

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ШОСТКИНСЬКИЙ ІНСТИТУТ

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра: Хімічної технології високомолекулярних сполук

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВР
зі спеціальності 6.133: Галузеве машинобудування

Тема роботи: Виробництво піроксилінового пороху. Ректифікаційна колона для розділу суміші спирт – вода потужністю по спирту 500 т/рік.

Виконав студент

Демчишин Я.В.

Залікова книжка:

№ _____

Захищений з оцінкою:

Керівник проекту

Банишевський В.В.

III Сум ДУ 2022

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ШОСТКИНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
СУМСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

Спеціальність: Галузеве машинобудування

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. Кафедрою

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВР

Студенту: Демчишин Я.В.

група ХМ-81ш курс IV

1. **Тема роботи:** «Виробництво піроксилінового порошу. Ректифікаційна колона для розділу суміші спирт – вода потужністю по спирту 500 т/рік.»

2. **Вихідні дані:** продуктивність колони 800 кг/год, температура висококиплячого компонента $t_v = 100^\circ\text{C}$, температура низько киплячого компонента $t_n = 78^\circ\text{C}$, робочий тиск 0,1 МПа, матеріал сталь Х18Н10Т.

3. Перелік обов'язкового графічного матеріалу (листи А1)

3.1 Загальний вигляд 2хА1;

3.2 Технологічна схема 1хА1;

3.3 Складальні креслення 1хА1.

4. Література та матеріали, які рекомендуються: Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств: Примеры и задачи: Учеб. пособие для студентов / М.Ф. Михайлев, Н.П. Третьяков, А.И. Мильченко, В.В. Зобнин; Под общ. ред. М.Ф. Михайлева. Л.: Машиностроение, Ленингр. отдние, 1984. - 301 с., ил.

5. Контрольні терміни виконання: травень

Етап і розділи комплексного курсового проекту	Т И Ж Д Е Н Ь					
	1, 2	3, 4, 5,6	7, 8, 9	10, 11, 12, 13	14	15
1 Опис схеми, апарата	х х					
2 Технологічна частина		х х х х				
3 Розрахунки на міцність, герметичність та стійкість			х х х			
4 Розробка креслень				х х х х		
5 Оформлення записки					х	
6 Захист проекту						х

6. Дата видачі завдання Березень 2022 р

7. Термін захисту курсової роботи Червень 2022р.

Керівник комплексної курсової роботи Банишевський В.В.

Реферат

Пояснювальна записка: 69 с, 14 рисунків, 4 таблиці, 13 літературних джерел. Графічні матеріали: складальне креслення апарату, технологічна схема, креслення складальних одиниць листів 4 формату А1.

Тема: Виробництво піроксилінового пороху. Ректифікаційна колона для розділу суміші спирт – вода потужністю по спирту 500 т/рік.

Розроблена технологічна схема виробництва. Описані теоретичні основи процесу ректифікації. Описаний принцип дії та конструкція ректифікаційної колони. Вибраний та обґрунтований матеріал апарату.

Проведені технологічні розрахунки апарату це розрахунки матеріального та теплового балансів, конструктивні розрахунки, визначений опір апарату, вибране та розраховане допоміжне обладнання.

Зроблені конструктивні розрахунки товщин стінок апарату, розрахунки які підтверджують надійність апарату.

Описаний монтаж і ремонт апарату та охорона праці.

Ключові слова: АПАРАТ, КОРПУС, РЕКТИФІКАЦІЯ, КОЛОНА, СПИРТ.

Зміст	
Вступ.....	5
1 Технологічна частина.....	6
1.1 Опис технологічної схеми виробництва.....	6
1.2 Теоретичні основи процесу ректифікації.....	8
1.3 Опис конструкції колони та вибір конструкційних матеріалів.....	11
1.3.1 Опис конструкції колони.....	11
1.3.2 Вибір конструкційних матеріалів.....	15
2 Технологічні розрахунки процесу і апарату.....	17
2.1 Матеріальний баланс процесу.....	17
2.2 Визначення флегмового числа.....	20
2.3 Тепловий баланс.....	21
2.4 Конструктивні розрахунки апарата.....	24
2.5 Гідравлічні розрахунки.....	32
2.6 Вибір допоміжного обладнання.....	34
3 Розрахунок апарату на міцність та герметичність.....	44
3.1 Розрахункові навантаження апарата.....	44
3.2 Розрахунок товщини стінки корпусу.....	46
3.3 Розрахунок товщини стінки еліптичного днища (кришки).....	46
3.4 Визначення допустимих тисків.....	47
3.5 Зміцнення отворів.....	48
3.6 Розрахунок фланцевого з'єднання.....	50
3.7 Розрахунок опори.....	58
4 Монтаж і ремонт апарату.....	60
4.1 Монтаж колони.....	60
4.2 Проведення ремонтних робіт.....	63
5 Охорона праці.....	66
5.1 Аналіз потенційних небезпек під час роботи.....	66
5.2 Розрахунок запобіжного пристрою у разі різкого підвищення тиску.....	66
Висновки.....	69
Література.....	70

					<i>6.133.22.03.00.00.00 ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арку</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Демчишин</i>				<i>Виробництво піроксилінового пороху. Ректифікаційна колона для розділу суміші спирт – вода потужністю по спирту 500 т/рік Пояснювальна записка</i>	<i>Літ</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перев.</i>	<i>Банишевський</i>						4	
<i>Н. Контр.</i>					<i>ІІІ Сум ДУ гр. ХМ-81Ш</i>			
<i>Затверди</i>								

Вступ

Піроксиліновими порохами (ПП) називають порохи на основі нітроцелюлози (НЦ), пластифікованої спиртоєфірним розчинником, із домішками. Склад порохів залежить від їх призначення. За складом усі ПП можна умовно розподілити на дві групи: звичайні гарматні й спеціального призначення. Звичайні гарматні ПП містять: піроксилін (НЦ) – 80–98 %; спиртоєфірну суміш – 0,2–5 %; ДФА – 1 %; гігроскопічну вологу – 0,5–2 % (табл. 1.2). На відміну від звичайних гарматних ряд марок порохів містить додаткові компоненти: ДНТ, ДБФ, сульфат калію, хлорид калію, графіт, камфору, калійну селітру й інші, які надають порохам особливих властивостей.

Основним обладнанням при виробництві піроксилінового пороху є ректифікаційні колонні апарати для по стадійного розділення сумішей.

Розрахунок колонних апаратів виконується з метою визначення технологічного режиму процесу, основних розмірів апарату і його внутрішніх пристроїв, які забезпечують задану чіткість поділу вихідної сировини при заданій продуктивності. Технологічний режим процесу визначається робочим тиском в апараті, температурами всіх зовнішніх потоків, питомою витратою тепла на часткове випаровування залишку і холоду на конденсацію парів у верхній частині колони, флегмовое числом або витратою рідини підпитування. Основними розмірами апарату є його діаметр і висота, що залежать головним чином від типу контактного пристрою в колоні.

Розрахунок умовно розділяється на дві частини з метою систематизації та вибору найбільш раціональної схеми розрахунку процесів і апаратів. До першої належить визначення параметрів процесу поділу, контролюючих якість одержуваних продуктів - показників технологічного режиму; до другої - визначення параметрів процесу, які контролюють продуктивність колони, тобто основних розмірів колони і її внутрішніх пристроїв. Перша частина називається технологічним розрахунком процесів і апаратів, оскільки основним його змістом є визначення технологічного режиму поділу; друга частина називається конструктивним розрахунком апаратів, оскільки основні розміри апарату визначаються на основі гідравлічних залежностей взаємодії двофазних потоків пар - рідина.

Оптимальний розрахунок процесів і апаратів виконується шляхом одночасного вирішення всіх рівнянь, що описують процес поділу і визначають основні розміри апарату.[1]

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

1 Технологічна частина

1.1 Опис технологічної схеми виробництва

Принципова схема ректифікаційної установки показана на рисунку 1.1. Початкова суміш надходить в проміжну ємність поз. 7, потім з проміжної ємності поз.7 відцентровим насосом поз.11 подається в теплообмінник підігрівача поз. 4, де підігрівається до температури кипіння. Нагріта суміш надходить в колону ректифікації поз.1 на розподільчу тарілку.

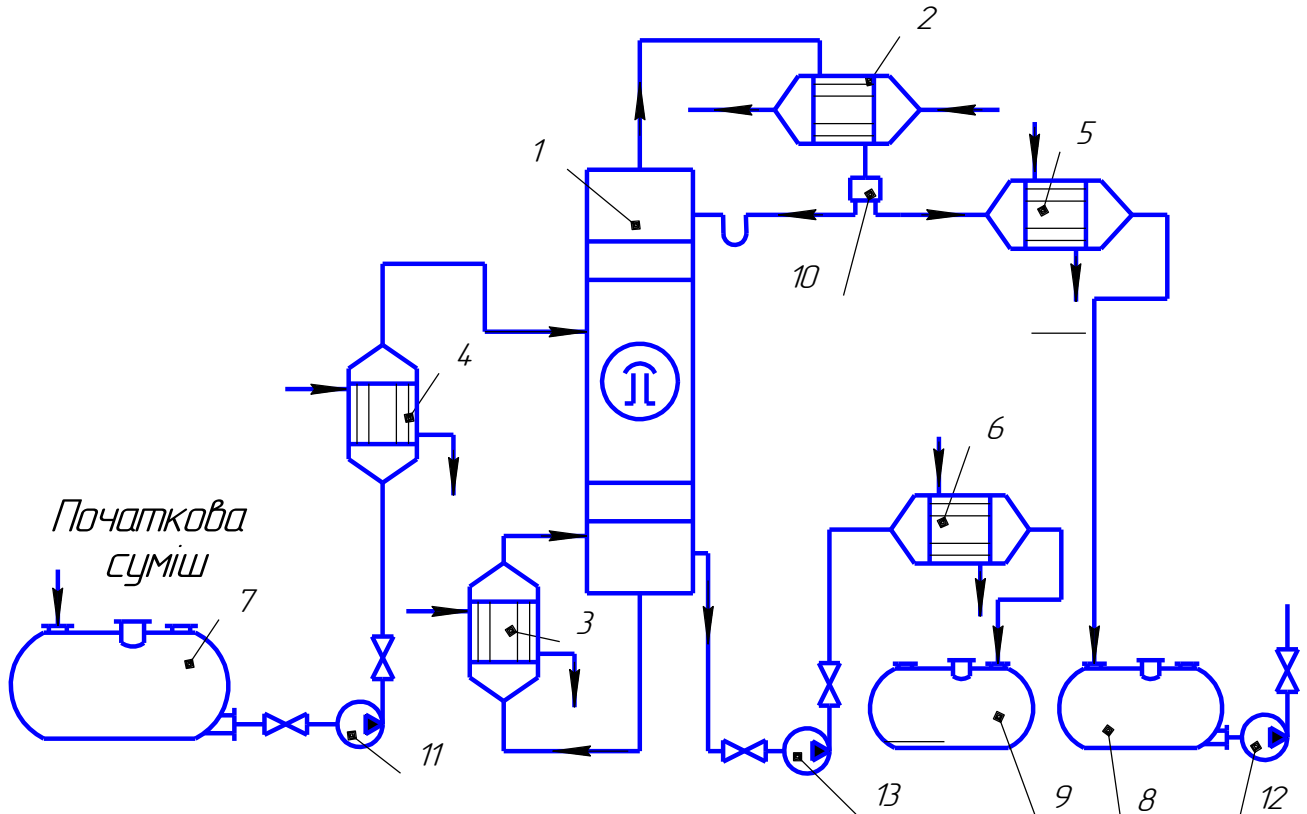


Рисунок 1.1 – Технологічна схема ректифікаційної установки.

- 1 - колона ректифікації,
- 2 - дефлегматор (конденсатор),
- 3 - кип'ятильник,
- 4 - теплообмінник - підігрівач,
- 5 - холодильник дистиляту,
- 6 - холодильник кубової рідини,
- 7 - ємність для початкової суміші,
- 8 - ємність для збору дистиляту,
- 9 - ємність для кубової рідини,
- 10 - розподільник,
- 11, 12, 13 - насоси

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

6.133.22.03.00.00.00 ПЗ

Арк.

6

Стікаючи вниз по колоні, рідина взаємодіє з піднімаючою вгору парою, що утворюється при кипінні кубової рідини в кип'ятильник поз.3. Початковий склад пара приблизно дорівнює складу кубового залишку x_w , тобто, збіднений легколетучим компонентом. Для більш повного збагачення верхню частину колони зрошують відповідно до заданого флегмового числа рідини (флегмою) складу x_p , яка входить в дефлегматор поз.2 шляхом конденсації пара, що виходить з колони. Частина конденсату виводиться з дефлегматора у вигляді готового продукту поділу - дистиляту, який охолоджується в теплообміннику (холодильнику) поз.5 і направляється в проміжну ємність поз.8. З кубової частини колони насосом поз.13 безперервно виводиться кубова рідина - продукт, збагачений важколетучим компонентом, який охолоджується в теплообміннику (холодильнику) поз.6 і направляється в ємність поз.9.

Таким чином, в ректифікаційній колоні здійснюється безперервний нерівномірний процес поділу вихідної бінарної суміші на дистилят з високим вмістом легколетучого компонента і кубовий залишок, збагачений важколетучим компонентом.[4]

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

1.2 Теоретичні основи процесу ректифікації [3]

Розглядаючи взаємодію пара і рідини в ректифікаційній колоні, зробимо такі припущення:

а) молярний теплоти випаровування компонентів однакові, тому кожен кілограм-моль пара при конденсації випаровує відповідно кілограм-моль рідини і, отже, молярний потік пара, що рухається в апараті від низу до верху, однаковий в будь-якому перетині апарату;

б) при конденсації пари в конденсуючому пристрої агрегату не відбувається зміни складу пара і, отже, склад пара, що виходить з ректифікаційної колоні, дорівнює складу дистилляту $y_p = x_p$;

в) при випаровуванні рідини в нижній частині випарника не відбувається зміни її складу, отже, склад пари, що утворюється у випарнику, дорівнює складу залишку $y_w = x_w$;

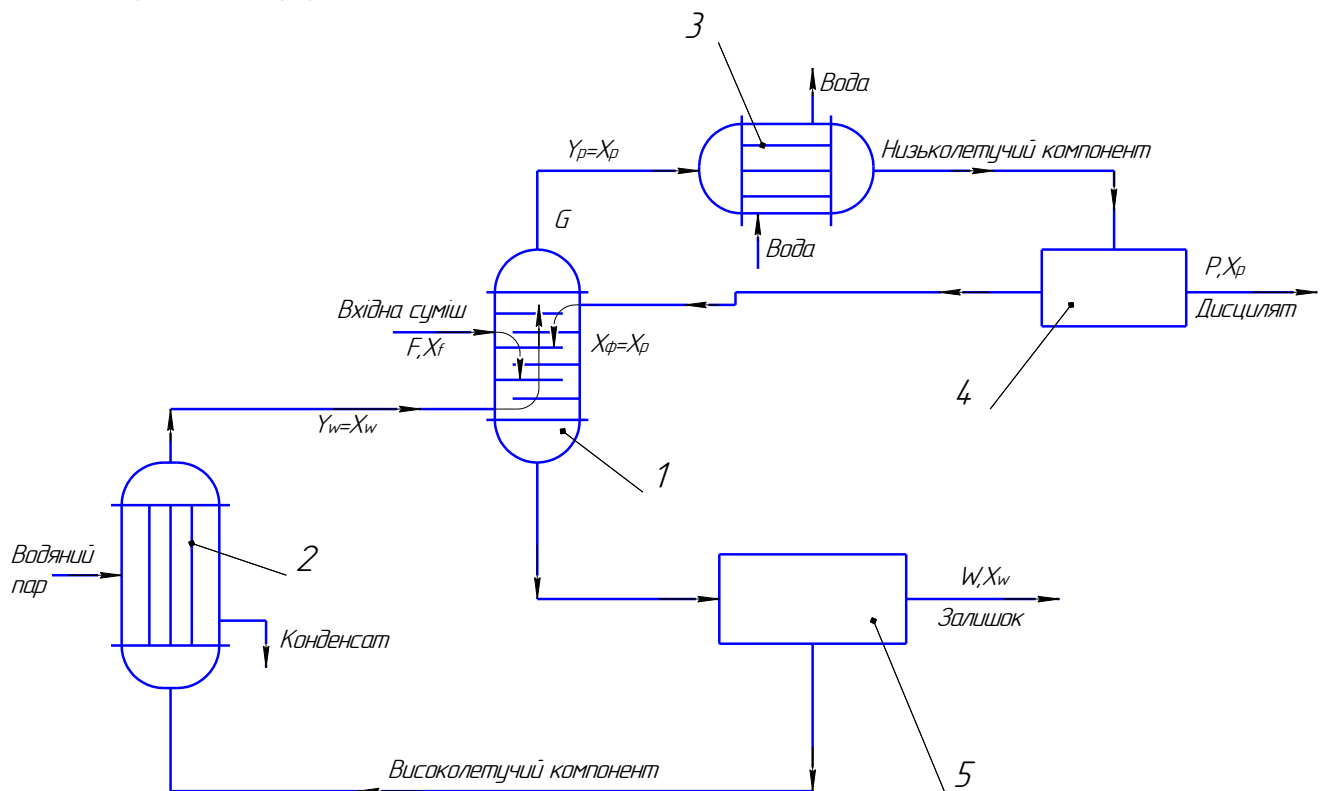


Рис. 1.2 Схема роботи ректифікаційної колоні

1 - ректифікаційна колоні, 2 – кип'ятильник, 3 – конденсатор,
4 – холодильник дистилляту, 5 – холодильник кубової рідини.

Кількість дистилляту, отриманого в конденсаторі, дорівнює кількості пара, що направляється в цей пристрій. Отриманий в конденсаторі дистиллят ділиться на дві частини - одна частина направляється назад в колоні (флегма), інша відбираються продуктом (дистиллят).

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

6.133.22.03.00.00.00 ПЗ

Арк.

8

Нехай для отримання 1 кмоль дистиляту необхідні випаровування D кмоль рідини і повернення в апарат шляхом конденсації для взаємодії з паровим потоком R кмоль. Останню величину назвемо флегмовим числом; вона являє собою відношення кількості повернутого в колону дистиляту (флегми) до кількості відібраного дистиляту у вигляді продукту.

Кількість пара, отриманого в нижній частині ректифікаційної колони, що проходить по колоні і переходить в конденсатор, званий дефлегматором, дорівнює

$$D \cdot G_p = G_p \cdot R + G_p \quad (1.1)$$

чи

$$D = R + 1 \quad (1.2)$$

де G_p - кількість дистиляту в паровій фазі; R – флегмове число.

Отримане рівність доводить, що поділ суміші при ректифікації можливо в результаті взаємодії потоків парів і рідин в ректифікаційній апараті при кратності випару $(R + 1)$ і кратності конденсації R .

Для визначення флегмового числа і виведення рівнянь ліній робочих концентрацій необхідно розглянути матеріальний баланс ректифікації.

Рівняння робочої лінії. Матеріальний баланс ректифікації по летких компонентів може бути виражений загальною для всіх масообмінних процесів рівністю:

$$G \cdot dy = L \cdot (-dx) \quad (1.3)$$

де G – кількість пару що підіймається; L – кількість рідини.

