7350-77 група А.

Матеріал для шпильок - сталь 45X14H14B2M

Перевірочний розрахунок[7].

Розрахунок допоміжних величин.

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

Середній діаметр прокладки:

$$D_{cp2} = D_{n2} - v_2 = 1,65 - 0,02 = 1,63 \text{ м.}$$

Ефективна ширина прокладки:

при $v_2 > 0,015$ м

$$v_{e2} = 0,06 \cdot \sqrt{e_2} = 0,06 \cdot \sqrt{0,025} = 0,0095 \text{ м.} \quad (3.12)$$

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

Конструктивний коефіцієнт для фланців:

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

Конструктивні коефіцієнт для фланців:

$$\lambda_{\phi 21} = h_{\phi 21} / \sqrt{D_2 \cdot S_{02}} = 0,055 / \sqrt{1,6 \cdot 0,007} = 0,52; \quad (3.13)$$

$$\lambda_{\phi 22} = h_{\phi 22} / \sqrt{D_2 \cdot S_{02}} = 0,053 / \sqrt{1,6 \cdot 0,007} = 0,5; \quad (3.14)$$

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:

$$\Psi_{1\phi 2} = 1,28 \cdot \lg K_{\phi 2} = 1,28 \cdot \lg 1,08 = 0,043; \quad (3.15)$$

$$\Psi_{2\phi 2} = (K_{\phi 2} + 1) / (K_{\phi 2} - 1) = (1,08 + 1) / (1,08 - 1) = 26. \quad (3.16)$$

Додатковий коефіцієнт для перерізу S_{02} [7]:

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

Геометричні параметри фланців:

$$j_{\phi 21} = h_{\phi 21} / S_{02} = 0,055 / 0,007 = 7,86; \quad (3.17)$$

$$j_{\phi 22} = h_{\phi 22} / S_{02} = 0,053 / 0,007 = 7,57. \quad (3.18)$$

Безрозмірний параметр фланців:

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

$$T_{\phi 2} = \frac{K_{\phi 2}^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg K_{\phi 2}) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot K_{\phi 2}^2) \cdot (K_{\phi 2} - 1)} = \frac{1,08^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg 1,08) - 1}{(1,05 + 1,945 + 1,08^2) \cdot (1,08 - 1)} = 1,88. \quad (3.19)$$

Безрозмірні параметри фланців:

$$\omega_{\phi 21} = [1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 21} \cdot (1 + \psi_{1\phi 2} \cdot j^2_{\phi 21})]^{-1} = \quad (3.20)$$

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

$$\omega_{\phi 22} = [1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 22} \cdot (1 + \psi_{1\phi 2} \cdot j)]^{-1} = \quad (3.21)$$

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

Кутова піддатливість фланців:

$$y_{\phi 12} = \frac{[1 - \omega_{\phi 21} \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 21})] \cdot \psi_{2\phi 2}}{h_{\phi 21}^3 \cdot E_{\phi 21}} = \quad (3.22)$$

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

$$y_{\phi 22} = \frac{[1 - \omega_{\phi 22} \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 22})] \cdot \psi_{2\phi 2}}{h_{\phi 22}^3 \cdot E_{\phi 22}} = \quad (3.23)$$

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

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:

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

$$L_{62} = h_{\phi 21} + h_{\phi 22} + h_2 + 0,28 \cdot d_{62} = \quad (3.24)$$

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

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

Лінійна піддатливість прокладки:

$$y_{п2} = h_2 / (\pi \cdot D_{сп2} \cdot B_2 \cdot E_{п2}) =$$

$$= 0,002 / (3,14 \cdot 1,63 \cdot 0,02 \cdot 200) = 9,77 \cdot 10^{-5} \text{ м/МН.} \quad (3.25)$$

Площа поперечного перерізу болта:

$$f_{62} = 0,785 \cdot d_{02}^2 = 0,785 \cdot (17,3 \cdot 10^{-3})^2 = 2,35 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2, \quad (3.26)$$

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

Лінійна податливість болтів:

$$y_{62} = L_{62} / (E_{62} \cdot f_{62} \cdot Z_{62}) =$$

$$= 0,116 / (2 \cdot 10^5 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 60) = 4 \cdot 10^{-5} \text{ м/МН,} \quad (3.27)$$

де $E_{62} = 2 \cdot 10^5$ МПа - модуль пружності матеріала шпильок при

$$t_{62} = 0,97 \cdot t_{\phi 2} = 0,97 \cdot 122 = 118 \text{ }^\circ\text{C.}$$

Параметр жорсткості фланцевого з'єднання:

$$A_{\phi 2} = [y_{п2} + y_{62} + 0,25 \cdot (y_{\phi 12} + y_{\phi 22}) \cdot (D_{62} - D_{сп2})^2]^{-1} =$$

$$= [9,77 \cdot 10^{-5} + 4 \cdot 10^{-5} + 0,25 \cdot (0,36 + 0,38) \cdot (1,69 - 1,63)^2]^{-1} = 1244 \text{ МН/м.} \quad (3.49)$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

Параметри жорсткості фланців:

$$B_{\phi 12} = y_{\phi 12} \cdot (D_{62} - D_2 - S_{02}) = 0,36 \cdot (1,69 - 1,6 - 0,007) = 29,8 \cdot 10^{-3} \text{ МН}^{-1}; \quad (3.28)$$

$$B_{\phi 22} = y_{\phi 22} \cdot (D_{62} - D_2 - S_{02}) = 0,38 \cdot (1,69 - 1,6 - 0,007) = 31,5 \cdot 10^{-3} \text{ МН}^{-1}; \quad (3.29)$$

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:

$$\alpha_{\phi 2} = A_{\phi 2} \cdot [y_{62} + 0,25 \cdot (B_{\phi 12} + B_{\phi 22}) \cdot (D_{62} - D_{cn2})] = 1244 \cdot [4 \cdot 10^{-5} + 0,25 \cdot (29,8 \cdot 10^{-3} + 31,5 \cdot 10^{-3}) \cdot (1,69 - 1,63)] = 1,2. \quad (3.30)$$

Розрахунок болтів фланцевого з'єднання.