Нехай кількість взаємодіючих парів складе G кмоль, а рідини L кмоль. Тоді, згідно з прийнятим позначенням, $G = (R + 1) \cdot G_p$, а $L = R \cdot G_p$ – для верхньої частини ректифікаційної колони і $L = (R + F) \cdot G_p$ – для нижньої частини апарату. Таким чином, для верхньої і нижньої частин апарату рівняння матеріального балансу запишуться у вигляді

$$(R + 1)dy = R(-dx); \quad (1.4)$$

$$(R + 1)dy = (R + F)(-dx). \quad (1.5)$$

Для довільного перетину верхньої частини апарату, де робочі концентрації x і y , і верху, де концентрації x_p і y_p , отримаємо

$$(R + 1) \cdot (y_p - y) = (R + 1) \cdot (x_p - x) = R \cdot (x_p - x) \quad (1.6)$$

чи

$$y = \frac{R}{R + 1} \cdot x + \frac{x_p}{R + 1} = A \cdot x + B. \quad (1.7)$$

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

Для довільного перетину нижньої частини апарату, де робочі концентрації x і y , і низу, де концентрації рідини і пара x_w і y_w , отримаємо

$$(R + 1) \cdot (y - y_w) = (R + 1) \cdot (y - x_w) = (F + R) \cdot (x - x_w) \quad (1.8)$$

чи

$$y = \frac{R + F}{R + 1} \cdot x - \frac{F - 1}{R + 1} \cdot x_w = A' \cdot x + B', \quad (1.9)$$

Де F – кількість вхідної суміші.

Отримані вище рівняння є рівняннями ліній робочих концентрацій для верхньої і нижньої частини ректифікаційної колони.

Крім того, з рівняння для перетину апарату, відповідного введення вихідної суміші (x_f , y_f), і верху колони (x_p , y_p) маємо

$$(R + 1) \cdot (x_p - y_f) = R \cdot (x_p - x_f), \quad (1.10)$$

звідси

$$R = (x_p - y_f) / (y_f - x_f). \quad (1.11)$$

Де x_f , y_f - концентрація компонента у вхідній суміші; x_p , y_p - концентрація компонента у верхній частині колони. [3]

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

1.3 Опис конструкції колони та вибір конструкційних матеріалів

1.3.1 Опис конструкції колони

Ректифікаційна колона це вертикальний циліндричний апарат, конструктивно складається з корпусу, кришки, днища, штуцерів, опори і внутрішнього устрою.

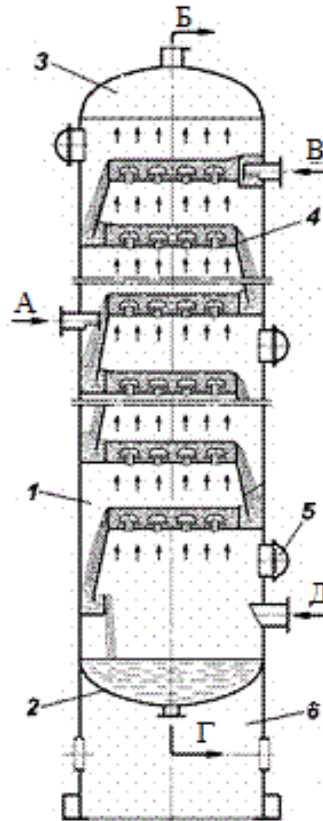


Рис. 1.3 – Ректифікаційна колона

Потоки: А - подача вихідної суміші; Б - відведення пари; В - подача флегми; Г - відведення кубової рідини; Д - подача пари з випарника; 1 - корпус колони; 2 - днище; 3 - кришка; 4 - тарілка ковпачкова із сегментними переливами; 5 - люк - лаз; 6 - опора;

Корпус може бути суцільний чи зібраний з окремих царг, що з'єднуються між собою фланцями на прокладці. Кришку і днище кріплять таким же чином.

Колону виготовляють за заводськими нормам або відповідно до вимог ОСТ 26-291-71.

Тарілки - внутрішні барботичні пристрої, які забезпечують безпосередній контакт між парової і рідкої фазами, необхідний для

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

ректифікації і можуть бути: клапанні, ситчасті, ковпачкові (капсульні), решітчасті.

Колона з однопоточними тарілками типу ТСК зі сталевими капсульними круглими ковпачками, які збирають з царг.

Основною частиною такої тарілки (рис. 1.4) є основа 2 - сталевий відбортований диск товщиною 4 мм з отвором для установки парових патрубків 3 і сегментної зливної труби 1. Над паровими патрубками встановлені стандартні ковпачки 4. Для створення необхідного рівня рідини тарілка забезпечена зливною перегородкою 10, до якої гвинтами прикріплена регульовальна планка 9. Перегородка 5 утворює так званий вхідну кишеню, в який занурюється зливна труба вище розташованої тарілки. Нижня тарілка встановлена на кільці 15, привареному до царги. Точність горизонтальної установки забезпечується регульовальними гвинтами 14.

Для установки розташовується вище тарілки служать стійки 7, мають опорні плити 8. Таким чином заповнюють всю царгу (три - п'ять тарілок).

Зазор між бортом підстави тарілки і царгою ущільнюють установкою сальникової набивки 13 і затисненням її притискним кільцем 6 за допомогою шпильок 11 і скоб 12.

Ковпачки 1 (див. Рис. 1.5) прикріплені до парових патрубків 2 спеціальними болтами 5, шайбами 3 і гайками 4. По краю ковпачок має прорізи.

Рідина через сегментну зливну трубу заповнює тарілку на рівень, який визначається положенням регульовальної планки 9. Ковпачки своїми прорізами занурені в рідину. Пара проходить знизу через парові патрубки, щілини ковпачків і барботують крізь шар рідини; при цьому відбувається масообмін. Рідина переливається на нижче розташовану тарілку, а пара йде вгору. Відстань між тарілками 350-400мм.

Притискне кільце являє собою розрізний бандаж, до якого по кінцях приварені металеві планки з співісними отворами. В отвори вставлені шпильки. Після установки бандаж розжимають за допомогою двох гайок, і він прилягає до внутрішньої поверхні корпусу; при цьому шипи, приварені до корпусу, входять в отвори бандажа.

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

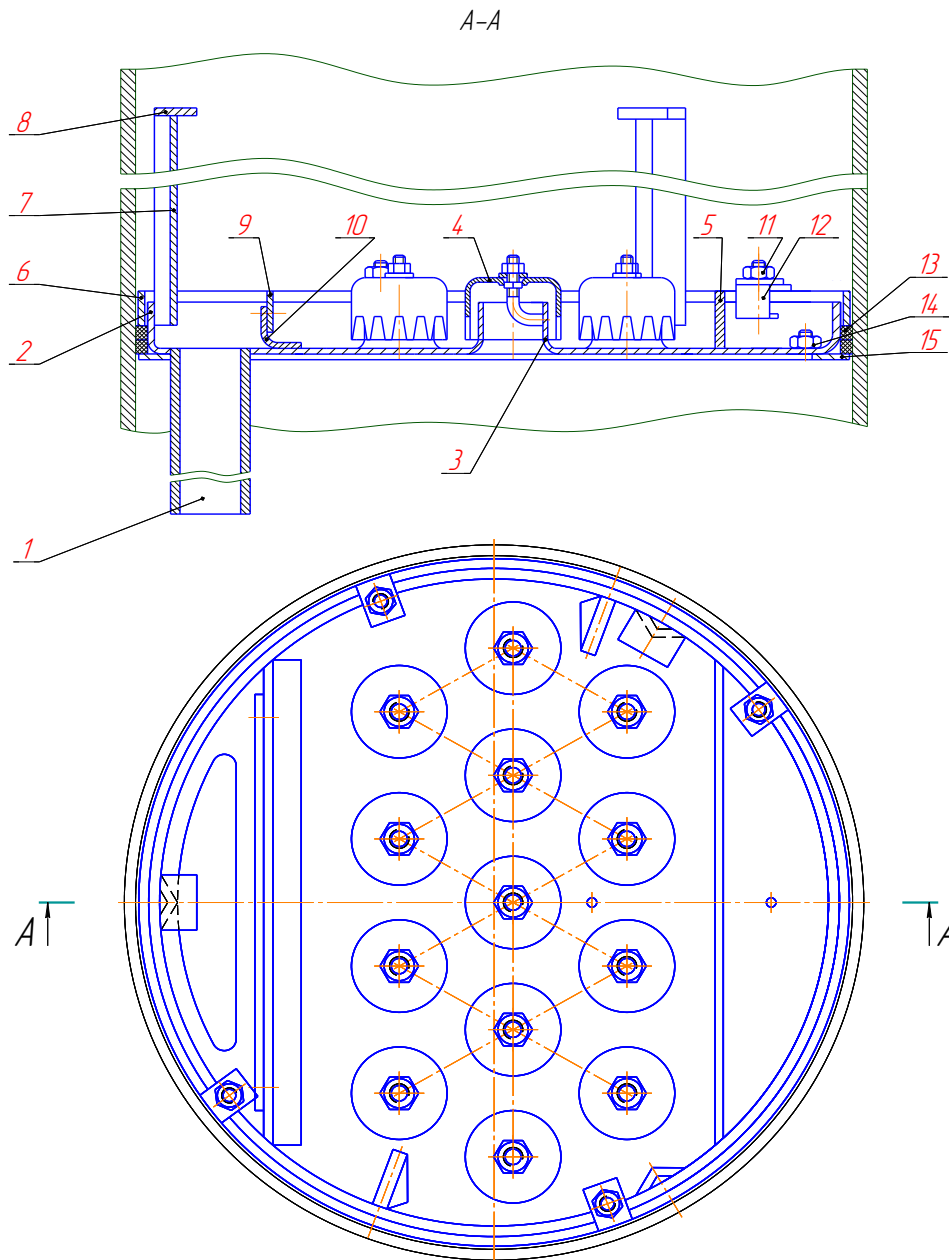


Рисунок 1.4 – Тарілка ТСК-1

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

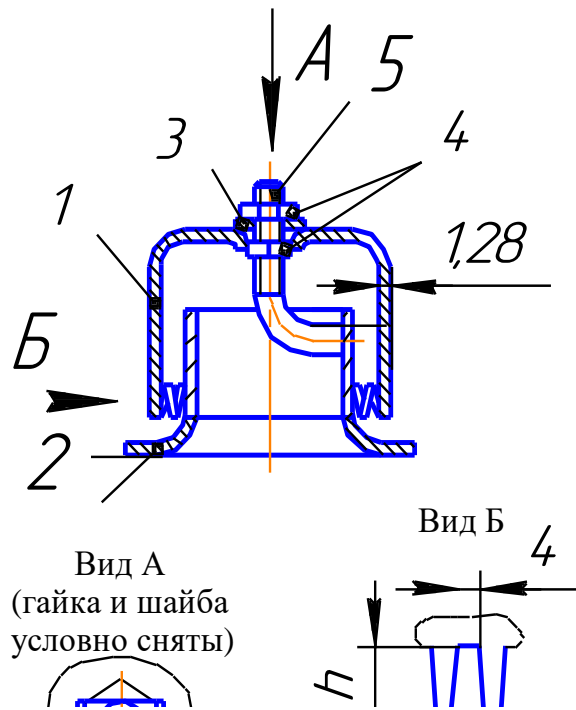


Рисунок 1.5 – Капсульні ковпачки

1 – ковпачки, 2 - паровий патрубок, 3 – шайба, 4 – гайка, 5 - болтами

Для установки апаратів на фундаменти або несучі конструкції передбачають опори. Конструкція опор залежить від виду, робочого положення і маси апарату, а також способу і місця його монтажу.

Для зварних сталевих апаратів застосовують типові опори суцільнозварний конструкції (рисунок 1.6), що складаються з циліндричної опорної обичайки (спідниці) 1, фундаментного кільця 2 і зміцнюючі елементи (косинки 3). Опору приварюють верхньою частиною до апарату (вузол I), а нижній за допомогою анкерних болтів кріплять до фундаменту.

Для внутрішнього огляду зварних швів і обслуговування фланцевих з'єднань в обичайку опор передбачають вікна б, що представляють собою круглі або довгасті вирізи зі зміцненням у вигляді ввареними коротких патрубків. Подібним чином, але менших розмірів влаштовують вентиляційні отвори.

Косинки 3 представляють собою вертикальні ребра, що приварюються до опорної обичайки і опорного кільця для додання останнім більшої жорсткості.

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

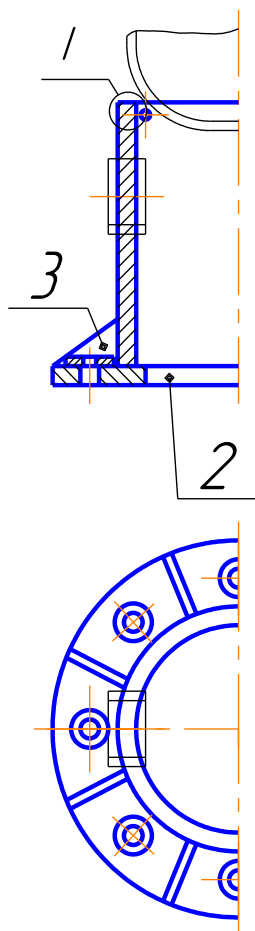


Рисунок 1.6 – Опора вертикального апарату
1 - обичайка, 2 - опора, 3 – ребро.

1.3.2 Вибір конструкційних матеріалів

Вибір конструкційного матеріалу, який визначається умовою експлуатації проектованого елемента, вузла або апарата (температура, тиск, величина навантаження, характер агресивного впливу середовища, вимоги до якості, що переробляється продукту та інше.), Слід виконувати так, щоб при низькій вартості і не дефіцитності матеріалу забезпечувати ефективну технологію виготовлення елемента (вироби).[1]

У цьому проекті здійснюється технологічний процес із застосуванням продукту з підвищеним вимогою до його якості в частині відсутності домішок, то для забезпечення умов роботи апарату прийнята корозійностійка сталь аустенітного класу 12X18H10T ГОСТ 5632-80. Сталь характеризується гарною корозійною стійкістю в середовищі, рекомендується застосовувати в температурному інтервалі - 256 ° С до + 525 ° С для корпусних елементів, до

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

600 ° C - для внутрішніх пристроїв без обмеження тиску. Сталь технологічна, добре зварюється, добре деформується в холодному і гарячому стані, добре обробляється всіма видами різання, характеризується задовільними лінійними властивостями. Хімічний склад і механічні властивості представлені в таблиці 1.1

Таблиця 1.1 - Хімічний склад і механічні властивості сталі 12X18H10T

C, %	Mn, %	Si, %	Cr, %	Ni, %	Cu, %	Ti, %	S, %	P, %	E·10 ⁵ МПа	σ МПа	σ МПа	δ %
0,12	2,0	0,8	17-18	2-11	0,3	0,8	0,02	0,035	2,1	216	530	40

До недоліків цієї сталі слід віднести те, через велику в'язкості вона гірше піддається механічній обробці. Однак, з огляду на, те що механічна обробка конструктивних елементів апарату здійснюється тільки за місцем стику зварюваних елементів конструкції, то цей фактор не має істотного впливу в цілому на вартість виготовлення апарату.

Матеріал зовнішньої оснастки, арматури, кріпильних елементів та інші., що не мають контакту і переробляється середовищем, приймаємо конструкційну сталь 20 ГОСТ 380-71. Вибір на користь цієї сталі, заснований на її порівняно низької вартості, хорошій оброблюваності і досить високими фізико-механічними властивостями. Хімічний склад і механічні властивості представлені в таблиці 1.2

Таблиця 1.2 - Хімічний склад і механічні властивості сталі 20

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

2 Технологічні розрахунки процесу і апарату

2.1 Матеріальний баланс процесу

Масова витрата дистилляту позначимо через G_D (кг/год), витрата кубового залишку – через G_W (кг/год), витрата вихідної суміші – G_f (кг/год).

Склад легколетучего компонента у вихідній суміші 25 %, у дистилляті 96%, в кубовому залишку 4 %.

Рівняння матеріального балансу: [2]

- за потоками:

$$\begin{aligned} G_D + G_W &= G_f, \quad \text{або} & (2.1) \\ 800 + G_W &= G_f \end{aligned}$$

- по спирту:

$$\begin{aligned} G_D \times X_D + G_W \times X_W &= G_f \times X_f, \quad \text{або} & (2.2) \\ 0,96 \times 800 + 0,04 \times G_W &= 0,25 \times G_f \end{aligned}$$

Отримуємо систему рівнянь

$$\begin{cases} G_f - G_W = 800 \\ 0,25G_f - 0,04G_W = 768 \end{cases}$$

З цієї системи рівнянь знаходимо:

$$\begin{cases} G_f = 800 + G_W \\ 0,25(800 + 0,04G_W) = 768 \end{cases}$$

$$0,25G_W = 568, \quad G_W = \frac{568}{0,25} = 2272 \text{ кг/год}, \quad G_f = 3072 \text{ кг/год}.$$

Секундні масові витрати вихідної суміші, дистилляту та кубового залишку складуть:

$$G_f^I = \frac{3072}{3600} = 0,853 \text{ кг/с},$$

$$G_D^I = \frac{800}{3600} = 0,222 \text{ кг/с},$$

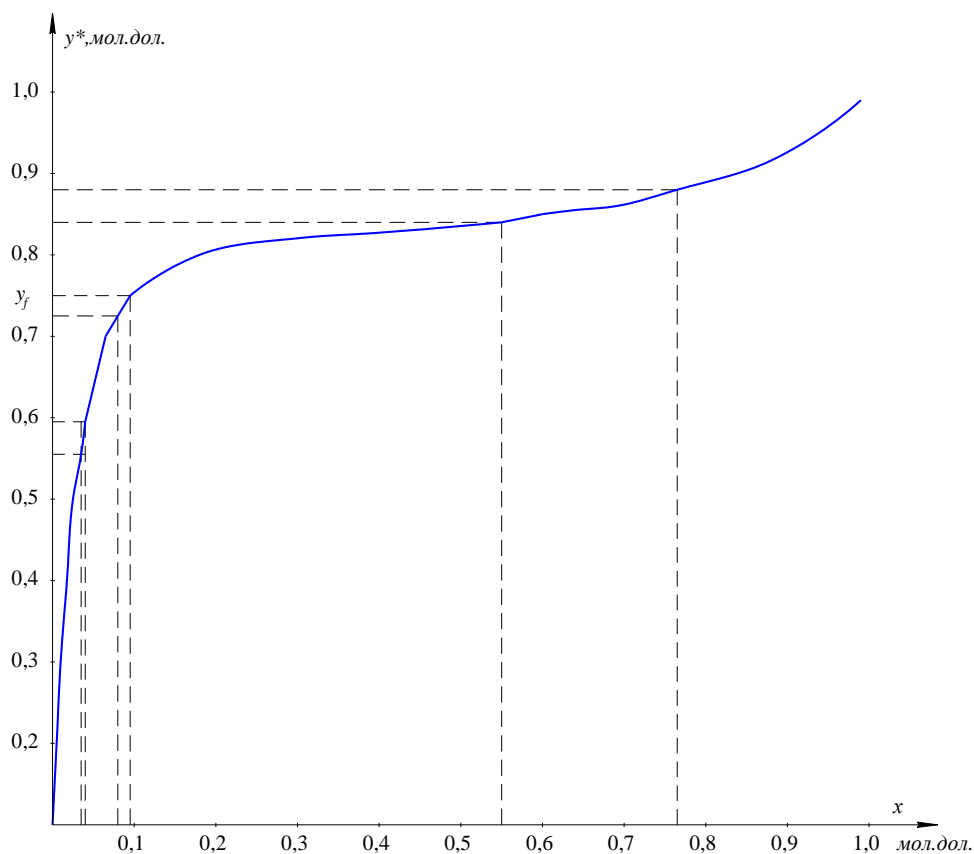
$$G_W^I = \frac{2272}{3600} = 0,631 \text{ кг/с}.$$

Дані щодо ізобарної рівноваги «пар – рідина» для бінарної суміші «спирт – вода» при нормальному тиску згідно [2] представлені в таблиці 2.1.