Рівнодіюча внутрішнього тиску:

$$Q = 0,785 \cdot D_{cn2}^2 \cdot P_2 = 0,785 \cdot 1,63^2 \cdot 0,32 = 0,67 \text{ МН}. \quad (3.31)$$

Реакція прокладки в робочих умовах:

$$R_{п2} = 2 \cdot \pi \cdot D_{cn2} \cdot v_{e2} \cdot T_2 \cdot P_2 = 2 \cdot 3,14 \cdot 1,63 \cdot 0,0095 \cdot 2,5 \cdot 0,32 = 0,078 \text{ МН}. \quad (3.32)$$

Зусилля, що виникає від температурної деформації фланцевого з'єднання

$Q_{\text{т}\phi 2}$:

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

$$\begin{aligned} & \gamma_2 \cdot Z_{62} \cdot f_{62} \cdot E_{62} \cdot (\alpha^t_{\phi 2} \cdot t_{\phi 2} - \alpha^t_{62} \cdot t_{62}) = \\ & = 0,05 \cdot 60 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 2 \cdot 10^{-5} \cdot (1,7 \cdot 10^{-5} \cdot 122 - 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot 118) = 9,6 \cdot 10^{-3} > 0, \end{aligned}$$

тоді

$$Q_{t\phi 2} = 9,6 \cdot 10^{-3} ;$$

де

$$\alpha^t_{\phi 2} = (\alpha^t_{\phi 21} + \alpha^t_{\phi 22}) / 2 = (1,7 \cdot 10^{-5} + 1,7 \cdot 10^{-5}) / 2 = 1,7 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}, \quad (3.33)$$

де $\alpha^t_{\phi 21} = \alpha^t_{\phi 2} = 1,7 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ - по табл. 4 [7].

Монтажне болтове навантаження фланцевого з'єднання зарізних умов розрахунку:

$$P'_{621} = \pi \cdot D_{cn2} \cdot v_{e2} \cdot q_2 = 3,14 \cdot 1,63 \cdot 0,0095 \cdot 20 = 0,972 \text{ МПа}; \quad (3.34)$$

$$P''_{621} = \alpha_{\phi 2} \cdot (Q_{d2} + P_2) + R_{п2} + \frac{4 \cdot M_2}{D_{cn2}} = 1,2 \cdot (0,67 + 0,32) + 0,078 + 0 = 1,266 \text{ МПа}; \quad (3.35)$$

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

$$P'''_{621} = 0,4 \cdot [\sigma_{62}]^{20} \cdot Z_{61} \cdot f_{61} = 0,4 \cdot 160 \cdot 20 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} = 0,3 \text{ МПа}, \quad (3.36)$$

де $[\sigma_{62}] = 160 \text{ МПа}$ - допустиме навантаження для матеріалу шпильок при $t = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$ [7]

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

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

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

Умова міцності прокладки :

$$P_{621} / (\pi \cdot D_{\text{сн2}} \cdot B_2) \leq [q]_2 ; \quad (3.37)$$

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

Болтове навантаження за робочих умов:

$$P_{622} = P_{621} + (1 - \alpha) \cdot 226 + (1 - 1,2) \cdot (\varphi_2) \cdot (Q_{\text{д2}} \pm P_2) + Q_{\text{тф2}} + \frac{4 \cdot M_2}{D_{\text{сн2}}} =$$

$$= 10,67 + 0,32 + 9,6 \cdot 10^{-3} + 0 = 1,04 \text{ МПа.} \quad (3.38)$$

Так як $Q_{\text{тф2}} > 0$ то перевірку на додаткову умову:

$$[\sigma_{62}]^t \cdot Z_{62} \cdot f_{62} - \gamma_2 \cdot Z_{62} \cdot f_{62} \cdot E_{62} \cdot (\alpha^t_{62} \cdot t_{\varphi_2} - \alpha^t_{62} \cdot t_{62}) > P_{622}$$

не проводимо.

Розрахункове навантаження проводимо на болки:

$$P_{6\varphi_2} = \max \{ P_{621} ; P_{622} \} = \max \{ 1,226; 1,04 \} = 1,226 \text{ МПа.}$$

Напруження розтягування в болтах за умов монтажу:

$$\sigma_{62}^{20} = \frac{P_{621}}{Z_{62} \cdot f_{62}} = \frac{1,226}{60 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4}} = 87 \text{ МПа.} \quad (3.39)$$

Напруження розтягування в болтах за робочих умов:

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

$$\sigma_{\delta 2}^t = \frac{P_{\delta 22}}{Z_{\delta 2} \cdot f_{\delta 2}} = \frac{1,04}{60 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4}} = 74 \text{ МПа.} \quad (3.40)$$

Скручуючий момен, що виникає від розтягування гайок:

$$M_{\text{скр}2} = f_{21} \cdot \frac{P_{\delta \phi 2}}{Z_{\delta 2}} \cdot d_{\delta 2} = 0,1 \cdot \frac{1,226}{60} \cdot 0,02 = 4,1 \cdot 10^{-5} \text{ МН} \cdot \text{м,} \quad (3.41)$$

де $f_{21} = 0,1$ - коефіцієнт тертя.