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Таблиця 2.1 - Ізобарна рівновага бінарної суміші "спирт-вода"

x , мол.долі	y^* , мол.долі	t °C
0.0	0,0	100
0,0115	0,2791	92
0,0221	0,4488	85,2
0,0638	0,6809	72,1
0,1164	0,7777	65,3
0,1727	0,8073	62,7
0,3085	0,8309	60,9
0,4439	0,8421	60,3
0,5096	0,8524	59,8
0,6232	0,8603	59,4
0,6829	0,8722	58,8
0,7629	0,8871	58,35
0,8208	0,9037	58,1
0,9004	0,9353	57,6



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

6.133.22.03.00.00.00 ПЗ

Арк.

18

Рисунок 2.1 – Графік ізобарної рівноваги «пар-рідина»
для системи «спирт-вода»

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

2.2 Визначення флегмового числа

Приймаємо, що вихідна суміш, маючи концентрацію спирту $x_f = 25\%$, подається до колони у вигляді рідини, нагрітої до температури кипіння.

За даними таблиці будуємо криву рівноваги в координатах «у*-х»

Визначаємо мінімальне число флегми 7.30 [3] за формулою:

$$R_{\min} = \frac{x_D - y_f}{y_f - x_f}, \quad (2.3)$$

де: x_D - склад дистилляту в мольних частках ПК (спирту);

x_f - склад дистилляту в мольних частках спирту;

y_f - склад пари над вихідною сумішшю в мольних частках спирту.

Перераховуємо концентрацію спирту у вихідній суміші з масових відсотків у мольні частки [3].

$$x_f = \frac{\frac{a}{M_a}}{\frac{a}{M_a} + \frac{b}{M_b}}, \quad (2.4)$$

де: а, в- масові частки компонентів;

M_a, M_b - молекулярні ваги компонентів;

M_a - молекулярна маса спирту $M_a=46$ [3]

M_b - молекулярна маса води $M_b=18$ [3].

$$x_f = \frac{\frac{0,25}{46}}{\frac{0,25}{46} + \frac{0,75}{18}} = 0,094 \frac{\text{кМоль } a}{\text{кМоль } (a + b)}$$

Склад дистилляту:

$$x_D = \frac{\frac{x_D}{M_a}}{\frac{x_D}{M_a} + \frac{1-x_D}{M_b}} = \frac{\frac{0,96}{46}}{\frac{0,96}{46} + \frac{1-0,96}{18}} = 0,882 \frac{\text{кМоль } a}{\text{кМоль } (a + b)}$$

Склад кубового залишку:

$$x_w = \frac{\frac{x_w}{M_a}}{\frac{x_w}{M_a} + \frac{1-x_w}{M_b}} = \frac{\frac{0,01}{46}}{\frac{0,01}{46} + \frac{1-0,01}{18}} = 0,003 \frac{\text{кМоль } a}{\text{кМоль } (a + b)}$$

Значення y_f знаходимо по кривій рівноваги при $x_f = 0,094$ $y_f^* = 0,75$

Мінімальна кількість флегми

$$R_{\min} = \frac{0,882 - 0,75}{0,75 - 0,094} = 0,2$$

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Робоча кількість флегми:

$$R = 1.3 \times R_{\min} + 0.3$$

$$R = 1.3 \times 0.2 + 0.3 = 0.56$$

2.3 Тепловий баланс

Мольні теплоти випаровування спирту та води [4] зводимо до таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Мольні теплоти випаровування спирту та води

Температура, °С		50	60	80	10	
Теплота випаровування, кДж/кмоль	спирт	r ₁	30600	30030	28750	27410
	вода	r ₂	42920	42490	41600	40670

Зважаючи на відсутність даних залежності теплоємності водних розчинів спирту від температури, використовуємо значення теплоємності розчинів при кімнатній температурі [4] (таблиця 2.3).

Таблиця 2.3 - Залежності теплоємності водних розчинів спирту від температури

x, мол.дол.	0	0,033 3	0,07 2	0,17 1	0,31 8	0,4 2	0,55 4	0,73 6	1
$\frac{C_p, \text{кДж}}{\text{кмоль} \times \text{K}^\circ}$	75, 3	80,3	85,3	96,3	109	116	121	126	12 7

Теплоти змішування спирту при 25°C беремо з довідника [5] і вносимо до таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 - Теплоти змішування спирту при 25°C

x, мол.дол.	0,05	0,125	0,251	0,375	0,498	0,624	0,721	0,874	0,95
$\frac{\Delta H_{см}, \text{кДж}}{\text{кмоль} \times \text{K}^\circ}$	-385	-624	-608	-419	-177	67	202	272	157

За допомогою наведених даних розрахуємо (приймавши за стандартний стан при 25°C) ентальпії спирту та води за наступними рівняннями [2]:

$$i = \Delta H_{см} + C_p \times (t - 25) \quad (2.5)$$

Для суміші спирт-вода:

$$i = \Delta H_{см} + C_p \times (t - 25) + y \times r_1 + 1 \times (1 - y) \times r_2 \quad (2.6)$$

При виконанні розрахунків шукані величини знаходимо лінійною інтерполяцією за рівнянням

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

$$q = q_1 - \frac{q_1 - q_2}{s_1 - s_2} \times (s_1 - s_2), \quad (2.7)$$

де:

q - шукана величина, яка залежить від параметра s

q_1 і q_2 - найближчі відомі значення q при $s = s_1$ і s_2

Так температура кипіння вихідної суміші, що містить 0,094 моль спирту (таблиця 1)

$$t_f = 72,1 + \frac{72,1 - 65,3}{0,0638 - 0,1164} \times (0,094 - 0,0638) = 68,5^\circ\text{C}$$

Таким же чином визначаємо теплоту змішування та теплоємність

$$\Delta H_{смf} = -385 + \frac{-385 - (-624)}{0,05 - 0,125} \times (0,094 - 0,05) = -598 \text{ кДж/кмоль}$$

Знаходимо ентальпію вихідної суміші

$$i_f = 598 + 90,2 \times (68,5 - 25) = 3325 \text{ кДж/кмоль}$$

Температура кипіння кубового залишку $t_{кип} = 98^\circ\text{C}$

Теплота змішування кубового залишку при $x_w = 0,03$ $\Delta H_w \approx -200 \text{ кДж/кмоль}$

Теплоємність $C_p = 75,8 \text{ кДж/кмоль}$

Ентальпія кубового залишку:

$$i_w = 200 + 75,8 \times (98 - 25) = 5333 \text{ кДж/кмоль}$$

Для знаходження ентальпій дистилляту та пари, що надходить у дефлегматор:

теплота змішування при температурі конденсації $t_k = 58,5^\circ\text{C}$ і $x_D = 0,882$

$$\Delta H_{см} = 272 + \frac{272 - 157}{0,874 - 0,95} \times (0,882 - 0,874) = 250 \text{ кДж/кмоль};$$

теплоємність

$$C_p = 126 + \frac{126 - 127}{0,736 - 1} \times (0,882 - 0,736) = 126,5 \text{ кДж/кмоль};$$

теплота випаровування спирту

$$r_1 = 30600 + \frac{30600 - 30030}{50 - 60} \times (58,5 - 50) = 31085 \text{ кДж/кмоль}$$

теплота випаровування води

$$r_2 = 42920 + \frac{42920 - 42490}{50 - 60} \times (58,5 - 50) = 42555 \text{ кДж/кмоль}$$

В результаті отримаємо ентальпію спирту та суміші спирту з водою

$$i_p = 250 + 126,5 \times (58,5 - 25) = 4488 \text{ кДж/кмоль}$$

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

$$I_1 = 4488 + 0,882 \times 31085 + (1 - 0,882) \times 42555 = 36927 \frac{\text{кДж}}{\text{кмоль}}$$

Тепловий баланс:

Теплове навантаження дефлегматора [2]

$$Q_D = P \times (R+1) \times (I_1 - i_p), \quad (2.8)$$

де:

P – витрата дистилляту, кмоль/с

$$P = \frac{800}{58 \times 3600} = 3,83 \times 10^{-3} \frac{\text{кмоль}}{\text{с}}$$

$$Q_D = 3,83 \times 10^{-3} \times (0,56 + 1) \times (36927 - 4488) = 194 \text{кВт};$$

Теплове навантаження окропу [2]

$$Q_K = Q_D + P \times i_p + W \times i_w - F \times i_f \quad (2.9)$$

$$Q_K = 194 + 3,83 \times 10^{-3} \times 4488 + 34 \times 10^{-3} \times 5433 - 37,8 \times 10^{-3} \times 3325 = 270 \text{кВт}$$

Витрата пари $P_{\text{изб}} = (3 \text{кг/см}^2)$ з урахуванням його вологості (5%) у кип'ятильник при теплових втратах 5% складе [3]:

$$G_{\text{сп.п.}} = \frac{Q_K \times 1,05}{r \times x} \quad (2.10)$$

$$G_{\text{сп.п.}} = \frac{270 \times 10^3 \times 1,05}{2140 \times 10^3 \times 0,95} = 0,139 \frac{\text{кг}}{\text{с}} = 502 \frac{\text{кг}}{\text{год}},$$

де:

2140×10^3 Дж/кг – теплота конденсації пари, що гріє.

Витрата охолодної води в дефлегматорі при нагріванні її на 20°C [3]

$$G_{\text{сп.п.}} = \frac{Q_D}{C_g \times \Delta t_g} \quad (2.11)$$

$$G_{\text{сп.п.}} = \frac{194 \times 10^3}{4,19 \times 10^3 \times 20} = 2,32 \frac{\text{кг}}{\text{с}} = 8334 \frac{\text{кг}}{\text{год}}$$

$$\Delta t_g = 20 \text{ [3, с. 432]}$$

Витрата вихідної суміші F, кмоль/с [2]

$$F = \rho \frac{x_D - x_W}{x_f - x_W} = 3,83 \times 10^{-3} \frac{0,882 - 0,003}{0,094 - 0,003} = 37,8 \times 10^{-3} \frac{\text{кмоль}}{\text{с}} \quad (2.12)$$

Витрата кубового залишку

$$W = F - P = (37,8 - 3,83) \times 10^{-3} \approx 34 \times 10^{-3} \text{кмоль/с}$$

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

2.4 Конструктивні розрахунки апарата

Визначення числа теоретичних тарілок

Розрахунок ведемо за формулами III.65 та III.66 [2]

Рівняння робочої лінії для верхньої (зміцнюючої) частини колони:

$$y_{n+1} = \frac{R}{R+1} \times x_n + \frac{x_D}{R+1} \quad (2.13)$$
$$y_{n+1} = \frac{0,56}{0,56+1} \times x_n + \frac{0,882}{0,56+1} = 0,36 \times x_n + 0,565$$

По діаграмі рівноваги ($y^* - x$) (рисунок 2.1) знаходимо, що за $y^* = 0,882$ $x = 0,765$. Для першого ступеня зміни концентрації отримаємо:

$$y_1 = 0,36 \times 0,765 + 0,565 = 0,84$$

По діаграмі рівноваги знаходимо, що за $y^* = 0,84$ $x = 0,45$. Для другого ступеня зміни концентрації отримаємо

$$y_2 = 0,36 \times 0,45 + 0,565 = 0,727$$

Аналогічно знаходимо далі.

При $y^* = 0,719$, $x = 0,09$.

Третій ступінь - $y_3 = 0,36 \times 0,08 + 0,565 = 0,594$

При $y^* = 0,594$, $x = 0,04$

Четвертий ступінь зміни концентрації - $y_4 = 0,36 \times 0,04 + 0,565 = 0,58$

Якщо живлення подається на четверту теоретичну тарілку (зверху), то склад пари для всіх наступних ступенів знаходимо за рівнянням робочої лінії для вичерпної частини колони.

$$y_{n+1} = \frac{R+F}{R+1} \times x_n - \frac{F-1}{R+1} \times x_w, \quad (2.14)$$

де:

F- число кіломолей харчування на 1 кіломоль дистиляту. Визначається за формулою [3]

$$F = \frac{x_D - x_w}{x_f - x_w} \quad (2.15)$$

$$F = \frac{0,882 - 0,003}{0,094 - 0,003} = 9,66$$

$$y_{n+1} = \frac{0,56 + 9,66}{0,56 + 1} \times x_n - \frac{9,66 - 1}{0,56 + 1} \times 0,003 = 6,55 \times x_n - 0,0162$$

При $y_4 = 0,58$, $x = 0,035$.

П'ятий ступінь зміни концентрації

$$y_5 = 6,55 \times 0,035 - 0,0162 = 0,208$$

При $y_5 = 0,208$, $x = 0,01$.

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Шостий ступінь зміни концентрації

$$y_6 = 6,55 \times 0,01 - 0,0162 = 0,048$$

При $y_6 = 0,048$, $x = 0,002$.

Тобто в рідині, що стікає з шостої тарілки, спирту менше за необхідну концентрацію його в кубовому залишку

$$x_w = 0,003 > 0,002$$

Отже кількість теоретичних тарілок $n_T = 6$.

Графічний розрахунок також підтверджує це.

На графіку $b = X_D / (R + 1) = 0,882 / (0,56 + 1) = 0,565$

Розрахунок числа робочих тарілок у колоні

ККД тарілки знаходимо за допомогою кінетичної кривої малюнок III.14 [2], яка побудована на основі закону ефективності тарілок за Мерфі. Тут на осі абсцис відкладено твір середньої в'язкості рідкої фази в колоні (МПа·с) на відносну леткість (α)

$$\alpha = \frac{y \times (1 - x)}{x \times (1 - y^*)} \quad (2.16)$$

Середня в'язкість рідини визначається за рівнянням

$$\mu_{cp} = x_f \times \mu_1 + (1 - x_f) \times \mu_2, \quad (2.17)$$

де:

μ_1 і μ_2 - в'язкість у рідкому стані спирту та води при середній температурі верху та низу колони.

Відносна плинність також знаходиться за середньої температури.

Шляхом лінійної інтерполяції даних таблиці знаходимо температуру конденсації пари, що містить 0,882 мол спирту: $t_k = 78,5^\circ\text{C}$.

Температура кипіння кубового залишку, що містить $x_w = 0,003$ моля спирта: $t_{кип} = 98^\circ\text{C}$.

Середня температура у колоні складе

$$t_{cp} = \frac{78,5 + 98}{2} = 78,25^\circ\text{C}$$

Інтерполяцією рівноважних концентрацій знаходимо концентрації при середній температурі:

$$x = x_1 + \frac{x_1 - x_2}{t_1 - t_2} \times (t - t_1) \quad (2.18)$$

$$x = 0,0221 + \frac{0,0221 - 0,0638}{85,2 - 72,1} \times (78,25 - 85,2) = 0,0442$$

$$y = y_1 + \frac{y_1 - y_2}{t_1 - t_2} \times (t - t_1) \quad (2.19)$$

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

$$y = 0,4488 + \frac{0,4488 - 0,6809}{85,2 - 72,1} \times (78,25 - 85,2) = 0,572$$

Отже

$$\alpha = \frac{0,572 \times (1 - 0,0442)}{0,0442 \times (1 - 0,572)} = 28,9$$

В'язкість спирту при $t_{cp} = 78,5^\circ\text{C}$ рівна $0,2 \text{ МПа}\cdot\text{с}$ [6],

а води $\mu_2 = 0,357 \text{ МПа}\cdot\text{с}$.

Середня в'язкість суміші складе:

$$\mu_{cp} = x_f \times \mu_1 + (1 - x_f) \times \mu_2 \quad (2.20)$$

$$\mu_{cp} = 0,094 \times 0,2 + (1 - 0,094) \times 0,357 = 0,34 \text{ МПа}\cdot\text{с}$$

Величина $\alpha \cdot \mu_{cp} = 28,9 \times 0,34 = 9,83$

За графіком [2, рисунок III.14] знаходимо ККД ковпачкових тарілок

$$\eta_T = 30\%$$

Відтак кількість робочих ковпачкових тарілок

$$n_{p.k.} = \frac{6}{0,3} = 20$$

У верхній частині колони:

$$n_{верх.} = \frac{4}{0,3} = 13 \text{ тарілок}$$

У нижній частині колони:

$$n_{низ.} = 20 - 13 = 7 \text{ тарілок}$$

Харчування потрібно подавати на тарілку харчування 8, рахуючи знизу.

Розраховуємо діаметр колони на відстані між тарілками

рівними $l_h = 0,4 \text{ м}$

Швидкість пари при захлинанні.

Знаходимо граничну швидкість пари за формулою III.68 [2]

$$\omega_{yz} = c \times \sqrt{\frac{\rho_x - \rho_y}{\rho_y}}, \quad (2.21)$$

де:

c - емпіричний коефіцієнт. Для тарілок з капсульними ковпачками значення (м/с) визначаємо з емпіричної залежності III.69 [2, с.62].

$$C = \left\{ v - a \times \lg \left[\frac{L}{G} \times \left(\frac{\rho_y}{\rho_x} \right)^{0,5} \right] \right\} \times \left(\frac{\sigma}{0,02} \right)^{0,2}, \quad (2.22)$$

де:

σ - поверхневий натяг в Н/м.

Коефіцієнти «а» та «в» залежать від відстані між тарілками (h) та визначається з рівнянь [2, с.63]

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

при
$$\frac{L}{G} \times \left(\frac{\rho_x}{\rho_y} \right)^{0,5} < 0,2 \quad (2.23)$$

$$a = 0,0492h + 0,0041; \quad b = 0,0564h + 0,0207,$$

де: L- витрата рідини, G-витрата пари.

Розрахунок ведемо для самого низу колони ректифікації.

Витрата пари, що надходить на нижню тарілку з окропу

$$G = \frac{Q_k}{r_w}, \quad (2.24)$$

де:

r_w - теплота випаровування кубового залишку.

При $t_{\text{кип}} = 98^\circ\text{C}$ теплота випаровування спирту

$$r_1 = 28750 + \frac{28750 - 27410}{80 - 100} \times (98 - 80) = 27050 \text{ кДж/кмоль}$$

При цьому теплота випаровування води

$$r_2 = 41600 + \frac{41600 - 40670}{80 - 100} \times (98 - 80) = 40700 \text{ кДж/кмоль}$$

Отже теплота випаровування кубового залишку дорівнює

$$r_w = 0,003 \times 27050 + (1 - 0,003) \times 40700 = 40660 \text{ кДж/кмоль}$$

Отже витрата пари надходить на нижню тарілку з кип'ятильника складе

$$G = \frac{Q_k}{r_w} \quad (2.25)$$

$$G = \frac{270}{40660} = 0,00664 = 6,64 \times 10^{-3} \text{ кмоль/с}$$

Отже, витрата рідини, що стікає з нижньої тарілки в окроп:

$$L = G + W \quad (2.26)$$

$$L = (6,64 + 34) \times 10^{-3} = 10,64 \times 10^{-3} \text{ кмоль/с}$$

Оскільки середня молекулярна маса кубового залишку практично дорівнює молекулярній масі води, то масові витрати пари та рідини в низу колони складе [2, с.63]

$$G = 6,64 \times 10^{-3} \times 18 = 0,119 \text{ кг/с}$$

$$L = 10,64 \times 10^{-3} \times 18 = 0,192 \text{ кг/с}$$

Щільності пари та рідини, зважаючи на малого вмісту спирту, приймемо рівними щільностям водяної пари та води при 98°C

$$\rho_y = 0,590 \text{ кг/м}^3 \quad \rho_x = 959 \text{ кг/м}^3$$

Поверхневий натяг води за цієї температури (σ) становить $0,059 \text{ Н/м}$ [2, с. 63].

Обчислюємо коефіцієнт по формулі 1.31 [2].