Дотичне напруження в болтах:

$$\tau_{\delta 2} = \frac{M_{\text{скр}2}}{0,2 \cdot d_{\delta 2}^3} = \frac{4,1 \cdot 10^{-5}}{0,2 \cdot 0,017^3} = 41,7 \text{ МПа,} \quad (3.42)$$

Еквівалентні напруження в болтах:

$$\sigma_{\delta e 2}^{20} = \sqrt{(\sigma_{\delta 2}^{20})^2 + 3 \cdot \tau_{\delta 2}^2} = \sqrt{87^2 + 3 \cdot 41,7^2} = 113 \text{ МПа;} \quad (3.43)$$

$$\sigma_{\delta e 2}^t = \sqrt{(\sigma_{\delta 2}^t)^2 + 3 \cdot \tau_{\delta 2}^2} = \sqrt{74^2 + 3 \cdot 41,7^2} = 103 \text{ МПа.} \quad (3.44)$$

Умови міцності болтів:

$$\sigma_{\delta e 2}^{20} \leq [\sigma_{\delta 2}]^{20} : 113 < 160;$$

$$\sigma_{\delta e 2}^t \leq [\sigma_{\delta 2}]^t : 103 < 147 \text{ - умова виконується;}$$

де $[\sigma_{\delta 2}]^t = 147$ МПа - допустиме напруження для матеріалу шпильок при $t = 118$ °С[7].

Розрахунковий згинаючий момент у діаметральному перерізі фланця:

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$M_{01\phi 2} = 0,5 \cdot P_{621} \cdot (D_{62} - D_{сн2}) = 0,5 \cdot 1,226 \cdot (1,69 - 1,63) = 0,037 \text{ МПа}; \quad (3.45)$$

$$M_{02\phi 2} = 0,5 \cdot [P_{622} \cdot (D_{62} - D_{сн2}) + Q_{д2} \cdot (D_{сн2} - D_2 - S_{02})] \cdot \frac{[\sigma_{\phi 2}]^{20}}{[\sigma_{\phi 2}]^t} =$$

$$= 0,5 \cdot [1,04 \cdot (1,69 - 1,63) + 0,67 \cdot (1,63 - 1,6 - 0,007)] \cdot \frac{110}{103} = 0,042 \text{ МПа}; \quad (3.46)$$

$$\text{де } \frac{[\sigma_{\phi 2}]^{20}}{[\sigma_{\phi 2}]^t} = \max \left\{ \frac{[\sigma_{\phi 12}]^{20}}{[\sigma_{\phi 12}]^t}; \frac{[\sigma_{\phi 22}]^{20}}{[\sigma_{\phi 22}]^t} \right\} = \frac{110}{103};$$

де $[\sigma_{\phi 12}]^{20} = [\sigma_{\phi 22}]^{20} = 110 \text{ МПа}$ - допустиме напруження для матеріалу фланців при $t=20 \text{ }^\circ\text{C}$;

$[\sigma_{\phi 12}]^t = [\sigma_{\phi 22}]^t = 103 \text{ МПа}$ - допустиме напруження для матеріалу фланців при $t=122 \text{ }^\circ\text{C}$.

Розрахунковий згинаючий момент у діаметральному перерізі фланця:

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

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

$$\sigma_{о\phi 12} = \psi_{32} \cdot \frac{T_{\phi 2} \cdot M_{о\phi 2} \cdot \omega_{\phi 21}}{D_2' \cdot (S_{02} - c_2)^2} = 1 \cdot \frac{1,88 \cdot 0,037 \cdot 0,42}{1,6 \cdot (0,007 - 0,001)^2} = 507 \text{ МПа}; \quad (3.47)$$

$$\sigma_{о\phi 22} = \psi_{32} \cdot \frac{T_{\phi 2} \cdot M_{о\phi 2} \cdot \omega_{\phi 22}}{D_2' \cdot (S_{02} - c_2)^2} = 1 \cdot \frac{1,88 \cdot 0,016 \cdot 0,42}{1,6 \cdot (0,007 - 0,001)^2} = 535 \text{ МПа}; \quad (3.48)$$

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

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

$$D'_1 = D_1 = 1,6 \text{ м.}$$

Максимальні кільцеві напруження в дисках фланців від дії згинаючого моменту $M_{оф2}$:

$$\begin{aligned} \sigma_{кф21} &= \frac{M_{оф2} \cdot [1 - \omega_{ф21} \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{ф21})] \cdot \psi_{2ф2}}{D_1 \cdot h_{ф21}^2} = \\ &= \frac{0,042 \cdot [1 - 0,37 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,52)] \cdot 26}{1,6 \cdot 0,055^2} = 103 \text{ МПа} \end{aligned} \quad (3.49)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{кф22} &= \frac{M_{оф2} \cdot [1 - \omega_{ф22} \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{ф22})] \cdot \psi_{2ф2}}{D_2 \cdot h_{ф22}^2} = \\ &= \frac{0,42 \cdot [1 - 0,39 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,5)] \cdot 26}{1,6 \cdot 0,053^2} = 106 \text{ МПа.} \end{aligned} \quad (3.50)$$

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

$$\sigma_{xf12} = \sigma_{xf22} = \frac{P_2 \cdot D_2}{2 \cdot (S_{02} - c_2)} = \frac{0,32 \cdot 1,6}{4 \cdot (0,007 - 0,001)} = 43 \text{ МПа;} \quad (3.51)$$

$$\sigma_{yf12} = \sigma_{yf22} = \frac{P_2 \cdot D_2}{4 \cdot (S_{02} - c_2)} = \frac{0,32 \cdot 1,6}{4 \cdot (0,007 - 0,001)} = 21,5 \text{ МПа;} \quad (3.52)$$

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

$$\sigma_{ef12} = \sqrt{(\sigma_{оф12} + \sigma_{yf12})^2 + \sigma_{xf12}^2 - (\sigma_{оф12} + \sigma_{yf12}) \cdot \sigma_{xf12}} =$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$= \sqrt{(507 + 21,5)^2 + 43^2} - (507 + 21,5) \cdot 43 = 508 \text{ МПа.} \quad (3.53)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{ef}22} &= \sqrt{(\sigma_{\text{of}22} + \sigma_{\text{yf}22})^2 + \sigma_{\text{xf}22}^2} - (\sigma_{\text{of}22} + \sigma_{\text{yf}22}) \cdot \sigma_{\text{xf}22} = \\ &= \sqrt{(535 + 21,5)^2 + 43^2} - (535 + 21,5) \cdot 43 = 536 \text{ МПа.} \quad (3.54) \end{aligned}$$

Умова міцності:

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

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

УМОВА ВИКОНУЄТЬСЯ;

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

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

$$\sigma_{\text{кф}21} \cdot D_2 / (E_{\phi 21}^t \cdot h_{\phi 21}) \leq [\Theta]:$$

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

$$\sigma_{\text{кф}22} \cdot D_2 / (E_{\phi 22}^t \cdot h_{\phi 22}) \leq [\Theta]:$$

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

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

3.3 Розрахунок та вибір опори апарата

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

$$\delta = \frac{2,24 \cdot G}{k \cdot n \cdot z \cdot l \cdot \sigma_{с.д.}} + c_k, \quad (3.55)$$

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/м²);

l - вибір опори, м;

k - коефіцієнт, приймаємо $k=0,6$;

$c_k=0,001$ м - допуск.

Розрахунок товщини ребер опорних лап кип'ятильника:

$$\delta_1 = \frac{2,24 \cdot G_1}{k \cdot n_1 \cdot z_1 \cdot l_1 \cdot \sigma_{с.д.}} + c_k, \quad (3.56)$$

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

$$G_1 = G_{1\text{ п.а}} + G_{1\text{ в}}, \quad (3.57)$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

$$G_{1п.а}=G_{ц}+2 \cdot G_{кр}+2 \cdot G_{т.р}+G_{т}+G_{дод}, \quad (3.58)$$

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

$$G_{ц}=V_{ц} \cdot \rho_{ц}=h_{ц} \cdot F_{ц} \cdot \rho_{м}=h_{ц} \cdot \frac{3,14 \cdot (D_{н}^2 + D_{в}^2)}{4} \cdot \rho_{м} =$$

$$=4,84 \cdot \frac{3,14 \cdot (1,41^2 - 1,4^2)}{4} \cdot 7850=838 \text{ кг}=0,008 \text{ МН}, \quad (3.59)$$

де $\rho_{м}=7850 \text{ кг/м}^3$ - густина сталі;

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

$D_{н}=1,61 \text{ м}$, $D_{в}=1,6 \text{ м}$ - зовнішній та внутрішній діаметри апарата,

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

$$G_{кр}=V_{к} \cdot \rho_{м}=\frac{3,14 \cdot D_{ек}^2}{4} \cdot \delta \cdot \rho_{м}=\frac{3,14 \cdot 1,46^2}{4} \cdot 0,005 \cdot 7850=67 \text{ кг}=0,0007 \text{ МН}, \quad (3.60)$$

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

$$D_{ек}=b_1=0,131 \cdot l_1=0,131 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot R_{1сф}=0,133 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 1,75=1,66 \text{ м}, \quad (3.61)$$

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

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

$G_{т.р}$ - вага трубної ґратки, МН:

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

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\frac{3,14}{4} \cdot (D_g^2 - n \cdot d_n^2) \cdot \delta_{m.p.} \cdot \rho_m = \frac{3,14}{4} \cdot (1,46 - 192 \cdot 0,057^2) \cdot 0,012 \cdot 7850 = 0,00099 \text{ МН}, \quad (3.62)$$

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

$D_B=1,6$ м - внутрішній діаметр апарата;

$d_n=0,057$ м - зовнішній діаметр труб кипятильника;

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

G_T - вага труб, МН:

$$G_T = n \cdot V_T \cdot \rho_m = n \cdot \frac{3,14}{4} \cdot (d_n^2 - d_B^2) \cdot h_T \cdot \rho_m =$$

$$= 192 \cdot \frac{3,14}{4} \cdot (0,057^2 - 0,052^2) \cdot 4 \cdot 7850 = 2579 \text{ кг} = 0,02 \text{ МН}, \quad (3.63)$$

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

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

Тоді

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

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

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

$$= \frac{3,14}{4} \cdot (2 \cdot 0,3 \cdot 1,6^2 + 4 \cdot 192 \cdot 0,052^2) \cdot 1000 = 2553 \text{ кг} = 0,026 \text{ МН}, \quad (3.64)$$

Тоді

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$G_1 = 0,0435 + 0,026 = 0,0696 \text{ МН} \approx 7000 \text{ кг},$$

тоді

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

$$\frac{l}{\delta} = \frac{0,2}{0,0042} = 47,62 \text{ по графіку перевіряємо коефіцієнт } k,$$

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

Проводимоимо перерахунок, прийнявши $k = 0,24$. [7]

Тоді

$$\delta_1 = \frac{2,24 \cdot 0,0696}{0,24 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 0,2 \cdot 100} + 0,001 = 0,0091 \text{ м},$$

$$\text{тоді } \frac{l}{\delta} = \frac{0,2}{0,0091} = 22, \text{ по графіку перевіряємо коефіцієнт } k, \text{ він приймає}$$

значення $k' = 0,26 < k = 0,24$. Приймаємо $\delta_1 = 10 \text{ мм}$.