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

При

$$\frac{L}{G} \times \left(\frac{\rho_x}{\rho_y} \right)^{0,5} = \frac{0,731(0,59)^{0,5}}{0,119(959)} = 0,152$$

Отримаємо коефіцієнти:

$$a = 0,0492 \times 0,4 + 0,041 = 0,0238$$

$$b = 0,0564 \times 0,4 + 0,0207 = 0,0433$$

Тоді

$$c = \left[0,0433 - 0,0238 \times \lg 0,152 \times \left(\frac{0,059}{0,02} \right)^{0,2} \right] = 0,0647 \text{ м/с}$$

Отже швидкість пари при захлинанні дорівнює:

$$\omega_{yz} = 0,0647 \times \sqrt{\frac{959 - 0,59}{0,59}} = 2,72 \text{ м/с}$$

Мінімально можливий діаметр колони визначимо за рівнянням [2]

$$D_{\min} = \sqrt{\frac{4G}{\pi \times \rho_y \times \omega_{yz} \times S_{\text{раб}}}}, \quad (2.27)$$

де:

$S_{\text{раб}}$ - частка робочого перерізу колони.

Для ковпачкових тарілок $S_{\text{раб}}$ лежить у межах 0,5...0,7.

Приймаємо $S_{\text{раб}} = 0,6$

$$D_{\min} = \sqrt{\frac{4 \times 0,119}{3,14 \times 0,59 \times 2,72 \times 0,6}} = 0,4 \text{ м}$$

Аналогічний розрахунок проводимо верхній частині колони.

Витрата пари в дефлегматор

$$G_d = \frac{Q_d}{r_d}, \quad (2.28)$$

де:

r_d - теплота випаровування дистилляту.

При $t = 78,5^\circ\text{C}$ теплота випаровування спирту дорівнює $r_1 = 30000$ кДж/кмоль.

Теплота випаровування води: $r_2 = 42400$ кДж/кмоль

$$r_d = 0,96 \times 30000 + (1 - 0,96) \times 42400 = 30500 \text{ кДж/кмоль}$$

Витрата пари складе:

$$G_d = \frac{194}{30500} = 6,36 \times 10^{-3} \text{ кмоль/с}$$

У верхній частині колони відношення мольних витрат рідини та пари складе:

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

$$\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{верх}} = \frac{R}{R+1} \quad (2.29)$$

$$\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{верх}} = \frac{0,56}{0,56+1} = 0,359$$

Отже, витрата рідини складе:

$$L_{\text{д}} = 0,359 \times 0,36 \times 10^{-3} = 2,28 \times 10^{-3} \text{ кмоль/с}$$

Масові витрати вгорі колони становитимуть:

$$G_{\text{д}} = 6,36 \times 10^{-3} \times 58 = 0,37 \text{ кг/с}$$

$$L_{\text{д}} = 2,28 \times 10^{-3} \times 58 = 0,132 \text{ кг/с}$$

Щільність парів спирту за температури 78,5°C [6]

$$\rho_y = 1,9 \text{ кг/м}^3$$

Щільність спирту

$$\rho_x = 750 \text{ кг/м}^3$$

Обчислюємо коефіцієнт з при:

$$\frac{L}{G} \times \left(\frac{\rho_x}{\rho_y}\right)^{0,5} = \frac{0,132}{0,37} \times \left(\frac{1,9}{750}\right)^{0,5} = 0,018$$

$$C = \left\{ b - a \times \lg \left[\frac{L}{G} \times \left(\frac{\rho_y}{\rho_x}\right)^{0,5} \right] \right\} \times \left(\frac{\sigma}{0,02}\right)^{0,2} \quad (2.30)$$

$$C = \left[0,0433 - 0,0238 \times \lg 0,018 \times \left(\frac{0,021}{0,02}\right)^{0,2} \right] = 0,085$$

$$\omega_{\text{уз}} = 0,085 \times \sqrt{\frac{750 - 1,9}{1,9}} = 1,687 \text{ м/с}$$

$$D_{\text{min}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,37}{3,14 \times 1,9 \times 1,687 \times 0,6}} = 0,495 \text{ м}$$

Вибираємо стандартну тарілку для діаметра колони 0,6 м типу ТСК-1 [7], що має частку робочого перерізу $S_{\text{раб.}} = 49\%$.

Технічні дані ковпачкової ректифікаційної тарілки ТСК-1:

Матеріал - сталь Х18Н10Т

Товщина, мм – 2,5

Висота прорізу ковпачка h, мм - 20

Діаметр ковпачка d, мм - 80

Висота ковпачка Н₁, мм - 70

Число ковпачків z, - 13

Крок ковпачків, мм – 110

Вільний переріз колони, м² - 0,28

Довжина лінії барботажу, м - 3,25.

Периметр зливу L_с, м - 0,48

Відстань між тарілками, мм – 400

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Площа парових патрубків F_n , м², 0,027

Визначаємо діаметр парових патрубків.

Площа патрубків $F_n = z \times 0,785 \times d_n^2$,

звідки діаметр патрубка

$$d_n = \sqrt{\frac{F_n}{z \times 0,785}} \quad (2.31)$$

$$d_n = \sqrt{\frac{0,027}{13 \times 0,785}} = 0,051 \text{ м}$$

Приймаємо патрубки діаметром 57 x 3 (мм)

Висоту рівня рідини над прорізом ковпачків приймаємо рівною:

$$h_d = 30 \text{ мм.}$$

Визначення висоти колони

Колону приймаємо збірної конструкції. Корпус колони збирається з окремих царг, що з'єднуються за допомогою фланців та болтів.

При діаметрі колони 600 мм та відстані між тарілками 400 мм рекомендована висота царги 2000мм та у кожній з них встановлено 5 тарілок. Вгорі колони розміщено сепараційну частину висотою 600мм. До нижньої царги приєднується кубова частина заввишки 1400 мм. Висоту циліндричної опорної обичайки приймаємо рівною 1500мм.

Загальна висота колони відповідно до прийнятого компоновання складе:

$$H = 4 \times 2000 + 600 + 1400 + 1500 = 11500 \text{ мм}$$

Визначення діаметрів штуцерів

Колона має такі основні штуцери:

А - вхід вихідної суміші

Б - вихід парів дистилляту

В – вхід парів кубового залишку

Г – вхід флегми

Д – вихід кубового залишку

Діаметри штуцерів визначаємо за рівнянням витрати та прийнятою швидкістю середовища в штуцері [3]

$$d = \sqrt{\frac{V}{0,78 \times \omega}}, \quad (2.32)$$

де:

d - діаметр штуцера, м

V - витрата середовища, м³/с

ω- швидкість середовища у штуцері, м/с

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Приймаємо наступні швидкості середовища у штуцерах [3, таблиця 1-2, с. 23]:

Початкова суміш (під напором), $\omega = 1,0\text{м/с}$

Пари при вході та виході, $\omega = 10\text{м/с}$

Флегма та кубовий залишок (самотеком), $\omega = 0,4\text{м/с}$

Витрата середовища у штуцерах складе:

а) початкової суміші:

$$V_f = \frac{G_f}{\rho_{жс} \times 3600}, \quad (2.33)$$

де:

$\rho_{жс}$ - щільність вихідної суміші [3]

$$\rho_{жс} = 0,25 \times \rho_a + (1 - 0,25) \times \rho_b,$$

де:

ρ_a - щільність спирту, $\rho_a = 800\text{кг/м}^3$

ρ_b - щільність води, $\rho_b = 950\text{кг/м}^3$

$$\rho_{жс} = 0,25 \times 800 + 0,75 \times 950 = 912\text{кг/м}^3$$

$$V_f = \frac{3505}{912 \times 3600} = 107 \times 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$$

б) пара дистилляту: $G_d = 0,37\text{кг/с}$

$$V_d = \frac{G_d}{\rho_d} = \frac{0,37}{1,9} = 0,195\text{ м}^3/\text{с} \quad (2.34)$$

в) флегми

$$V_R = \frac{G_d \times R}{\rho_{н.к.}}, \quad (2.35)$$

де:

$$G_d = P \times M_a = 3,83 \times 10^{-3} \times 58 = 0,222 \text{ кг/с}$$

При $t = 78,5^\circ\text{C}$ $\rho_{н.к.} = 750 \text{ кг/м}^3$

$$V_R = \frac{0,0222}{750} = 2,96 \times 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$$

г) кубового залишку

$$V_w = \frac{G_w}{\rho_w}, \quad (2.36)$$

де:

$$G_w = W \times M_b = 34 \times 10^{-3} \times 18 = 0,612 \text{ кг/с}$$

$$V_d = \frac{0,612}{950} = 6,44 \times 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$$

Визначаємо діаметри штуцерів:

а) для початкової суміші

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

$$d_a = d_f = \sqrt{\frac{107 \times 10^{-5}}{0,785 \times 1,0}} = 0,0369 \text{ м} = 36,9 \text{ мм}$$

Приймаємо $d_f = 40 \text{ мм} = d_a$

б) для виходу парів дистилляту

$$d_o = \sqrt{\frac{0,795}{0,785 \times 10}} = 0,158 \text{ м}$$

Приймаємо $d_o = 160 \text{ мм}$.

в) для входу парів кубового залишку

$$d_b = d_o = 160 \text{ мм}$$

г) для флегми

$$d_r = \sqrt{\frac{V_r}{0,785 \times \omega_r}} \quad (2.37)$$

$$d_r = \sqrt{\frac{2,96 \times 10^{-5}}{0,785 \times 0,4}} = 3,07 \times 10^{-2} \text{ м} = 30,7 \text{ мм}$$

Приймаємо $d_r = 30 \text{ мм}$

д) для кубового залишку

$$d_d = \sqrt{\frac{V_w}{0,785 \times \omega_r}} \quad (2.38)$$

$$d_d = \sqrt{\frac{6,44 \times 10^{-4}}{0,785 \times 0,4}} = 4,53 \times 10^{-2} \text{ м} = 45,3 \text{ мм}$$

Приймаємо $d_d = 50 \text{ мм}$.

2.5 Гідравлічні розрахунки

Гідравлічний опір ковпачкової тарілки складається з трьох доданків [3]

$$\Delta P = \Delta P_{\text{сух}} + \Delta P_{\text{в}} + \Delta P_{\text{пж}}, \quad (2.39)$$

де:

$\Delta P_{\text{сух}}$ - опір сухої тарілки

$\Delta P_{\text{в}}$ - опір, спричинений силами поверхневого натягу

$\Delta P_{\text{пж}}$ - опір парорідинного шару.

Доданки гідравлічного опору визначаємо за формулами [3]

$$\Delta P_{\text{сух}} = \xi \times \frac{\omega_o^2 \times \rho_1}{2} \quad (2.40)$$

$$\Delta P_{\text{в}} = \frac{4\sigma}{d_o} \quad (2.41)$$

$$\Delta P_{\text{пж}} = 1,3 \times \rho_{\text{жс}} \times \left(1 + \frac{H_{\text{np}}}{2} + \Delta h \right) \times g \quad (2.42)$$

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Знаходимо значення величин, що входять до формули.

Коефіцієнт опору ξ приймаємо рівним 5[3].

Швидкість пари в прорізах ковпачків, або в патрубках

$$\omega_0 = \frac{V_n}{F_n} = \frac{V_d}{F_d} \quad (2.43)$$

$$\omega_0 = \frac{0,195}{0,027} = 7,22 \text{ м/с}$$

Середня щільність пари

$$\rho_n = \frac{0,59 + 1,9}{2} = 1,25 \text{ кг/м}^3$$

Поверхневий натяг $\sigma = 0,059 \text{ Н/м}$

Еквівалентний діаметр прорізів ковпачка

$$d_s = \frac{4a}{\Pi}, \quad (2.44)$$

де:

f - площа прорізу

$$f = \frac{h \times d}{2} \quad (2.45)$$

$$f = \frac{0,02 \times 0,02}{2} = 0,0004 \text{ м}^2$$

Периметр прорізу: $\Pi = 3 \times 0,02 = 0,06 \text{ м}$

$$d_s = \frac{4 \times 0,0004}{0,06} = 0,0013 \text{ м}$$

Щільність рідини $\rho_x = 750 \text{ кг/м}^3$

Висота рівня над зливним порогом [3]

$$\Delta h = \left(\frac{V_{жс}}{1,85 \times L_c \times k} \right)^{\frac{2}{3}}, \quad (2.46)$$

де:

$V_{жс}$ - витрата рідини (найбільший)

$$V_{жс} = \frac{G_f + G_D \times (1 + R)}{3600 \times \rho_{жс}} \quad (2.47)$$

$$V_{жс} = \frac{3505 + 800 \times (1 + 0,56)}{3600 \times 750} = 1,76 \times 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$$

Периметр зливу [2] $L_c = 0,48 \text{ м}$

$$\Delta h = \left(\frac{1,76 \times 10^{-3}}{1,85 \times 0,48 \times 0,3} \right)^{\frac{2}{3}} = 0,035 \text{ м}$$

Обчислюємо доданок гідравлічного опору

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

$$\Delta P_{\text{сyx}} = 5 \times \frac{7,22^2 \times 1,25}{2} = 163 \text{Па}$$

$$\Delta P_{\text{в}} = \frac{4 \times 0,059}{0,013} = 182 \text{Па}$$

$$\Delta P_{\text{пж}} = 1,3 \times 0,3 \times 750 \times \left(1 + \frac{0,02}{2} + 0,035\right) \times 9,81 = 3000 \text{Па}$$

Гідравлічний опір тарілки

$$\Delta P_{\text{т}} = 163 + 182 + 3000 = 3345 \text{Па}$$

Гідравлічний опір всіх тарілок

$$\Delta P_{\text{об}} = \Delta P_{\text{т}} \times z = 3345 \times 13 = 43485 \text{Па} = 43,5 \text{кПа}. \quad (2.48)$$

2.6 Вибір допоміжного обладнання

Розрахунок кубового окропу

Температурні умови процесу:

Кубовий залишок кипить при 98°C рахунок теплоти конденсації пари.

Відповідно до завдання тиск пари $P = 3 \text{ кг/см}^2$, отже температура конденсації $t_{\text{к}} = 142,9^\circ\text{C}$ та середня різниця температур

$$\Delta t_{\text{ср}} = 142,9 - 98 = 44,9^\circ\text{C}$$

Теплове навантаження окропу $Q_{\text{к}} = 270 \text{кВт}$

Приймаємо для розрахунку виносний куб із труб $d = 25 \times 2 \text{мм}$

завдовжки

$$l = 2000 \text{мм.}$$

Визначення коефіцієнта теплопередачі.

Приймаємо теплову провідність забруднень з боку конденсуючої пари [3]

$$\frac{1}{r_{\text{загр1}}} = 5000 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}}, \quad (2.49)$$

а з боку кубового залишку (майже чистої води)

$$\frac{1}{r_{\text{загр2}}} = 4000 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}} \quad (2.50)$$

Теплопровідність сталі $\lambda = 46,5 \text{Вт/м}\cdot\text{К}$

Таким чином

$$\Sigma r_{\text{ст}} = r_{\text{загр1}} + r_{\text{загр2}} + r_{\text{ст}} \quad (2.51)$$

$$\Sigma r_{\text{ст}} = \frac{1}{500} + \frac{0,002}{46,5} + \frac{1}{4000} = 5 \times 10^{-4} \text{ м}^2 \times \text{К} / \text{Вт}$$

Коефіцієнт тепловіддачі з боку конденсації пари визначаємо за формулою [8]

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

$$\alpha_{\text{конд}} = 2,04 \times A \times \left(\frac{r}{H \times \Delta t_1} \right)^{0,25}, \quad (2.52)$$

де:

A для води береться за температури плівки конденсату ($t_{\text{пл}}$)

$$t_{\text{пл}} = \frac{t_{\text{нас}} + t_{\text{см}}}{2} \quad (2.53)$$

r - теплота конденсації (при $t_{\text{нас}} = 142,9^\circ\text{C}$ $r = 2141 \times 10^3$ Дж/кг)

$$\Delta t_1 = t_{\text{нас}} - t_{\text{ст}} \quad (2.54)$$

H - висота труб, м.

При H = 2м

$$\alpha_{\text{конд}} = 2,04 \times A \times \left(\frac{2141 \times 10^3}{2 \times \Delta t_1} \right)^{0,25} = 66 \times A \times \Delta t_1^{0,25} \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}} \right) \quad (2.55)$$

Коефіцієнт тепловіддачі з боку киплячого кубового залишку [8, с. 87]

$$\alpha_{\text{кип}} = 2,72 \times \varphi \times P^{0,4} \times q^{0,7} \quad (2.56)$$

Для води $\varphi=1$.

При $P \approx 1 \text{ кг/см}^2$

$$\alpha_{\text{кип}} = 2,72 \times q^{0,7} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}} \quad (2.57)$$

При процесі теплообміну, що встановився.

$$Q_{\text{конд}} = Q_{\text{ст}} = Q_{\text{кип}}$$

$$Q_{\text{конд}} = \alpha_{\text{конд}} (t_{\text{конд}} - t_{\text{ст1}}) \quad (2.58)$$

$$q_{\text{см}} = \frac{t_{\text{см1}} - t_{\text{см2}}}{\sum r_{\text{см}}} \quad (2.59)$$

$$Q_{\text{кип}} = \alpha_{\text{кип}} (t_{\text{ст2}} - t_{\text{кип}}) \quad (2.60)$$

В даному випадку $\alpha_{\text{конд}} = f(t_{\text{ст1}})$, а $\alpha_{\text{кип}} = f(q)$

Так як $t_{\text{ст1}}$ і q заздалегідь невідомі, далі вважаємо шляхом послідовних наближень, тобто за різними значеннями $t_{\text{ст}}$ находим залежність ($t_{\text{ст}} - q$).

Величина $t_{\text{ст}}$ знаходиться в межах $142,9 - 98^\circ\text{C}$.

Розрахунок ведемо за таблицею

Будуємо графіки залежності $Q_{\text{конд}}$ і $Q_{\text{кип}}$ от $t_{\text{ст}}$.

Точки перетину прямих для ($Q_{\text{конд}}$) і ($Q_{\text{кип}}$) дають:

$$t_{\text{ст1}} = 136^\circ\text{C}; \quad q_{\text{ср1}} = 54000 \text{ Вт/м}^2$$

Перевірочний розрахунок за тієї ж температури дає:

$$q_{\text{ср2}} = \frac{q_{\text{конд3}} + q_{\text{кип3}}}{2} = \frac{54510 + 57780}{2} = 56145 \text{ Вт/м}^2$$

$$q_{\text{ср}} = \frac{q_{\text{ср1}} + q_{\text{ср2}}}{2}$$

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

$$q_{cp} = \frac{54000 + 56145}{2} = 55072 \text{ Bm} / \text{m}^2$$

Тоді коефіцієнт теплопередачі

$$\kappa = \frac{q_{cp}}{\Delta t_{cp}} \quad (2.61)$$

$$\kappa = \frac{55072}{44.9} = 1227 \text{ Bm} / \text{m}^2 \times K$$

Необхідна поверхня теплообміну (F)

$$F = \frac{Q_{\kappa}}{\kappa \times \Delta t_{cp}} = \frac{Q_{\kappa}}{q_{cp}} \quad (2.62)$$

$$F = \frac{270000}{55072} = 4,9 \text{ m}^2$$

За таблицю П.3 [2] вибираємо кожухотрубний теплообмінник із параметрами:

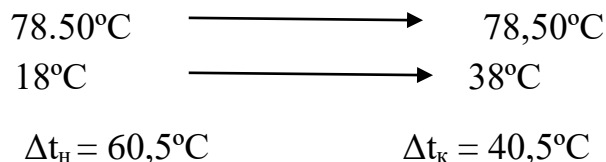
поверхні теплообміну	$F = 6 \text{ m}^2$
діаметр кожуха	$D = 273 \text{ мм}$
діаметр труб	$d_t = 25 \times 2$
число ходів	$z = 1$
загальна кількість труб	$n = 37$
довжина труб, м	$l = 2,0$

Розрахунок дефлегматора

У дефлегматорі конденсується $G_d = 0,37 \text{ кг/с}$ парів спирту за рахунок нагрівання води на 20°C .