Розрахунок товщини ребер опорних лап сепаратора:

$$\delta_2 = \frac{2,24 \cdot G_2}{k \cdot n_2 \cdot z_2 \cdot l_2 \cdot \sigma_{c,d}} + c_k, \quad (3.65)$$

де $n_2 = 4$ шт.;

$z_2 = 2$ шт.;

$$l_2 = 0,2 \text{ м, тоді висота лапи } h_2 = \frac{l_2}{0,5} = \frac{0,2}{0,5} = 0,4 \text{ м};$$

G_2 - максимальна вага сепаратора, МН

$$G_2 = G_{2п.а} + G_{2в}, \quad (3.66)$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

де $G_{2п.а}$ - вага пустого апарата, МН:

$$G_{2п.а} = G_{ц} + G_{ц}' + G_{кр} + G_{к} + G_{к}' + G_{дод}, \quad (3.67)$$

де $G_{ц}$ - вага циліндричної частини апарата діаметром 1,6 м, МН:

$$G_{ц} = V_{ц} \cdot \rho_{ц} = h_{ц} \cdot F_{ц} \cdot \rho_{м} = h_{ц} \cdot \frac{3,14 \cdot (D_{н}^2 - D_{в}^2)}{4} \cdot \rho_{м} =$$

$$= 3,0 \cdot \frac{3,14 \cdot (1,61^2 - 1,6^2)}{4} \cdot 7850 = 593 \text{ кг} = 0,006 \text{ МН}, \quad (3.68)$$

де $\rho_{м} = 7850 \text{ кг/м}^3$ - густина сталі;

$h_{ц} = 3,0 \text{ м}$ - висота циліндричної частини сепаратора;

$D_{н} = 1,61 \text{ м}$, $D_{в} = 1,6 \text{ м}$ - зовнішній та внутрішній діаметри апарату, м;

$G_{ц}'$ - вага циліндричної частини апарата діаметром 1,0 м, МН:

$$G_{ц}' = V_{ц}' \cdot \rho_{ц} = h_{ц}' \cdot F_{ц}' \cdot \rho_{м} = h_{ц}' \cdot \frac{3,14 \cdot (D_{н}'^2 - D_{в}'^2)}{4} \cdot \rho_{м} =$$

$$= 0,8 \cdot \frac{3,14 \cdot (1,606^2 - 1,6^2)}{4} \cdot 7850 = 59 \text{ кг} = 0,0006 \text{ МН}, \quad (3.69)$$

де $\rho_{м} = 7850 \text{ кг/м}^3$ - густина сталі;

$h_{ц}' = 0,8 \text{ м}$ - висота циліндричної частини сепаратора;

$D_{н}' = 1,606 \text{ м}$, $D_{в}' = 1,6 \text{ м}$ - зовнішній та внутрішній діаметри частини апарату, м;

$G_{кр}$ - вага сферичного дна ($R_{2сф} = 0,76 \text{ м}$), МН:

$$G_{кр} = V_{к} \cdot \rho_{м} = \frac{3,14 \cdot D_{ек}^2}{4} \cdot \delta_2 \cdot \rho_{м} = \frac{3,14 \cdot 1,1^2}{4} \cdot 0,005 \cdot 7850 = 37 \text{ кг} =$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

$$=0,0004 \text{ МН}, \quad (3.70)$$

де $D_{\text{ек}}$ - еквівалентний діаметр, м (див. рис. 3.5):

$$D_{\text{ек}}=b_2=0,23 \cdot l_2=0,23 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot R_{2\text{сф}}=0,23 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,76=1,1 \text{ м} \quad (3.71)$$

де $\frac{82^\circ}{360^\circ}=0,23$ - частина кола, яку займає сфера;

$\delta_2=0,005$ м - товщина стінки кришки;

$G_{\text{к}}$ - вага конусної частини сепаратора (дна), МН:

$$G_{\text{к}}=V_{\text{к}} \cdot \rho_{\text{м}}=F_{\text{к}} \cdot \delta_3 \cdot \rho_{\text{м}}=\frac{1}{2} \cdot 5 \cdot 0,7 \cdot 0,005 \cdot 7850=69 \text{ кг}=0,0007 \text{ МН}, \quad (3.72)$$

де $\delta_3=0,005$ м - товщина стінки конічного дна;

$$d_3=c_3=\sqrt{h_3^2 + R_3^2} = \sqrt{1,12^2 + 0,8^2} = 1,4 \text{ м};$$

$$b_3=2 \cdot 3,14 \cdot R_3=2 \cdot 3,14 \cdot 0,8=5 \text{ м};$$

$$l_3=3,14 \cdot d_3=3,14 \cdot 1,4=4,4 \text{ м};$$

$G_{\text{к}}'$ - вага конусної частини сепаратора (перехід), МН

$$G_{\text{к}}'=G_{\text{к}}-G_{\text{км}}', \quad (3.73)$$

$$\text{де } G_{\text{км}}'=V_{\text{км}}' \cdot \rho_{\text{м}}=F_{\text{км}}' \cdot \delta_4 \cdot \rho_{\text{м}}=\frac{1}{2} \cdot 2,6 \cdot 0,62 \cdot 0,005 \cdot 7850=32 \text{ кг}=0,0003 \text{ МН} \quad (3.74)$$

$$d_4=c_4=\sqrt{h_4^2 + R_4^2} = \sqrt{(1,12 - 0,445)^2 + 0,5^2} = 0,84 \text{ м};$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

$$b_4 = 2 \cdot 3,14 \cdot R_4 = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,42 = 2,6 \text{ м};$$