Приймаємо, що вода, що охолоджує, нагрівається в дефлегматорі від 18 до 38°C .

У цьому випадку температурні умови процесу виражаються наступною діаграмою



Співвідношення

$$\frac{\Delta t_n}{\Delta t_k} = \frac{60,5}{40,5} = 1,97 < 2$$

Отже

$$\Delta t_{cp} = \frac{60,5 + 40,5}{2} = 50,5^\circ\text{C}$$

Середня температура води

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

$$t_{cp} = \frac{38+18}{2} = 28^{\circ}C$$

$$Q_d = 194 \text{ кВт}$$

Розраховуємо, скільки труб розміром 25 x 2мм знадобиться на один хід у трубному просторі при турбулентному режимі руху води.

Приймаємо критерій $Re = 20000$.

З виразів [3, с 22]

$$Re = \frac{\omega \times d \times \rho}{\mu} \quad (2.63)$$

$$\omega = \frac{G_g}{3600 \times 0,785 \times d^2 \times n \times \rho} \quad (2.64)$$

Визначаємо кількість труб (n)

$$n = \frac{G_g}{3600 \times Re \times 0,785 \times \mu \times d},$$

де:

$G_g = 8334$ кг/год береться з попередніх розрахунків

$\mu = 0,853 \times 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{с}/\text{м}^2$ – в'язкість води при $28^{\circ}C$

$$n = \frac{8334}{3600 \times 20000 \times 0,785 \times 0,853 \times 10^{-3} \times 0,021} = 8$$

Вибираємо для розрахунку теплообмінник кожухотрубний.

Знаходимо величину критерію Рейнольдса

$$Re = \frac{\omega \times d \times \rho}{\mu} = \frac{G_g}{3600 \times 0,785 \times \mu \times d \times n};$$

$$Re = \frac{8334}{3600 \times 0,785 \times 0,853 \times 0,021 \times 10^{-3} \times 8} = 20600$$

Визначаємо коефіцієнт тепловіддачі з боку води, що охолоджує, при турбулентному режимі [3]

$$Nu = 0,021 \times Re^{0,8} \times Pr^{0,43} \times \left(\frac{Pr}{Pr_{2cm}} \right)^{0,25} \quad (2.65)$$

звідси

$$\alpha_g = \frac{\lambda}{d} \times Re^{0,8} \times Pr^{0,43} \times \left(\frac{Pr}{Pr_{2cm}} \right)^{0,25} \times 0,021 \quad (2.66)$$

$$\alpha_g = \frac{0,615}{0,021} \times 20600^{0,8} \times 5,8^{0,43} \times 0,021 = 3700 \text{ Вт}/\text{м}^2 \times \text{К}$$

де:

$\lambda = 0,615 \text{ Вт}/\text{м} \cdot \text{гр}$ - теплопровідність води при $t_{cp} = 28^{\circ}C$ [3]

Pr - критерій Прандтля для води за тієї ж температури.

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Значення $\left(\frac{P_r}{P_{2cm}}\right)^{0,25}$ не враховуємо.

Визначаємо коефіцієнт тепловіддачі з боку конденсуючої пари (дистилляту) [8, с. 91]

$$\alpha_{конд} = E_{cp} \times \alpha, \quad (2.67)$$

де:

α - коефіцієнт тепловіддачі для одиночної горизонтальної труби

E_{cp} - усереднений коефіцієнт для пучка труб

Для одиночної горизонтальної труби [3]

$$\alpha = 2,02 \times \lambda \times \sqrt[3]{\frac{\rho^2 \times l}{\mu \times G_d}}, \quad (2.68)$$

де:

λ - теплопровідність конденсату,

ρ - щільність конденсату, $\rho_x = 750 \text{ кг/м}^3$,

μ - в'язкість конденсату,

l - довжина горизонтальної труби, м

Приймаємо $l=1,5 \text{ м}$

G_d - витрата конденсуючого дистилляту

$$G_d = 0,17 \text{ кг/с}$$

Значення λ , ρ , μ треба брати при температурі плівки конденсату

$$t_{пл} = \frac{t_{конд} + t_{ст1}}{2},$$

де:

$t_{ст1}$ - температура стінки з боку конденсуючої пари.

В цьому випадку

$$\alpha = 2,02 \times \lambda \times \sqrt[3]{\frac{750^2 \times 1,5}{\mu \times 0,37}} = 266 \sqrt[3]{\frac{\lambda^3}{\mu}} \text{ Вт/м}^2 \times \text{К} \quad (2.69)$$

Опір стінки та забруднень [3]

$$\sum r_{cm} = r_{загр} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + r_{загр2}, \quad (2.70)$$

де:

$\delta_{ст}$ - товщина стінки труби, рівна $0,004 \text{ м}$

$\lambda_{ст}$ - теплопровідність сталеві стінки, рівна $46,5 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$ [3]

$r_{загр1}$ і $r_{загр2}$ - прийняті опори забруднень з боку пари та води

$$\sum r_{cm} = \frac{1}{10000} + \frac{0,004}{46,5} + \frac{1}{2000} = 6,86 \times 10^{-4} \text{ м}^2 \times \text{К/Вт}$$

Визначення питомого теплового навантаження [8]

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

При тепловому потоці, що встановився

$$Q = q_{\text{конд}} = q_{\text{ст}} = q_{\text{в}}, \quad (2.71)$$

тобто

$$\alpha_{\text{конд}} \times (t_{\text{конд}} - t_{\text{ст}}) = \sum r_{\text{ст}} \times (t_{\text{ст1}} - t_{\text{ст2}}) = \alpha_{\text{в}} \times (t_{\text{ст2}} - t_{\text{в}}), \quad (2.72)$$

де:

$t_{\text{ст1}}$ - температура стінки з боку пари,

$t_{\text{ст2}}$ - температура стінки з боку води.

Так як $t_{\text{ст1}}$ і $t_{\text{ст2}}$ заздалегідь невідомі, то задаючи $t_{\text{ст1}}$ або $t_{\text{ст2}}$ визначаємо (q) шляхом послідовних наближень.

Перший розрахунок проводимо за

$$t_{\text{ст1}} = 0,5 \times \left(\frac{t_{\text{н1}} + t_{\text{к1}}}{2} + \frac{t_{\text{н2}} + t_{\text{к2}}}{2} \right), \quad (2.73)$$

де:

$t_{\text{н1}}, t_{\text{н2}}$ - початкові температури теплоносіїв,

$t_{\text{к1}}, t_{\text{к2}}$ - кінцеві температури теплоносіїв.

$$t_{\text{ст1}} = 0,5 \times \left(\frac{18 + 38}{2} + \frac{78,5 + 78,5}{2} \right) = 43^{\circ}\text{C}$$

$$t_{\text{пл}} = 0,5 \times (t_{\text{конд}} + t_{\text{ст1}}) = 0,5 \times (78,5 + 43) = 61^{\circ}\text{C}$$

За цієї температури ($t_{\text{пл}} = 61^{\circ}\text{C}$)

$$\alpha_{\text{конд}} = 266 \sqrt[3]{\frac{\lambda^3}{\mu}} = 266 \sqrt[3]{\frac{0,163^3}{0,25 \times 10^{-3}}} = 688 \text{ Вт/м}^2 \times \text{К},$$

де:

μ - за монограмою ([3, с. 596] рисунок V) при $t = 61^{\circ}\text{C}$, ($\text{Н} \cdot \text{с/м}^2$);

λ - за монограмою ([3, с. 601] рисунок X) для спирта

$$0,14 \times 1,163 = 0,163 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$$

$$\Delta t_1 = t_{\text{конд}} - t_{\text{ст1}} = 58,5 - 43 = 15,5 \text{ К}$$

$$q_{\text{конд}} = \alpha_{\text{конд}} \times \Delta t_1 = 688 \times 15,5 = 10670 \text{ Вт/м}^2$$

$$\Delta t_{\text{ст}} = q_{\text{конд}} \times \sum r_{\text{ст}} = 10670 \times 6,86 \times 10^{-4} = 7,3^{\circ}\text{C}$$

$$t_{\text{ст2}} = t_{\text{ст1}} - \Delta t_{\text{ст}} = 43 - 7,5 = 35,7^{\circ}\text{C}$$

$$\alpha_{\text{в}} = 3700 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

$$\Delta t_2 = t_{\text{ст2}} - t_{\text{в ср}} = 35,7 - 28 = 7,7 \text{ К}$$

$$q_{\text{в}} = \alpha_{\text{в}} \times \Delta t_2 = 3700 \times 7,7 = 28490 \text{ Вт/м}^2$$

Так як $q_{\text{конд}}$ менше $q_{\text{в}}$, другий розрахунок проводимо за $t_{\text{ст1}} < 43^{\circ}\text{C}$

Приймаємо $t_{\text{ст1}} = 40^{\circ}\text{C}$

Подальший розрахунок наведено у таблиці

Відповідно до другого розрахунку $q_{\text{конд}} = 13000 \text{ Вт/м}^2$, $q_{\text{в}} = 11470 \text{ Вт/м}^2$

отже

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

$$q_{cp} = \frac{13000 + 11470}{2} = 12235 \text{ Bm} / \text{m}^2$$

Необхідна поверхня теплообміну

$$F = \frac{Q_{д}}{q_{cp}} \quad (2.74)$$

$$F = \frac{194000}{12235} = 15,8 \text{ m}^2$$

Коефіцієнт теплопередачі

$$\kappa = \frac{q_{cp}}{\Delta t_{cp}} \quad (2.75)$$

$$\kappa = \frac{12235}{30,5} = 401 \text{ Bm} / \text{m}^2 \times \text{K}$$

За таблицею П.3 [2, с. 25] вибираємо кожухотрубний холодильник з наступною характеристикою:

Діаметр теплообмінних труб, мм – 25 x 2

Кількість ходів – 1

Діаметр кожуха, мм – 400

Число труб в апараті – 111

Поверхня теплообміну, м² – 17

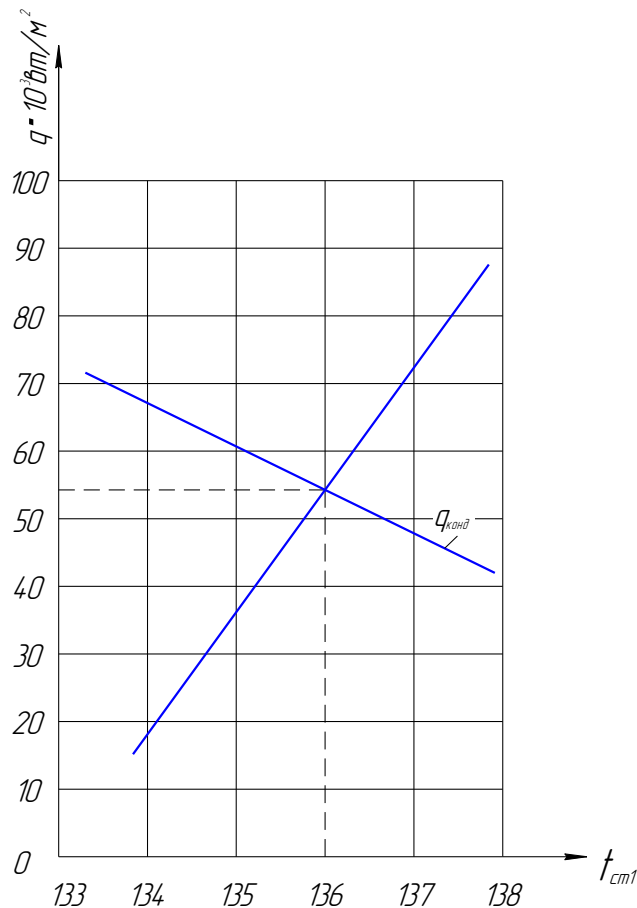


Рисунок 2.2 – визначаємо t_{cm1} і q_{cp} .

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Розрахунок підігрівача вихідної суміші

У підігрівачі вихідна суміш із витратою $F=37,8 \times 10^{-3}$ кмоль/с нагрівається від температури 15°C до температури кипіння вихідної суміші $t_k=78,5^\circ\text{C}$ за рахунок теплоти конденсації пари. Температура конденсації дорівнює $119,6^\circ\text{C}$ (при $P=2$ ата)

119,6	Пар	119,6
15	Початкова суміш	78,5
$\Delta t_H=104,6$		$\Delta t_K=51,1$
Отже		

$$\frac{\Delta t_H}{\Delta t_K} = \frac{104,6}{51,5} = 2,05$$

$$\Delta t_{CP} = \frac{104,6 \times 51,5}{\ln \frac{104,6}{51,1}} = 74,7 \text{ K}$$

та середня температура суміші

$$t_{cp} = 119,6 - 74,7 = 44,9 \text{ K}$$

Теплове навантаження підігрівача

$$Q_{\text{п}} = F \times i_f = 37,8 \times 10^{-3} \text{ кмоль/с} \times 3325 \text{ кДж/кмоль} = 125,7 \text{ кВт}$$

Визначення коефіцієнта теплопередачі. Приймають теплову провідність забруднень з боку пари, що конденсується. [3]

$$\frac{1}{r_{\text{загр}_1}} = 5000 \text{ вт}/(\text{м}^2 \times \text{K}),$$

а з боку кубового залишку (майже чистої води) [3]

$$\frac{1}{r_{\text{загр}_2}} = 4000 \text{ вт}/(\text{м}^2 \times \text{K}).$$

Теплопровідність сталі $\lambda=46,5 \text{ вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$.

Таким чином [8]

$$\sum r_{\text{ст}} = r_{\text{загр}_1} + r_{\text{ст}} + r_{\text{загр}_2} = \frac{1}{500} + \frac{0,0025}{46,5} + \frac{1}{4000} = 5 \times 10^{-4} \text{ м}^2 \times \text{K}/\text{вт}.$$

Коефіцієнт тепловіддачі з боку пари, що конденсується, визначають за формулою [8]

$$a_{\text{конд}} = 2,04 \times A \times \left(\frac{r}{H \Delta t_1} \right)^{0,25} \text{ вт}/(\text{м}^2 \times \text{K}), \quad (2.76)$$

де:

А для води береться за температури $t_{\text{пл}} = \frac{t_{\text{нас}} + t_{\text{ст}}}{2}$,

r – теплота конденсації (при $t_{\text{нас}}=119,6^\circ\text{C}$ $r=2208 \times 10^3 \text{ Дж/кг}$), [3]

$$\Delta t_1 = t_{\text{нас}} - t_{\text{ст}},$$

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

H – висота труб, м.

При $H = 2\text{ м}$

$$a_{\text{конд}} = 2.04 \times A \times \left(\frac{2208 \times 10^3}{2 \Delta t_1} \right)^{0.25} = 66 \times A \times \Delta t_1^{-0.25} \text{ вт}/(\text{м}^2 \times \text{К}). \quad (2.77)$$

Коефіцієнт тепловіддачі з боку окропу вихідної суміші визначають за формулою:

$$a_{\text{кип}} = 2,72 \times \varphi \times \rho^{0.4} \times q^{0.7} \text{ вт}/(\text{м}^2 \times \text{К}). \quad (2.78)$$

Для суміші $\varphi = 0,5$.

При $p \approx 1 \text{ ат}$ $a_{\text{кип}} = 1,36 \times q^{0.7} \text{ вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. [8]

При процесі теплообміну, що встановився.

$$Q_{\text{конд}} = Q_{\text{ст}} = Q_{\text{кип}}, \quad (2.79)$$

де

$$Q_{\text{конд}} = a_{\text{конд}} (t_{\text{конд}} - t_{\text{ст1}}),$$

$$Q_{\text{ст}} = \frac{t_{\text{см1}} - t_{\text{см2}}}{\sum r_{\text{см}}},$$

$$Q_{\text{кип}} = a_{\text{кип}} (t_{\text{ст2}} - t_{\text{кип}}). \quad (2.80)$$

В даному випадку $a_{\text{конд}} = f(t_{\text{ст1}})$, а $a_{\text{кип}} = f(q)$. Так як $t_{\text{ст1}}$ і q заздалегідь не відомі, далі розраховують методом послідовних наближень, тобто за різними заданими значеннями $t_{\text{ст}}$ – q . Величина $t_{\text{ст}}$ має знаходитися в межах $119,6 - 78,5^\circ\text{C}$.

Для наочності розрахунку та зручності контролю за змінами розрахункових величин будують графіки залежності $Q_{\text{конд}}$ і $Q_{\text{кип}}$ від $t_{\text{ст}}$.

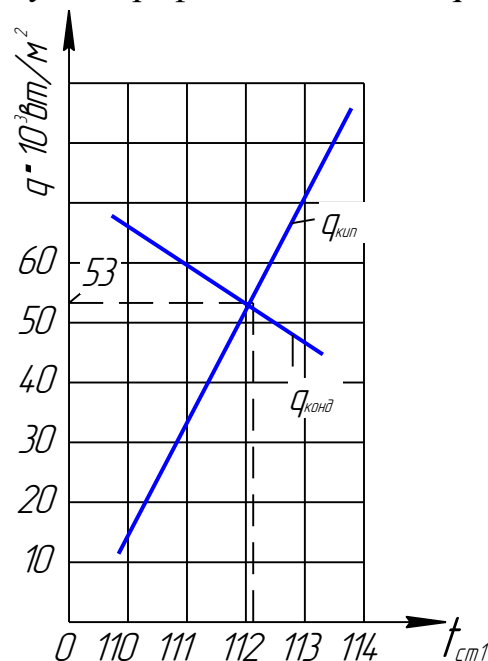


Рисунок 2.3 – Визначення $t_{\text{ст1}}$ і $q_{\text{ст}}$

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Точка перетину прямих для $q_{\text{конд}}$ і $q_{\text{кип}}$ при $t_{\text{ст1}}$ дає $q_{\text{сп1}}=53000\text{Вт/м}^2$.
Перевірочний розрахунок за тієї ж температури дає

$$q_{\text{сп2}} = \frac{q_{\text{конд}} + q_{\text{кип}}}{2} = \frac{54000 + 54700}{2} = 54350\text{Вт/м}^2$$

Приймаємо до розрахунку

$$q_{\text{сп}} = \frac{q_{\text{сп1}} + q_{\text{сп2}}}{2} = \frac{53000 + 54350}{2} = 53685\text{Вт/м}^2$$

Тоді коефіцієнт теплопередачі

$$K = \frac{q_{\text{сп}}}{\Delta t_{\text{сп}}} = \frac{53685}{74,7} = 719\text{Вт/}(m^2 \times K)$$

Необхідна поверхня теплообміну

$$F = \frac{Q}{K \times \Delta t_{\text{сп}}} = \frac{Q}{q_{\text{сп}}} = \frac{125700}{53685} = 2,34\text{м}^2$$

Згідно з проведеними розрахунками, розміри підігрівача наступні: [2]

поверхня теплообміну	2,5м ² ;
зовнішній діаметр корпусу	159мм;
діаметр трубок	20 x 2мм;
довжина трубок	2000мм;
кількість трубок	19шт.

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

3 Розрахунок апарату на міцність та герметичність

3.1 Розрахункові навантаження апарата

Вибір конструкційних матеріалів

Вибираємо конструкційний матеріал стійкий серед киплячої суміші спирт – вода.

В умовах окропу суміш спирт-вода хімічно стійкою є сталь марки Х18Н10Т. Швидкість корозії її менше 0,1 мм/рік, коефіцієнт теплопровідності $\lambda_{ст} = 25,1 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$.

Для прокладок вибираємо пароніт ГОСТ 481 - 88, що характеризується гранично допустимими робочими параметрами середовища $t_c = 150^\circ\text{C}$, $P_p = 2,5 \text{ МПа}$

Розрахункова температура [9, с. 9]

$$t = \max(t_c; 20^\circ\text{C}) \quad (3.1)$$

$$t = \max(t_c = 78^\circ\text{C}; 20^\circ\text{C}) = 78^\circ\text{C},$$

де: t_c – максимально можлива температура середовища в апараті, взята температурі середовища в апараті, згідно з завданням, $^\circ\text{C}$.

Розрахунковий тиск [9, с. 8]

$$P_1 = P_a + P_r, \quad (3.2)$$

де: P_a – робочий надлишковий тиск в апараті, МПа;

P_r – гідростатичний тиск середовища, МПа.

якщо $(P_r/P_a)/100\% < 5\%$, то $P_1 = P_a$

$$P_r = \rho_c^a \cdot g \cdot H \cdot 10^{-6} \quad (3.3)$$

$$P_r = 1000 \cdot 9,81 \cdot 10 \cdot 10^{-6} = 0,0981 \text{ МПа},$$

де: ρ_c^a – щільність середовища у корпусі апарату, кг/м^3 ;

g – прискорення вільного падіння, м/с^2 ,

H - висота стовпа рідини, м;

$$H = H_{ж} = 10$$

$(P_r/P_a)100\% = (0,091/0,11) \cdot 100 = 89,18\%$, що більше 5%

$$P_1 = 0,11 + 0,0981 \approx 0,208 \text{ МПа}$$

Допустима напруга

Допустима напруга для матеріалу корпусу (сталь 12Х18Н10Т) при 20°C та розрахунковій температурі відповідно [9, с. 11]:

$$[\sigma]_{20} = 160 \text{ МПа};$$

$$[\sigma] = 152 \text{ МПа}$$

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахункове значення межі плинності для сталі 12Х18Н10Т при 20°C [9, с. 282]:

$$\sigma_{m20} = 240 \text{ МПа}$$

Допустима напруга в умовах гідравлічних випробувань визначається за формулою [3]:

$$[\sigma]_{и} = \sigma_{m20} / 1,1 \quad (3.4)$$
$$[\sigma]_{и} = 240 / 1,1 = 218 \text{ МПа.}$$

Пробний тиск при гідровипробуванні

Пробний тиск при гідровипробуванні корпусу [9]:

$$p_{пр}^k = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,5p[\sigma]_{20} / [\sigma] \\ 0,2 \end{array} \right\} \quad (3.5)$$
$$p_{пр}^k = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,5 \cdot 0,208 \cdot 160 / 152 = 0,328 \text{ МПа} \\ 0,2 \text{ МПа} \end{array} \right\} = 0,328 \text{ МПа}$$

Розрахункове значення модуля поздовжньої пружності

Модуль поздовжньої пружності для матеріалу корпусу та сорочки (сталі 12Х18Н10Т) при 20°C та розрахунковій температурі відповідно [9, с. 282]:

$$E_{20} = 2,0 \cdot 10^5 \text{ МПа}; \quad E = 2,0 \cdot 10^5 \text{ МПа.}$$

Додаток до розрахункових товщин конструктивних елементів

Додаток до розрахункових товщин слід визначати за формулою [9, с. 80]:

$$c = c_1 + c_2 + c_3 \quad (3.6)$$

де: c_1 – добавка для компенсації корозії та ерозії, мм;

c_2 – збільшення для компенсації мінусового допуску, мм;

c_3 – збільшення технологічне, мм.

Добавки C_2 і C_3 приймаємо рівними нулю.

Додаток для компенсації корозії (ерозію не враховуємо) визначаємо за формулою:

$$c_1 = \Pi \cdot \tau \quad (3.7)$$

$$c_1 = 0,09 \cdot 12 = 1,08 \text{ мм,}$$

де: Π – проникність матеріалу, відповідно до завдання, мм/рік,

τ – термін служби апарату, згідно з завданням на проектування, років.

$$C = 1,08 + 0 + 0 = 1,08 \text{ мм.}$$

Коефіцієнт міцності зварних швів

Коефіцієнт міцності зварних швів $\phi = 0,65$ – для стикової, виконаної вручну з одного боку при контролі швів за довжиною до 50% [9, с. 10].

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2 Розрахунок товщини стінки корпусу

Розрахункова (номінальна) товщина стінки обичайки корпусу визначається за формулою [9, с. 18]:

$$s_p^p = \max \left\{ \begin{array}{l} p_1 D / (2\phi[\sigma] - p_1) \\ p_{np}^k D / (2\phi[\sigma]_n - p_{np}^k) \end{array} \right\} \quad (3.8)$$

$$s_p^p = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,208 \cdot 600 / (2 \cdot 0,65 \cdot 152 - 0,208) = 0,63 \text{ мм} \\ 0,328 \cdot 600 / (2 \cdot 0,65 \cdot 218 - 0,328) = 0,695 \text{ мм} \end{array} \right\} = 0,695 \text{ мм}$$

де: D – внутрішній діаметр обичайки корпусу, мм.

Виконавчу товщину стінки обичайки корпусу визначаємо за формулою [9, с. 18]:

$$s \geq s_p + 2c \quad (3.9)$$

$$s \geq 0,695 + 2 \cdot 1,08 = 2,855 \text{ мм.}$$

Приймаємо виконавчу товщину стінки обичайки корпусу рівної:

$$s = 5 \text{ мм.}$$

Перевіряємо умову застосування формул безмоментної теорії [9, с. 19]:

$$(s-2c)/D \leq 0,1 \quad (3.10)$$

$$(5-2 \cdot 1,08)/600 = 0,0047,$$

що менше 0,1 – умова застосування формул виконана.

3.3 Розрахунок товщини стінки еліптичного днища (кришки)

Відповідно до завдання, днище корпусу виготовлено зі сталі 12X18H10T. Приймаємо стандартне еліптичне днище за ГОСТ 6533-78 з висотою $H=0,25D$, для якого розрахунковий параметр $R=D=600\text{MM}$. Конструкція еліптичного днища представлена на рис. 3.1

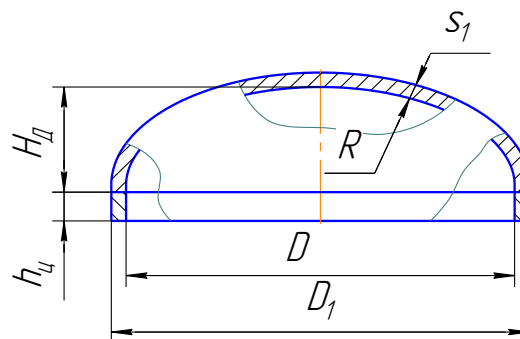


Рисунок 3.1– Конструкція еліптичного днища (кришки)

Розрахункова товщина еліптичного днища (кришки), навантаженого внутрішнім надлишковим тиском, визначається за формулою [9]:

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$s_{1p} = \max \left\{ \begin{array}{l} p_1 R / (2\varphi[\sigma] - 0,5p_1) \\ p_{np}^k R / (2\varphi[\sigma]_{и} - 0,5p_{np}^k) \end{array} \right\} \quad (3.11)$$

$$s_{1p} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,208 \cdot 600 / (2 \cdot 0,65 \cdot 152 - 0,5 \cdot 0,208) = 0,633 \text{ мм} \\ 0,328 \cdot 600 / (2 \cdot 0,65 \cdot 218 - 0,5 \cdot 0,328) = 0,695 \text{ мм} \end{array} \right\} = 0,695 \text{ мм}$$

Виконавчу товщину стінки днища (кришки) корпусу реактора визначаємо за формулою:

$$s_1 \geq s_{1p} + 2c \quad (3.12)$$

$$s_1 \geq 0,695 + 2 \cdot 1,08 = 2,855 \text{ мм.}$$

Приймаємо виконавчу товщину стінки днища (кришки) корпусу реактора рівної:

$$s_1 = 5 \text{ мм.}$$

Перевіряємо умови застосування формул [9, с. 20]:

$$0,002 \leq (s_1 - 2c) / D \leq 0,10; \quad (3.13)$$

$$0,2 \leq H/D \leq 0,5; \quad (3.14)$$

$0,002 < [(s_1 - 2c) / D = (5 - 2 \cdot 1,08) / 600 = 0,0047] < 0,10$ – умова виконана;

$0,2 < [H/D = 0,25 \cdot 600 / 600 = 0,25] < 0,5$ – умова виконана.

3.4 Визначення допустимих тисків

Допустимий тиск для обичайки корпусу

Допустимий внутрішній тиск для обичайки корпусу з $s = 4$ мм визначається за формулою:

- у робочих умовах [9, с. 19]

$$[p] = \frac{2[\sigma]\varphi(s - 2c)}{D + (s - 2c)} \quad (3.15)$$

$$[p] = \frac{2 \cdot 152 \cdot 0,65(5 - 2 \cdot 1,08)}{600 + (5 - 2 \cdot 1,08)} = 0,93 \text{ МПа;}$$

- в умовах гідравлічних випробувань [9, с. 19]

$$[p]_{и} = \frac{2[\sigma]_{и}\varphi(s - 2c)}{D + (s - 2c)} \quad (3.16)$$

$$[p]_{и} = \frac{2 \cdot 218 \cdot 0,65(5 - 2 \cdot 1,08)}{600 + (5 - 2 \cdot 1,08)} = 1,335 \text{ МПа;}$$

Допустимий тиск для днища (кришки) корпусу

Визначаємо допустимий тиск, для еліптичного днища (кришки) корпусу в робочих умовах та в умовах гідровипробувань відповідно:

$$[p]_1 = \frac{2(s_1 - 2c)\varphi \cdot [\sigma]}{R + 0,5(s_1 - c)} \quad (3.17)$$

$$[p]_1 = \frac{2(5 - 2 \cdot 1,08) \cdot 0,65 \cdot 152}{600 + 0,5(4 - 2 \cdot 1,08)} = 0,933 \text{ МПа;}$$

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

$$[p]_{\text{ли}} = \frac{2(s_1 - 2c)\varphi \cdot [\sigma]_{\text{ли}}}{R + 0,5(s_1 - c)} \quad (3.18)$$

$$[p]_{\text{ли}} = \frac{2(5 - 2 \cdot 1,08) \cdot 0,65 \cdot 218}{600 + 0,5(5 - 2 \cdot 1,08)} = 1,339 \text{ МПа};$$

3.5 Зміцнення отворів

Як показують експерименти, максимальна напруга швидко зменшується в міру віддалення від краю отвору, тобто приріст напруги носить локальний характер. Таким чином, при проектуванні апаратури необхідно вирішувати задачу про зниження підвищених напруг в області отворів до значень, що допускаються за рахунок компенсації ослаблення, викликаного наявністю вирізу. [9, с.76]

Компенсація ослаблення може здійснюватися двома способами:

1) збільшенням товщини стінки всієї оболонки виходячи з максимальних напруг біля краю отвору та

2) зміцненням краю отвору додатковим матеріалом, що вводиться по можливості ближче до місця розподілу максимальної напруги. Перший спосіб застосовується дуже рідко і може бути визнаний раціональним, т. до. область підвищення напруг незначна.

Зміцнення отворів циліндричної обичайки корпусу

Визначаємо розрахунковий діаметр одиночного отвору, що не вимагає зміцнення:

$$d_0 = 2 \left(\frac{s-c}{s_p} - 0,8 \right) \sqrt{D_p (s-c)} \quad (3.19)$$

$$d_0 = 2 \left(\frac{5-1,08}{0,63} - 0,8 \right) \sqrt{600(5-1,08)} = 263 \text{ мм}$$

Так як діаметр штуцера входу пари, що гріє (штуцер Д) Ду 200мм, то зміцнення отвору не потрібно.

Зміцнення отворів еліптичного днища сорочки [9, с. 76]

Визначаємо розрахунковий діаметр одиночного отвору, що не вимагає зміцнення:

$$d_0 = 2 \left(\frac{s-c}{s_p} - 0,8 \right) \sqrt{D_p (s-c)} \quad (3.20)$$

$$d_0 = 2 \left(\frac{4-1,08}{1,55} - 0,8 \right) \sqrt{1697(4-1,08)} = 153 \text{ мм},$$

Оскільки діаметр штуцера нижнього спуску (Л) Ду = 50мм, то зміцнення не потрібно.

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зміцнення отворів еліптичної кришки (днища) корпусу
 Визначаємо розрахунковий діаметр одиночного отвору, що не вимагає
 зміцнення

-для штуцера Г (вихід парів дистилляту)

$$d_0 = 2 \left(\frac{s-c}{s_p} - 0,8 \right) \sqrt{D_p (s-c)} \quad (3.21)$$

де: D_p – розрахунковий діаметр елемента, що зміцнюється.

Для еліптичного днища при $H = 0,25D$:

$$D_p = 2D \sqrt{1 - 3 \left(\frac{x}{D} \right)^2} \quad (3.22)$$

$$D_p = 2 \cdot 600 \sqrt{1 - 3 \left(\frac{0}{1000} \right)^2} = 1200 \text{мм},$$

де: x – відстань від центру отвору, що зміцнюється, до осі еліптичного
 днища, мм.

$$d_0 = 2 \left(\frac{5-1,08}{0,695} - 0,8 \right) \sqrt{1200(5-1,08)} = 331,94 \text{мм}$$

Оскільки діаметр штуцера Г $D_u = 200 \text{мм}$, то зміцнення отвору не
 потрібно.

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.6 Розрахунок фланцевого з'єднання

Початкові дані

Фланець – сталевий плоский приварний, форма привалювальної поверхні – «виступ-впадина», ізольований.

Таблиця 3.1 Вихідні дані для розрахунку фланцевого з'єднання

	Найменування параметра	Од.вим.	Умов. Позн.	Значення
1.	Умови експлуатації:			
	температура фланців	°C	t_{ϕ}	68
	температура болтів	°C	t_b	64
	внутрішній тиск	МПа	p	0,208
	зовнішня сила	МН	P	0
2.	Геометричні параметри фланця:			
	внутрішній діаметр	м	D	0,6
	зовнішній діаметр	м	D_{ϕ}	0,72
	діаметр болтового кола	м	D_b	0,68 (табл.13.7 [11, с.234])
	товщина фланців	м	$h_{\phi 1}$	0,030
		м	$h_{\phi 2}$	0,025
	товщина стінки апарату	м	S_0	0,008
3.	Параметри прокладки:			
	зовнішній діаметр прокладки	м	D_0	0,64
	ширина прокладки	м	b	0,02
	товщина прокладки	м	h	0,002
	матеріал прокладки	-		паронит
	коефіцієнт		m	2,5
	мінімальний тиск	МПа	q	20
	допустимий питомий тиск на прокладку	МПа	$[q]$	130
	модуль поздовжньої пружності	МПа	E_n	2000
4.	Матеріал фланців	-	-	Сталь 12X18H10T
	допустима напруга при температурі $t=20^{\circ}\text{C}$	МПа	$[\sigma_{\phi 1}]^{20} = [\sigma_{\phi 2}]^{20}$	160
	допустима напруга при розрахунковій температурі t	МПа	$[\sigma_{\phi 1}]^t = [\sigma_{\phi 2}]^t$	152
	модуль поздовжньої пружності при температурі $t=20^{\circ}\text{C}$	МПа	$E_{\phi 1}^{20} = E_{\phi 2}^{20}$	200000
	модуль поздовжньої пружності при температурі t	МПа	$E_{\phi 1}^t = E_{\phi 2}^t$	200000
	коефіцієнт лінійного розширення за температури t	K^{-1}	$\alpha_{\phi 1}^t = \alpha_{\phi 2}^t$	0,0000166
5.	Допустима напруга для матеріалу фланця у перерізі S_0	МПа	$[\sigma_{\phi 1}^{135}] = [\sigma_{\phi 2}^{135}]$	600
	Кількість болтів	шт	z_b	20 (табл. 13.7 [11, с.234])
6.	зовнішній діаметр різьблення болта	м	d_b	0,02
	внутрішній діаметр різьблення болта	м	d_0	0,0173
	Матеріал болтів			ВСт5
	Напруга, що допускається для матеріалу болтів при температурі $t=20^{\circ}\text{C}$	МПа	$[\sigma_b]^{20}$	130
	Напруга, що допускається для матеріалу болтів при температурі $t=135^{\circ}\text{C}$	МПа	$[\sigma_b]^t$	128
	Модуль поздовжньої пружності болта за температури t	МПа	E_b^t	196000
	Коефіцієнт лінійного розширення	K^{-1}	α_b^t	0,0000116
	7.	Добавка до розрахункових товщин	м	c
8.	Коефіцієнт міцності збірних швів	-	φ	0,65
9.	Коефіцієнт тертя	-	f_1	0,1

Перевірочний розрахунок фланцевого з'єднання [10, с. 31, 11, с. 259]
 Відношення більшої товщини втулки до меншої [10, с.31]:

$$\beta = 1 \quad (3.23)$$

Середній діаметр прокладки

$$D_{с.п.} = D_{п.} - b \quad (3.24)$$

$$D_{с.п.} = 0,64 - 0,02 = 0,62 \text{ мм.}$$

Ефективна ширина прокладки при $b > 0,015 \text{ м}$:

$$b_E = 0,06 \cdot b^{0,5} \quad (3.25)$$

$$b_E = 0,06 \cdot 0,02^{0,5} = 0,0085 \text{ м.}$$

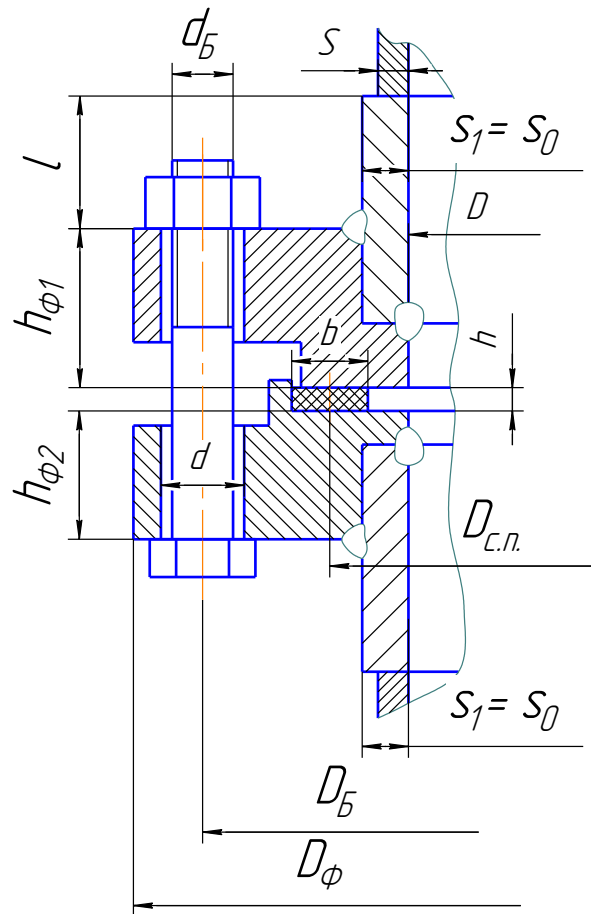


Рисунок 3.2 – Схема фланцевого з'єднання

Схема дії навантажень на фланець у робочих умовах представлена рисунку 3.3.