$G_{\text{дод}} = 383 \text{ кг} = 0,004 \text{ МН}$ - вага не врахованих елементів апарата (патруки, фланці, т.д);

Тоді

$$G_{2п.а} = 0,006 + 0,0006 + 0,0004 + 0,0007 + 0,0003 + 0,004 = 0,012 \text{ МН}.$$

$G_{2в}$ - вага води, яка може заповнити об'єм сепаратора, МН:

$$\begin{aligned} G_{2в} &= V_{\text{ап}} \cdot \rho_{\text{в}} = (V_{\text{ц.м}} + V_{\text{у.к}} + V_{\text{ц}} + V_{\text{к}}) \cdot \rho_{\text{в}} = \\ &= (3,14 \cdot R_{\text{ц.м}}^2 \cdot h_{\text{ц.м}} + \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot h_{\text{у.к}} \cdot (R_{\text{ц}}^2 + R_{\text{ц}} \cdot R_{\text{ц.м}} + R_{\text{ц.м}}^2) + 3,14 \cdot R_{\text{ц}}^2 \cdot h_{\text{ц}} + \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot R_{\text{ц}}^2 \cdot h_{\text{к}}) \cdot \rho_{\text{в}} \\ &= (3,14 \cdot 0,5^2 \cdot 0,8 + \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 0,445 \cdot (0,8^2 + 1,12) + 3,14 \cdot 0,8^2 \cdot 1,12) \cdot 1000 = 8161 \text{ кг} = 0,082 \text{ МН}; \quad (3.75) \end{aligned}$$

Тоді

$$G_2 = 0,012 + 0,082 = 0,094 \text{ МН} \approx 9400 \text{ кг},$$

Тоді

$$\delta_2 = \frac{2,24 \cdot 0,094}{0,6 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 0,2 \cdot 100} + 0,001 = 0,0032 \text{ м},$$

$$\frac{l}{\delta} = \frac{0,2}{0,0032} = 62,5 - \text{по графіку перевіряємо коефіцієнт } k, \text{ він приймає значення}$$

$$k' = 0,05 < k = 0,6.$$

Проводимо перерахунок[7], прийнявши $k = 0,18$;

$$\delta_2 = \frac{2,24 \cdot 0,0985}{0,18 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 0,2 \cdot 100} + 0,001 = 0,0077 \text{ м},$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

тоді $\frac{l}{\delta_2} = \frac{0,2}{0,0077} = 26$ по графіку перевіряємо коефіцієнт k , він приймає

значення $k=0,20$, що майже співпадає з $k=0,18$.

Приймаємо $\delta_2=10$ мм.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

4 МОНТАЖНА ТА РЕМОНТ АПАРАТА

4.1 Монтаж розробленого апарата

Розміщення обладнання проводимо в приміщенні, так як воно потребує постійного обслуговування персоналом, та запобігає впливу погодних умов на режими роботи обладнання. Також підвищується довговічність обладнання. Щоб розмістити обладнання цеху випарювання після спиртової барди (збірника барди, 4-х випарних апаратів, 4-х збірників конденсату, барометричного конденсатора, збірника барометричної води та 5-ти насосів) вибираємо споруду з серії ИИ 20/70 з розміром пролетів 9 м та кроком колон 6 м. Враховуючи характер виробництва, технологію процесу, умови для монтажу та ремонту апаратів, обладнання розміщуємо на трьох поверхах (на нульовій відмітці знаходяться насоси, збірник барометричної води та чотири збірники конденсату. На відмітці 7200 мм знаходяться чотири корпуса випарних апаратів. На відмітці 13200 мм знаходяться: збірник барди, 5-ть підігрівачів, насос та барометричний конденсатор), отже вибираємо споруду схеми 2-9-3 з висотами поверхів: 7,2; 6,0; 6,0 м. Для можливості транспортування обладнання та різних пристосувань в середину приміщення в споруді передбачені роздвижні ворота (4,2*4,2 м). Кількість вікон та їх направлення по горизонту в споруді повинно забезпечувати освітленість в денний час, необхідну для обслуговування обладнання. Для встановлення випарних апаратів на другому поверсі використовуємо сталеві балки, які опираються на полки ригелів. Настил кругом апаратів виконуємо з листів рифленої сталі. На другому поверсі обладнання встановлюємо на ребристих плитах перекриття.

Планування розміщення обладнання в цеху повинно відповідати безпечним умовам праці. Відстань між виступаючими частинами машин та елементами споруд, де немає руху людей - не менше 0,5 м, в місцях проходу людей - не менше

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

0,8 м. Між обладнанням, встановленим одне перед одним відстань не менше 1,5 м. Мінімальна відстань від вежра обладнання до балок перекриття 0,5 м.

Постійні площадки обслуговування машин та устаткування, розташовані на висоті (2-й та 3-й поверхи) повинні мати огорожі та сходи з поруччям. Висота огорож поруччя повинна бути не менше 1,0 м. На висоті 0,5 м від настилу площадки повинен бути додатковий горизонтальний елемент.

Вертикальні стояки огорож, поруччя повинні розміщуватися з кроком не більше 1,2 м. З країв настилу площадок повинні мати суцільну зашивку висотою не менше 0,15 м.

Сходи висотою понад 1,5 м повинні мати нахил не більше 45 градусів. Сходи на висоті 3-5 м повинні мати перехідну площадку. Ширина сходів повинна складати не менше 0,8 м. Крок сходів повинен становити не більше 0,25 м, ширина сходинок не менше 0,12 м. Обладнання з місця його зберігання (розвантаження) до місця його монтажу транспортується за допомогою автотранспорту (автокрана і вантажного автомобіля, лебідки).

Монтаж обладнання проводиться в повній відповідності до монтажного креслення. 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 корпус 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 проїомів 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;

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4) збірники конденсату та збірник барометричної води монтуються на фундаменти 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 установку контрольно-вимірювальних приладів, а також прокладання кабельних ліній.

4.2 Ремонт апарата

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

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В основному випарну установку зупиняють для ремонту при наступних 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 наступні види очищення від накипу: хімічне, термічне, гідравлічне, механічне. Найбільш поширена механічна та хімічна очистка сталених труб. Механічна очистка проводиться за допомогою шарошок, які приводяться в обертальний рух від електродвигуна через гнучкий вал, або гідротурбіни. 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 лугу, підігрітим до температури 100 °С. Після цього установка прокачується водою, а потім 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 наступних операцій: 1) огляду поверхні нагріву; 2) вилученню труб, що підлягають заміні (їх заглушуванню пробками, якщо їх кількість не перевищує 10 % загальної їх кількості); 3) підготовці нових труб і трубної ґратки; 4) встановленні трубок і розвальцовки; 5) випробування.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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/м²), 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 відрізання 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.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

В місцях з'єднань труб, тічь 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 пресування.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

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.

Вимоги безпеки на підприємствах

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 замкнутих 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

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

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, 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 [11]. 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,

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						86
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

нервів, розкладання крові, порушення живих тканин організму, а також повне припинення діяльності органів подиху і кровообігу.

Згідно [28] 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.

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 140⁰С. При дотику до зовнішньої поверхні апарата людина може одержувати опіки термічні. Згідно [29] висувають наступні вимоги: температура поверхні доступної до дотику не повинна перевищувати 45⁰С.

5. Вплив підвищеної запиленості повітря в робочій зоні.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						87
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

6. Отруєння шкідливими газами.

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;

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 40⁰ 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.

д) відповідно до [11], для усунення впливу на людину отрутних сполук азоту і газів, апарати, у яких відбуваються процеси, і реакції з виділенням

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

отруйних сполук щільно закриваються кришками і люками. Організуються регулярні перевірки якості повітря в робочій зоні. При перевищенні ГДК передбачено автоматичне включення витяжної вентиляції, а також використання обслуговуючим персоналом засобів індивідуального захисту – протигазів.

Розрахунок теплової ізоляції

Визначаємо коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої неізольованої поверхні апарату до повітря (Вт/(м²·К)

$$\alpha_{i3} = 9,74 + 0,07 \cdot (t_{ст} - t_{п}) = 9,74 + 0,07 \cdot (125 - 20) = 17,09 \quad (5.1)$$

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

Визначаємо втрати тепла неізольованою стінкою

$$q_1 = \frac{t_{ст} - t_{п}}{\frac{1}{\alpha_{i3}}} = \frac{125 - 20}{\frac{1}{17,09}} = 1794,45 \quad (5.2)$$

Визначаємо втрати ізольованим апаратом з врахуванням ККД ізоляції (Вт/м²)

$$q_2 = (1 - \eta_{i3}) \cdot q_1 = (1 - 0,95) \cdot 1794,45 = 89 \quad (5.3)$$

де $\eta_{i3} = 0,85$ – ККД совелітової ізоляції.

Визначаємо λ_{i3} для совелітової ізоляції

$$\lambda_{i3} = 0,09 + 0,000087 \cdot t \quad (5.4)$$

де t_{i3} - середня температура ізоляції (°С)

Визначаємо середню температуру ізоляції (°С)

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		89

$$t_{i3} = \frac{t_{ст} + t_3}{2} = \frac{125 + 36}{2} = 80,5 \quad (5.5)$$

де $t_3 = 36 \text{ }^\circ\text{C}$ – температура зовнішньої поверхні ізоляції.

Знайдені величини підставляємо у формулу 5.4 і обчислюємо

$$\lambda_{i3} = 0,09 + 0,000087 \cdot 80,5 = 0,09$$

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.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Приведені розрахунки в даному проекті підтверджують доцільність прийнятих технічних і конструкторських рішень, які є результатом напрацювань по темі кваліфікаційної роботи бакалавра.

В процесі виконання роботи було прийняте рішення спроектувати випарний апарат з двома виносними гріючими камерами. Це дозволяє забезпечити ремонт одного з кип'ятильників апарата не зупиняючи роботу установки, а також зручність проведення його. Розподіл ваги апарата по площині дозволив зменшити навантаження на міжповерхове перекриття. Матеріал (нержавіюча сталь марки 1Х18Н9Т), з якого виготовлений апарат, є найбільш корозійностійким до мелясної барди, що дозволяє уникнути витрат на відповідні ремонтні роботи.