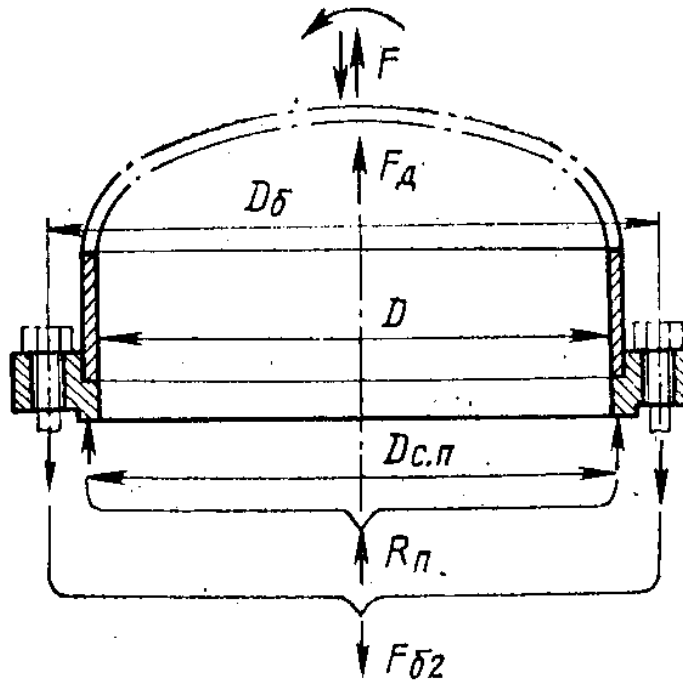


Рисунок 3.3 – Схема дії навантажень на фланець у робочих умовах
 F – зовнішня осьова сила, що розтягує (+) або стискає (-);
 M – зовнішній згинальний момент;
 F_d – рівнодіюча внутрішнього тиску;
 R_n – реакція прокладки.

Конструктивний коефіцієнт для фланця:

$$K_\phi = D_\phi / D \quad (3.26)$$

$$K_\phi = 720/600 = 1,2$$

Конструктивні коефіцієнти для фланців:

$$\lambda_{\phi 1} = h_{\phi 1} / \sqrt{DS_0} \quad (3.27)$$

$$\lambda_{\phi 1} = 0,03 / \sqrt{0,6 \cdot 0,008} = 0,434$$

$$\lambda_{\phi 2} = h_{\phi 2} / \sqrt{DS_0} \quad (3.28)$$

$$\lambda_{\phi 2} = 0,025 / \sqrt{0,6 \cdot 0,008} = 0,362$$

Поправочний коефіцієнт [11, с.265]:

$$\Psi_{1\phi} = 1,28 \cdot l g K_\phi \quad (3.29)$$

$$\Psi_{1\phi} = 1,28 \cdot l g 1,2 = 0,101$$

Поправочний коефіцієнт:

$$\Psi_{2\phi} = (K_\phi + 1) / (K_\phi - 1) \quad (3.30)$$

$$\Psi_{2\phi} = (1,2 + 1) / (1,2 - 1) = 11$$

Поправочний коефіцієнт для перерізу S_0 для приварних плоских фланців [11]:

$$\Psi_{3\phi} = 1,0$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

6.133.22.03.00.00.00 ПЗ

Арк.

52

Геометричні параметри фланців [11, с. 265]:

$$j_{\phi 1} = h_{\phi 1} / S_0 \quad (3.31)$$

$$j_{\phi 1} = 0,03 / 0,008 = 3,75$$

$$j_{\phi 2} = h_{\phi 2} / S_0 \quad (3.32)$$

$$j_{\phi 2} = 0,025 / 0,008 = 3,13$$

Безрозмірний параметр фланців [11, с. 269]:

$$T_{\phi} = \frac{K_{\phi}^2 (1 + 8,55/gK_{\phi}) - 1}{(1,05 + 1,945K_{\phi}^2)(K_{\phi} - 1)} \quad (3.33)$$

$$T_{\phi} = \frac{1,20^2 (1 + 8,55/g1,20) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot 1,20^2)(1,20 - 1)} = 1,8371$$

Безрозмірні параметри [11, с. 266]:

$$\omega_{\phi 1} = [1 + 0,9\lambda_{\phi 1}(1 + \psi_{1\phi} j_{\phi 1}^2)]^{-1} \quad (3.34)$$

$$\omega_{\phi 1} = [1 + 0,9 \cdot 0,434(1 + 0,101 \cdot 3,75^2)]^{-1} = 0,514$$

$$\omega_{\phi 2} = [1 + 0,9\lambda_{\phi 2}(1 + \psi_{2\phi} j_{\phi 2}^2)]^{-1} \quad (3.35)$$

$$\omega_{\phi 2} = [1 + 0,9 \cdot 0,362(1 + 11 \cdot 3,13^2)]^{-1} = 0,0274$$

Кутова податливість фланців [11, с. 269]

$$y_{\phi 1} = \frac{[1 - \omega_{\phi 1}(1 + 0,9\lambda_{\phi 1})] \cdot \psi_{2\phi}}{h_{\phi 1}^3 \cdot E_{\phi 1}^t} \quad (3.36)$$

$$y_{\phi 1} = \frac{[1 - 0,514(1 + 0,9 \cdot 0,434)] \cdot 11}{0,03^3 \cdot 2,0 \cdot 10^5} = 0,581 \frac{1}{\text{МН} \cdot \text{м}}$$

$$y_{\phi 2} = \frac{[1 - \omega_{\phi 2}(1 + 0,9\lambda_{\phi 2})] \cdot \psi_{2\phi}}{h_{\phi 2}^3 \cdot E_{\phi 2}^t} \quad (3.37)$$

$$y_{\phi 2} = \frac{[1 - 0,0274(1 + 0,9 \cdot 0,362)] \cdot 11}{0,025^3 \cdot 2,0 \cdot 10^5} = 3,39 \frac{1}{\text{МН} \cdot \text{м}}$$

Розрахункова довжина болтів [11, с. 270]

$$L_B = h_{\phi 1} + h_{\phi 2} + h + 0,28d_B \quad (3.38)$$

$$L_B = 0,03 + 0,025 + 0,002 + 0,28 \cdot 0,02 = 0,0606 \text{ м.}$$

Лінійна податливість прокладання [11, с. 270]:

$$y_n = \frac{2h}{\pi D_{c.n.} b E_n} \quad (3.39)$$

$$y_n = \frac{2 \cdot 0,002}{3,14 \cdot 0,62 \cdot 0,020 \cdot 2000} = 5,14 \cdot 10^{-5} \frac{\text{М}}{\text{МН}}$$

Площа поперечного перерізу болта (шпильки) [11, с. 268]:

$$f_B = 0,785d_0^2 \quad (3.40)$$

$$f_B = 0,7850 \cdot 0,0173^2 = 2,351 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

Лінійна податливість болтів [11, с. 270]:

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$y_B = \frac{L_B}{E_B f_B z_B} \quad (3.41)$$

$$y_B = \frac{0,0606}{1,96 \cdot 10^5 \cdot 2,351 \cdot 10^{-4} \cdot 20} = 6,57 \cdot 10^{-5} \frac{\text{М}}{\text{МН}}$$

Параметр жорсткості фланцевого з'єднання [11]:

$$A_\phi = [y_\Pi + y_B + 0,25(y_{\phi 1} + y_{\phi 2})(D_B - D_{c.п.})^2]^{-1} \quad (3.42)$$

$$A_\phi = [5,14 \cdot 10^{-5} + 6,57 \cdot 10^{-5} + 0,25(0,581 + 3,39)(0,68 - 0,62)^2]^{-1} = 272$$

Параметр жорсткості фланців:

$$B_{\phi 1} = y_{\phi 1}(D_B - D - S_o) \quad (3.43)$$

$$B_{\phi 1} = 0,581(0,68 - 0,6 - 0,008) = 4,18 \cdot 10^{-2} \quad 1/\text{МН}$$

$$B_{\phi 2} = y_{\phi 2}(D_B - D - S_o) \quad (3.44)$$

$$B_{\phi 2} = 3,39(0,68 - 0,6 - 0,008) = 24,4 \cdot 10^{-2} \quad 1/\text{МН}$$

Безрозмірний коефіцієнт фланцевого з'єднання [11, с. 270]:

$$\gamma = A_\phi y_B \quad (3.45)$$

$$\gamma = 272 \cdot 6,57 \cdot 10^{-5} = 0,0178$$

Коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання [11, с. 270]:

$$\alpha_\phi = A_\phi [y_B + 0,25(B_{\phi 1} + B_{\phi 2})(D_B - D_{c.п.})] \quad (3.46)$$

$$\alpha_\phi = 272 [6,57 \cdot 10^{-5} + 0,25(4,18 \cdot 10^{-2} + 24,4 \cdot 10^{-2})(0,68 - 0,62)] = 1,166$$

Рівночинна внутрішнього тиску [11, с. 270]:

$$Q_d = 0,785 D_{c.п.}^2 p \quad (3.47)$$

$$Q_d = 0,785 \cdot 0,62^2 \cdot 0,208 = 0,063 \text{ МН}$$

Реакція прокладок у робочих умовах [11, с. 271]:

$$R_\Pi = 2\pi D_{c.п.} b_E m p \quad (3.48)$$

$$R_\Pi = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,62 \cdot 0,0085 \cdot 2,5 \cdot 0,208 = 0,0172 \text{ МН}$$

Зусилля, що виникають від температурних деформацій фланцевого з'єднання [11, с. 271]:

$$Q_{t\phi} = \gamma \cdot z_B \cdot f_B \cdot E_B (\alpha_{\phi}^t t_\phi - \alpha_B^t t_B) \quad (3.49)$$

$$Q_{t\phi} = 0,0178 \cdot 36 \cdot 2,351 \cdot 10^{-4} \cdot 1,96 \cdot 10^5 (16,6 \cdot 10^{-6} \cdot 68 - 11,6 \cdot 10^{-6} \cdot 64) = 0,0064 \text{ МН,}$$

де:

$$\alpha_{\phi}^t = (\alpha_{\phi 1}^t + \alpha_{\phi 2}^t) / 2 = (16,6 \cdot 10^{-6} + 16,6 \cdot 10^{-6}) / 2 = 16,6 \cdot 10^{-6}.$$

Монтажне болтове зусилля фланцевого з'єднання за різних умов [11, с.271]

$$P_{B1}' = \pi \cdot D_{c.п.} \cdot b_E \cdot q \quad (3.50)$$

$$P_{B1}' = 3,14 \cdot 0,62 \cdot 0,0085 \cdot 20 = 0,331 \text{ МН}$$

$$P_{B1}'' = \alpha_\phi (Q_d \pm P) + R_\Pi + 4M / D_{c.п.} \quad (3.51)$$

$$P_{B1}'' = 1,166(0,063 \pm 0) + 0,0172 + 4 \cdot 0 / 0,62 = 0,0906 \text{ МН}$$

$$P_{B1}''' = 0,4[\sigma_B]^{20} z_B f_B \quad (3.52)$$

$$P_{B1}''' = 0,4 \cdot 130 \cdot 20 \cdot 2,351 \cdot 10^{-4} = 0,245 \text{ МН}$$

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Розрахункове болтове навантаження (при $p < 0,6$ МПа)

$$P_{B1} = \max\{P_{B1}'; P_{B1}''; P_{B1}'''\} \quad (3.53)$$

$$P_{B1} = \max\{0,331 \text{ МН}; 0,0906 \text{ МН}; 0,245 \text{ МН}\} = 0,331 \text{ МН}$$

Умови міцності прокладки [11, с. 271]:

$$P_{B1}/(\pi \cdot D_{с.п} \cdot b) \leq [q], \quad (3.54)$$

$$0,331/(3,14 \cdot 0,62 \cdot 0,020) = 8,501 \text{ МПа} < [q] = 130 \text{ МПа} - \text{умову міцності}$$

прокладки виконано.

Болтове навантаження у робочих умовах [11]:

$$P_{B2} = P_{B1} + (1 - \alpha_{\phi})(Q_{д} \pm P) + Q_{т\phi} + 4M/D_{с.п} \quad (3.55)$$

$$P_{B2} = 0,331 + (1 - 1,166)(0,063 \pm 0) + 0,0064 + 4 \cdot 0/0,92 = 0,327 \text{ МН}$$

Розрахункове болтове навантаження [11, с. 271]

$$P_{B\phi} = \max\{P_{B1}; P_{B2}\} \quad (3.56)$$

$$P_{B\phi} = \max\{0,331 \text{ МН}; 0,328 \text{ МН}\} = 0,331 \text{ МН}$$

Напруження розтягування болтів (шпильок) у робочих умовах та умовах монтажу відповідно [11, с. 271]:

$$\sigma_B^t = \frac{P_{B2}}{z_B \cdot f_B} \quad (3.57)$$

$$\sigma_B^t = \frac{0,327}{20 \cdot 2,351 \cdot 10^{-4}} = 69,54 \text{ МПа}$$

$$\sigma_B^{20} = \frac{P_{B1}}{z_B \cdot f_B} \quad (3.58)$$

$$\sigma_B^{20} = \frac{0,331}{20 \cdot 2,351 \cdot 10^{-4}} = 70,39 \text{ МПа}$$

Скручуючий момент при затягуванні гайок [11, с. 272] :

$$M_{скр} = f_1 \frac{P_{B\phi}}{z_B} d_B \quad (3.59)$$

$$M_{скр} = 0,1 \cdot \frac{0,331}{20} \cdot 0,02 = 3,31 \cdot 10^{-5} \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Відносна напруга в болтах (шпильках) [11, с. 272]:

$$\tau_B = \frac{M_{скр}}{0,2d_0^3} \quad (3.60)$$

$$\tau_B = \frac{3,31 \cdot 10^{-5}}{0,2 \cdot 0,0173^3} = 31,96 \text{ МПа}$$

Еквівалентна напруга в болтах (шпильках) [11, с. 272]:

$$\sigma_{BE}^{20} = \sqrt{(\sigma_B^{20})^2 + 3\tau^2} \quad (3.61)$$

$$\sigma_{BE}^{20} = \sqrt{70,39^2 + 3 \cdot 31,96^2} = 89,54 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{BE}^t = \sqrt{(\sigma_B^t)^2 + 3\tau^2} \quad (3.62)$$

$$\sigma_{BE}^t = \sqrt{69,54^2 + 3 \cdot 31,96^2} = 88,88 \text{ МПа};$$

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

Умова міцності болтів (шпильок) [11, с. 272]:

$$\sigma_{BE}^{20} \leq [\sigma_B]^{20} ; \quad (3.63)$$

89,51 МПа < 130 МПа – умова виконана

$$\sigma_{BE}^t \leq [\sigma_B]^t ; \quad (3.64)$$

88,88 МПа < 124 МПа – умова виконана

Наведений згинальний момент у діаметральному перерізі фланця в умовах монтажу [11, с. 272]:

$$M_{01\phi} = 0,5P_{B1}(D_B - D_{c.n.}) \quad (3.65)$$

$$M_{01\phi} = 0,5 \cdot 0,331(0,68 - 0,62) = 0,0099 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Наведений згинальний момент у діаметральному перерізі фланця в робочих умовах [11, с. 272]:

$$M_{02\phi} = 0,5[P_{B2}(D_B - D_{c.n.}) + Q_d(D_{c.n.} - D - S_0)] \cdot [\sigma_\phi]^{20} / [\sigma_\phi]^t \quad (3.66)$$

$$M_{02\phi} = 0,5[0,327(0,68 - 0,62) + 0,063(0,62 - 0,6 - 0,008)] \cdot 160/152 = 0,0107 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Розрахунковий наведений момент у діаметральному перерізі фланця [11, с. 272]:

$$M_{0\phi} = \max \{0,0099 \text{ МН} \cdot \text{м}; 0,0107 \text{ МН} \cdot \text{м}\} = 0,0107 \text{ МН} \cdot \text{м} \quad (3.67)$$

Допоміжна величина [11, с. 272]:

$$\varepsilon = 20S_0 \quad (3.68)$$

$$\varepsilon = 20 \cdot 0,008 = 0,16$$

Розрахунковий діаметр при $D > \varepsilon$

$$D^* = D = 0,6 \text{ м} \quad (3.69)$$

Максимальна напруга в перерізі S_0 фланців від дії згинального моменту $M_{0\phi}$ [11, с. 272]:

$$\sigma_{0\phi 1} = \psi_3 \frac{T_\phi M_{0\phi} \omega_{\phi 1}}{D^* (S_0 - c)^2} \quad (3.70)$$

$$\sigma_{0\phi 1} = 1,0 \cdot \frac{1,8372 \cdot 0,0107 \cdot 0,514}{0,6(0,008 - 0,00108)^2} = 351,6 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{0\phi 2} = \psi_3 \frac{T_\phi M_{0\phi} \omega_{\phi 2}}{D^* (S_0 - c)^2} \quad (3.71)$$

$$\sigma_{0\phi 2} = 1,0 \cdot \frac{1,8372 \cdot 0,0107 \cdot 0,0274}{0,6(0,008 - 0,00108)^2} = 18,78 \text{ МПа}$$

Максимальна кільцева напруга в дисках фланців від дії згинального моменту $M_{0\phi}$ [11, с. 272]:

$$\sigma_{к\phi 1} = \frac{M_{0\phi} [1 - \omega_{\phi 1} (1 + 0,9\lambda_{\phi 1})] \psi_{2\phi}}{D \cdot h_{\phi 1}^2} \quad (3.72)$$

$$\sigma_{к\phi 1} = \frac{0,0107 [1 - 0,514(1 + 0,9 \cdot 0,434)] \cdot 1}{0,6 \cdot 0,03^2} = 62,16 \text{ МПа}$$

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

$$\sigma_{\kappa\phi 2} = \frac{M_{0\phi} [1 - \omega_{\phi 2} (1 + 0,9\lambda_{\phi 2})] \psi_{2\phi}}{D \cdot h_{\phi 2}^2} \quad (3.73)$$

$$\sigma_{\kappa\phi 2} = \frac{0,0107 [1 - 0,0274 (1 + 0,9 \cdot 0,362)] 11}{0,6 \cdot 0,025^2} = 102,5 \text{ МПа}$$

Кільцева меридіональна напруга у втулці фланців від дії внутрішнього тиску [11, с. 272]:

$$\sigma_{x\phi 1} = \sigma_{x\phi 2} = \frac{pD}{2(S_0 - c)} \quad (3.74)$$

$$\sigma_{x\phi 1} = \sigma_{x\phi 2} = \frac{0,208 \cdot 0,6}{2(0,008 - 0,00108)} = 9,01 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{y\phi 1} = \sigma_{y\phi 2} = \frac{pD}{4(S_0 - c)} \quad (3.75)$$

$$\sigma_{y\phi 1} = \sigma_{y\phi 2} = \frac{0,208 \cdot 0,6}{4(0,008 - 0,00108)} = 4,508 \text{ МПа};$$

Еквівалентна напруга при перегині S_0 [11, с. 272]:

$$\sigma_{E\phi 1} = \sqrt{(\sigma_{0\phi 1} + \sigma_{y\phi 1})^2 + \sigma_{x\phi 1}^2 - (\sigma_{0\phi 1} + \sigma_{y\phi 1})\sigma_{x\phi 1}} \quad (3.76)$$

$$\sigma_{E\phi 1} = \sqrt{(102,5 + 4,508)^2 + 9,01^2 - (102,5 + 4,508)9,01} = 103,8 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{E\phi 2} = \sqrt{(\sigma_{0\phi 2} + \sigma_{y\phi 2})^2 + \sigma_{x\phi 2}^2 - (\sigma_{0\phi 2} + \sigma_{y\phi 2})\sigma_{x\phi 2}} \quad (3.77)$$

$$\sigma_{E\phi 2} = \sqrt{(18,78 + 4,508)^2 + 9,01^2 - (18,78 + 4,508)9,01} = 20,33 \text{ МПа}$$

Умови міцності [11, с. 272]:

$$\sigma_{E\phi 1} \leq [\sigma_{\phi 1}^{S_0}] \varphi ; \quad (3.78)$$

$$\sigma_{E\phi 2} \leq [\sigma_{\phi 1}^{S_0}] \varphi ; \quad (3.79)$$

103,8 МПа < (600 · 0,65 = 390 МПа) – умова міцності виконана;

20,33 МПа < (600 · 0,65 = 390 МПа) – умова міцності виконана.