Технологічними та конструктивними розрахунками підтверджено працездатність апарата (установки). Теплові потоки розподілені таким чином, що тепло вторинних парів використовується раціонально і економічно. Конденсати гріючої та вторинної пари також використовуються для відповідних цілей. Простота та зручність монтажу, зменшення витрат на обслуговування (перш за все за рахунок впровадження схеми автоматичного контролю та регулювання процесом) і експлуатацію установки є перевагами спроектованого апарата (установки).

Результатом проекту є установка для упарювання після спиртової барди (відходу виробництва) для мелясного спиртового заводу потужністю 5000 дал/добу.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						91
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Под ред. Н.В.Стабникова. Проектирование процессов и аппаратов пищевых производств.- Киев., "Висшая школа". 1982.
- 2 К.Ф.Павлов, П.Г.Романков, А.А.Носков. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химических технологий. – Ленинград., «Химия». 1981.
- 3 Н.В.Стабников, В.И.Баранцев. Процессы и аппараты пищевых производств.- Москва. Пищевая промышленность. 1974.
- 4 С.П.Колосков, А.Ф.Комаров. Тепловое хозяйство и тепловая аппаратура спиртовых заводов.-Москва.,Пищепромиздат. 1954.
- 5 В.Я.Стороженко. Розрахунок тонкостінних апаратів.-Суми., Видавництво Алан-Екс. 2002.
- 6 В.И.Ануриев. Справочник конструктора машиностроителя, том 1, изд. 5-е, перер. и доп.-Москва., Машиностроение. 1979.
- 7 С.И.Щепкин, К.В.Попов, П.Н.Змий, С.З.Коган. Справочник механика химического завода.-Москва., Государственное научно-техническое издательство химической литературы. 1950.
- 8 Методика расчета выпарной установки. Копия главы 4 из книги "Основы процессов и аппаратов химической технологии," (Под ред. Ю.И.Дыгнерского, 2-е изд., перераб. и дополн.-Москва., Химия. 1991.)-Сумы., СумГУ. 2002.
- 9 Я.А.Самохвалов, М.Я.Левицкий, В.Д.Григоращ. Справочник техника-конструктора. Изд. 3-е, перераб. и доп.-Киев. "Техника". 1978.
- 10 Е.Т.Топтуненко. Основы конструирования и расчета химических аппаратов и машин.-Харьков., "Машиностроение". 1968.
- 11 Под общ. ред. В.Н.Соколова. Машины и аппараты химических производств. Примеры и задачи. -Л.: Машиностроение, 1982.
- 12 Под ред. д-ра техн. наук проф. Э.Э.Кольмана-Иванова. Конструирование и расчет машин химических производств. - М.: Машиностроение, 1985.
- 13 Лацинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчетов химической аппаратуры.- М.: Машиностроение, 1970.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						92
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

14 Проф. Е.И.Годик. Справочное руководство по черчению.- М.: Машиностроение, 1966.

15 Л.М. Полоцкий, Г.И. ЛЛапшенников. Автоматизация химических производств - М.: Химия, 1982 р.

16 В.А. Голубятников, В.В. Шувалов. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности -М.: Химия, 1985 р.

17 Під заг. ред. канд. наук В.А. Соколова. Основи автоматизації технологічних процесів харчових виробництв - М.: Легка і харчова промисловість, 1983 р.

18 Д.И. Скобло, И.П. Глибин. Автоматический контроль та регулювання процесів харчових виробництв - К.: Техніка, 1974 р.

19 Под общ. ред. В.В.Черненко. Промислові прилади та засоби автоматизації. Справочник. - Л.: Машинобудування, 1987 р.

20 Н.С. Брилинг. Черчение. - М.: Стойиздат, 1989 г.

21 Р.И. Трепенников. Альбом чертежей и деталей промышленных зданий. - М.: Стойиздат, 1980 г.

22. Державний комітет України по нагляду за ОП. Правила безпеки для спиртового та лікєро-горілочного виробництва. - К.: Основа, 1997 р.

23 И.А. Лазарев. Ремонт и монтаж оборудования предприятий пищевой промышленности. - М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981 г.

24 Методичні вказівки до виконання контрольних робіт з курсу "Основи охорони праці".- Суми: Ви-во СумДУ, 2003 р.

25 Курс практичних занять з курсу "Основи охорони праці".- Суми: Ви-во СумДУ, 2003 р. ГОСТ 12.0.003.-91 «ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».

26 ГОСТ 12.1.004-91 «ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования».

27 ГОСТ 12.1.005-88 «Система стандартов безопасности труда. Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования».

28 ГОСТ 12.1.007-88 «ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности».

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						93
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

29 ГОСТ 12.1.010-76 «Система стандартов безопасности труда. Взрывобезопасность. Общие требования».

30 ГОСТ 12.1.018-93 «Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывобезопасность статического электричества. Общие требования.»

31 ГОСТ 12.1.030-87 «ССТБ Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление». Введ.01.07.82 г.

32 ГОСТ 12.2.003 – 91 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности».

33 ГОСТ 12.3.002–75 «ССБТ. Процессы производственные. Общие требования безопасности»

34 12.4.001-75 „ССБП. Засоби захисту працюючих. Класифікація”

35 СНиП II-4-79. Естественное и искусственное освещение.

36 Полтев М.К. Охрана труда в машиностроении. – М.: Высшая школа, 1980.

37 Внутренние санитарно-технические устройства. В 2-х ч. Под ред. Староверова И.Г. Изд. 3-е. Ч.2. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Справочник проектировщика. М.: Стройиздат, 1978, 509 с.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						94
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		