Умови герметичності фланцевого з'єднання:

$$\frac{\sigma_{\kappa\phi 1} D}{E_{\phi 1} h_{\phi 1}} \leq [\theta]; \quad (3.80)$$

$$\frac{\sigma_{\kappa\phi 2} D}{E_{\phi 2} h_{\phi 2}} \leq [\theta], \quad (3.81)$$

де:

$[\theta] = 0,013$ рад - Допустимий кут повороту фланця [11].

$$\frac{\sigma_{\kappa\phi 1} D}{E_{\phi 1} h_{\phi 1}} = \frac{62,16 \cdot 0,6}{2,0 \cdot 10^5 \cdot 0,03} = 0,00621 \text{ рад}$$

$\theta = 0,00621$ рад < $[\theta] = 0,013$ рад – умова герметичності виконана.

$$\frac{\sigma_{\kappa\phi 2} D}{E_{\phi 2} h_{\phi 2}} = \frac{102,5 \cdot 0,6}{2,0 \cdot 10^5 \cdot 0,025} = 0,0103 \text{ рад}$$

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

$\theta = 0,0103 \text{ рад} < [\theta] = 0,013 \text{ рад}$ – умова герметичності виконана.

3.7 Розрахунок опори

Вибір типу опори залежить від низки умов: місця встановлення апарату, співвідношення висоти та діаметра апарату, його маси тощо.

$H/D \geq 5$ обрано опору, зображену на кресленні колони. По ОСТ 26-467-78 вибираємо циліндричну опору виконання 1 та проводимо перевірочні розрахунки.

Згідно [7] маса однієї тарілки при $D = 600 \text{ мм}$:

$$m_T = 36,3 \text{ кг},$$

отже, при числі тарілок $n = 20$ загальна маса тарілок:

$$m_1 = m_T \cdot n \quad (3.82)$$

$$m_1 = 36,3 \cdot 20 = 726 \text{ кг}.$$

Маса обичайки колони:

$$m_2 = \pi \cdot (D + s) \cdot s \cdot H \cdot \rho \quad (3.83)$$

$$m_2 = 3,14 \cdot (0,6 + 0,005) \cdot 0,005 \cdot 9,15 \cdot 7850 = 682 \text{ кг}.$$

Маса оснащення колони приймається у розмірі 20% від маси обичайки:

$$m_3 = 0,2 \cdot m_2 \quad (3.84)$$

$$m_3 = 0,2 \cdot 682 = 136,4 \text{ кг}.$$

Об'єм колони $V=2,7 \text{ м}^3$, тоді маса води при гідравлічних випробуваннях:

$$m_4 = V \cdot \rho_B \quad (3.85)$$

$$m_4 = 2,7 \cdot 1000 = 2700 \text{ кг}.$$

Маса двох днищ із табл.. 16.1 [7] ГОСТ 6533-88:

$$m_5 = 21 \cdot 2 = 42 \text{ кг}.$$

Маса 10 фланців із табл.. 21.12 [7]:

$$m_6 = 20,8 \cdot 10 = 208 \text{ кг}.$$

Наведене навантаження на опору:

$$Q = (m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5 + m_6) \cdot g \quad (3.86)$$

$$Q = (726 + 682 + 136,4 + 2700 + 42 + 208) \cdot 9,81 = 44,09 \cdot 10^3 \text{ Н} = 44,09 \text{ кН}.$$

Міцність зварного з'єднання опори з корпусом визначаємо за умовою

$$\sigma = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D \cdot a_1} \leq \varphi_s \cdot [\sigma], \quad (3.87)$$

де:

$a_1 = 6 \text{ мм}$ – розрахункова товщина зварного шва;

φ_s – коефіцієнт міцності зварного шва, зазвичай, приймається

$$\varphi_s = 0,7.$$

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тоді

$$\sigma = \frac{4 \cdot 44,09 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 600 \cdot 6} = 15,6 \text{ МПа} \leq 0,7 \cdot 120 = 84 \text{ МПа}$$

Отже, умова міцності зварного шва виконується.

По Q із ОСТ 26-467-78 вибираємо стандартну конструкцію – «Опора І-600-25-12,5-1500».

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

4 Монтаж і ремонт апарату

4.1 Монтаж колони [12]

У процесі ремонту технологічного обладнання може виникнути потреба у заміні колонних апаратів. Основні причини такої заміни – повне зношування апарата або зміна продуктивності установки.

Найбільш простий монтаж колони, що складається з окремих елементів – цар. Існують два способи монтажу: нарощуванням та підрощуванням (рис. 4.1, а і б). Вибір способу залежить, в основному, від наявного підйомно-транспортного обладнання.

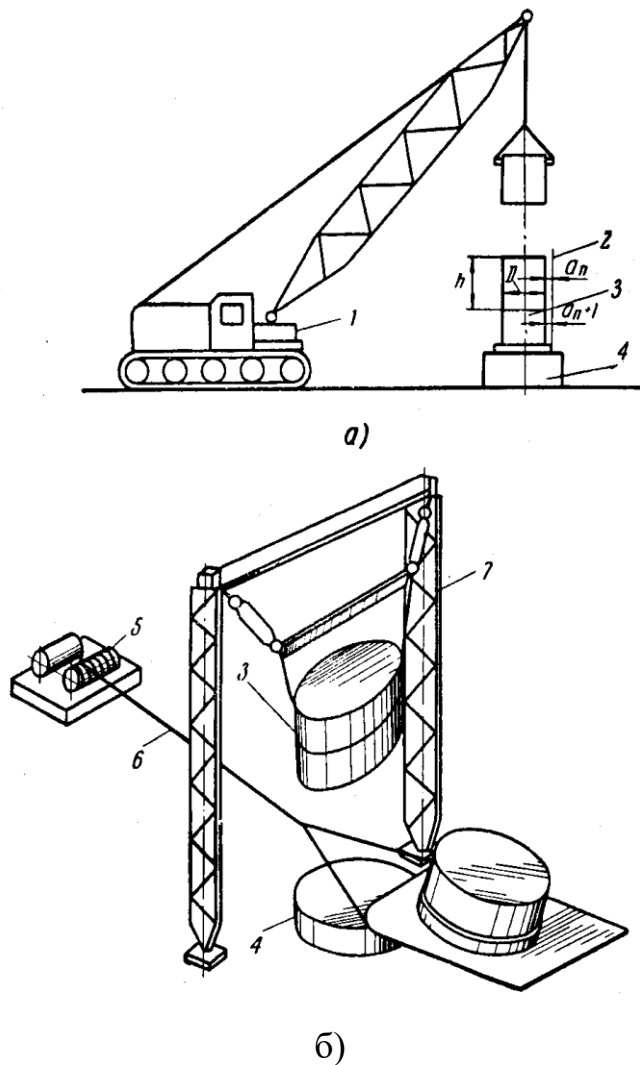


Рисунок 4.1 – Методи монтажу та вивіряння розбірних колон:
а – наращуванням, б – підрощуванням;
1 – гусеничний кран, 2 – виска, 3 – царги колони, 4 – фундамент, 5 – лебідка, 6 – трос, 7 – монтажний портал.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

6.133.22.03.00.00.00 ПЗ

Арк.

60

Якщо є кран, висота підйому якого більше загальної висоти колонного апарату, а вантажопідйомність перевищує вагу однієї царги, доцільно застосовувати спосіб нарощування (рис. 4.1 а). Перед встановленням кожної царги необхідно приварити кронштейни для риштування з огорожами. З цих риштування виробляються стикування і з'єднання царг.

Спосіб підрощування (рис. 4.1, б) зручний при встановленні царгового колонного апарату всередині існуючої етажерки, що має монтажну балку. Окремі царги в цьому випадку затягують на фундамент за допомогою трактора або монтажних лебідок і поворотних блоків і підстиковують до раніше змонтованих царг.

Монтувати способом підрощування можна і поза етажеркою. Для цього дві монтажні щогли з'єднують нагорі балкою так, щоб вони утворили портал. Подальші роботи ведуться так само, як і при монтажі всередині етажерки.

Основні способи монтажу цільнозварних колонних апаратів: поворот навколо шарніра та підйом за верх. Найскладнішою і трудомісткою операцією в обох випадках є встановлення монтажних щогл.

Монтажні щогли встановлюють у робоче положення за допомогою кранів або допоміжних щог та утримують у цьому положенні за допомогою розтяжок (вантів), прикріплених до якорів. Довжина стріли автомобільного або гусеничного крана повинна бути достатня, щоб зробити підйом щогли в робоче положення при стропуванні її трохи вище за центр тяжіння (на 1-1,5 м). Якщо стріла крана недостатньо довга, але є запас вантажопідйомності, то можна піти на тимчасове обтяження підшви щогли, щоб перемістити центр тяжіння ближче до підшви. Загальна вага щогли з довантаженням не повинна перевищити вантажопідйомність крана. Додаткові вантажі необхідно надійно прикріпити до підшви щогли.

Встановлювати щогли за допомогою допоміжних щог в умовах чинного виробництва дуже важко і цей спосіб мало придатний.

При підйомі колонних апаратів поворотом навколо шарніра щогла, оснащена поліспастром, встановлюється такій відстані від проектної осі апарату, щоб прикріплені до її верху блоки поліспаств не зішлись при вертикальному положенні колони мінімум на 1,5-2 м. Конструкція поворотного шарніра показана на Рис. 4.2 а.

Для встановлення шарніра необхідно в фундаменті передбачити додаткові анкерні болти або заставні частини. При підйомі потрібно використовувати не менше двох лебідок, одна з яких служить для підйому колони, а друга підтримує колону при переході її центру тяжкості через вісь шарніра (рис. 4.2,б).

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

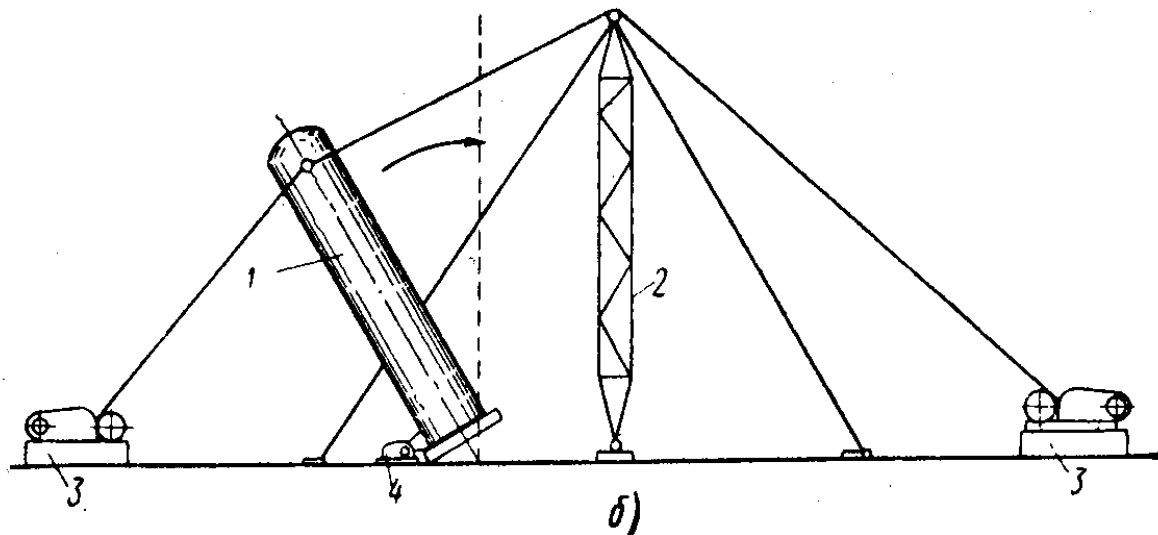
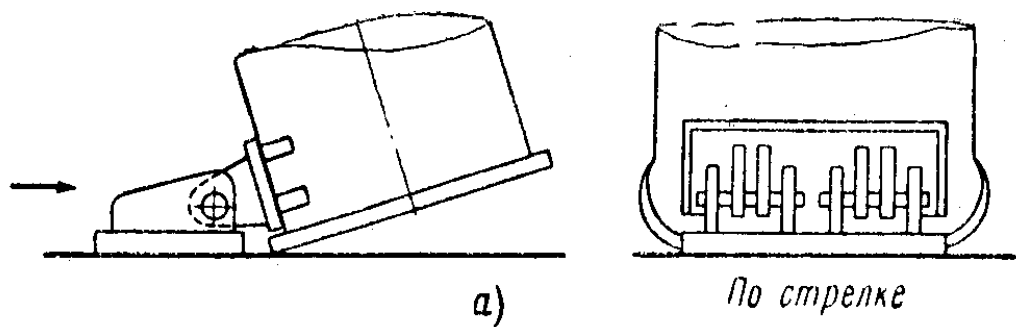


Рисунок 4.2 – Монтаж колони:

а – конструкція поворотного шарніра; б – схема монтажу;
 1 – колона, 2 – щогла, 3 – лебідка, 4 – поворотний шарнір

При установці апарату на фундамент способом повороту не слід заливати анкерні болти колони до її установки, їх вільно вставляють у колодязі і заводять у лапи апарату в міру наближення лап до анкерних болтів на 10-15 см. Якщо апарат не мав приварених лап, то анкерні болти можна залити заздалегідь, а лапи приварити за місцем після установки апарату.

Підйом колонного апарату за верх здійснюється за допомогою монтажного порталу (рис. 4.3). Нижній кінець апарату укладається на сани і надійно кріпиться до них тросом, але так, щоб апарат міг повертатися навколо точки кріплення в процесі підйому. Верхня частина укладається на фундамент так, щоб його вісь була перпендикулярна площині установки порталу.

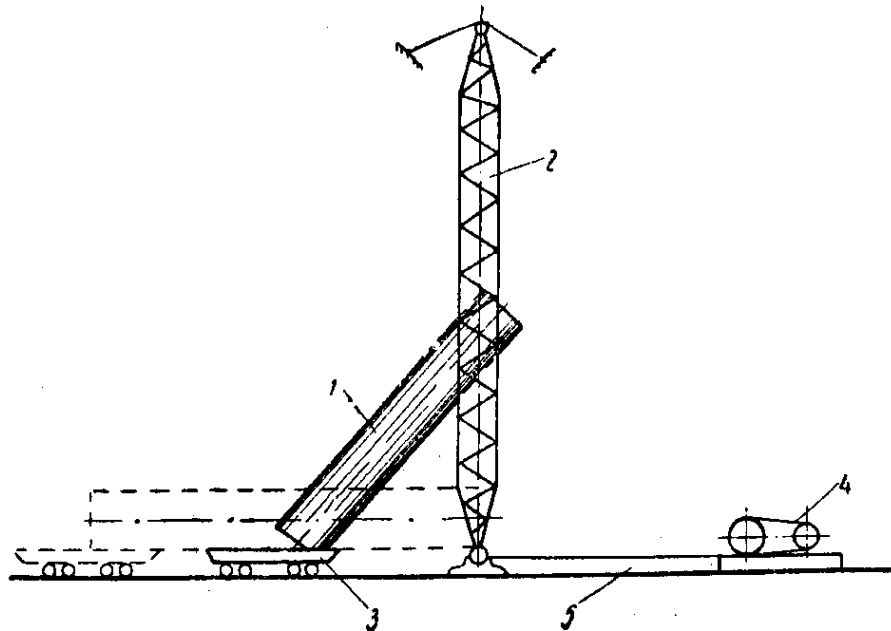


Рисунок 4.3 – Підйом колони за допомогою порталу:
1 – колона, 2 – портал, 3 – візок, 4 – лебідка, 5 – трос

Підйом відбувається у такій послідовності. До саней кріпиться трос, другий кінець якого подається на лебідку, трактор чи поліспаст безпосередньо або через відповідний блок. Апарат крокують за верхню частину та починають піднімати за допомогою порталу. Піднявши верхню частину апарата на 3-4м, підтягують сани у бік порталу, поки поліспасти не займуть вертикального положення. Подібним чином поступово піднімають апарат і підтягують сани доти, доки вони не наблизяться до фундаменту. Тоді сани відв'язують від апарата і піднімають його на 15-20 см над фундаментом, розгортаючи так, щоб опорні лапи припали над анкерними болтами, а потім опускають на фундамент, стежачи за тим, щоб болти потрапили в отвори лап.

У даній роботі монтаж колони виконується згідно з схеми, яка зображена на рисунку 4.2.

4.2 Проведення ремонтних робіт [13]

Насамперед необхідно провести ретельний зовнішній огляд колони і виявити деталі (оглядові скла, дрібні штуцери, бобишки), які потребують заміни, підварювання, перебивки сальникових ущільнень і т. п. Усувати такі несправності слід у міру їх виявлення. Необхідно також розібрати та зняти ділянки трубопроводів, які можуть завадити проведенню такелажних робіт (спуск та підйом тарілок). Вільні кінці трубопроводів, щоб уникнути засмічення, слід заглушити і міцно закріпити.

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

Найбільш складною та відповідальною операцією при ремонті тарілчастих колонних апаратів є складання та точна установка відремонтованих та нових барботажних тарілок. Для правильної їх установки мають бути виконані такі умови:

- верхні зрізи склянок повинні лежати в одній площині (допущені відхилення ± 1 мм);
- відстань від нижнього зрізу ковпачка до верхнього зрізу склянки має бути однаково по всьому периметру ковпачка та всіх ковпачків тарілки;
- верхній зріз переливної труби повинен бути нижчим за зріз ковпачка на проектну величину (h) з допуском ± 1 мм.

Щоб перевірити висоту склянок, тарілку встановлюють горизонтально на спеціальному стенді і заливають водою. За допомогою регульовальних гвинтів добиваються, щоб зрізи діаметрально протилежних склянок розташовувалися на одній відстані від рівня води. Потім перевіряють відстань від рівня дзеркала води до верхніх зрізів решти склянок. Різниця не повинна перевищувати ± 1 мм. Високі склянки підрізають торцевою фрезою, низькі - наварюють із подальшою обробкою торця.

Для вивіряння тарілки при встановленні в колону на її борт наносять за допомогою керна позначки рівня води в чотирьох місцях через 90° .

Після вивіряння склянок приступають до встановлення ковпачків, приймаючи за основу верхні зрізи склянок. При встановленні ковпачків на тарілки невеликого діаметру (менше 1 м) за базу можна прийняти дно тарілки, проте в цьому випадку установка буде менш точною. Для установки ковпачків слід користуватися шаблонами, за шаблоном встановлюють або сам ковпачок, або нижні гайки кріплення ковпачка. Підготовлена таким чином тарілка встановлюється на стенд для випробування на барботаж.

Стенд є однією з секцій колони. Випробовують тарілки повітрям, причому повітря має виходити з-під усіх ковпачків тарілки рівномірно, дрібними пухирцями. Перед випробуванням тарілки необхідно перевірити горизонтальність установки на стенді.

Зібрану та випробувану тарілку піднімають та встановлюють у колону. При цьому необхідно домогтися, щоб тарілка була строго горизонтально. (Допускається відхилення тарілки від горизонталі на 1 мм.) Правильність встановлення тарілки перевіряється за контрольними відмітками, нанесеними на борти тарілки під час вивірки склянок. Для цього тарілка заливається водою, рівень якої при правильній установці повинен перебувати на рівній відстані від усіх чотирьох позначок (рис. 4.4).

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

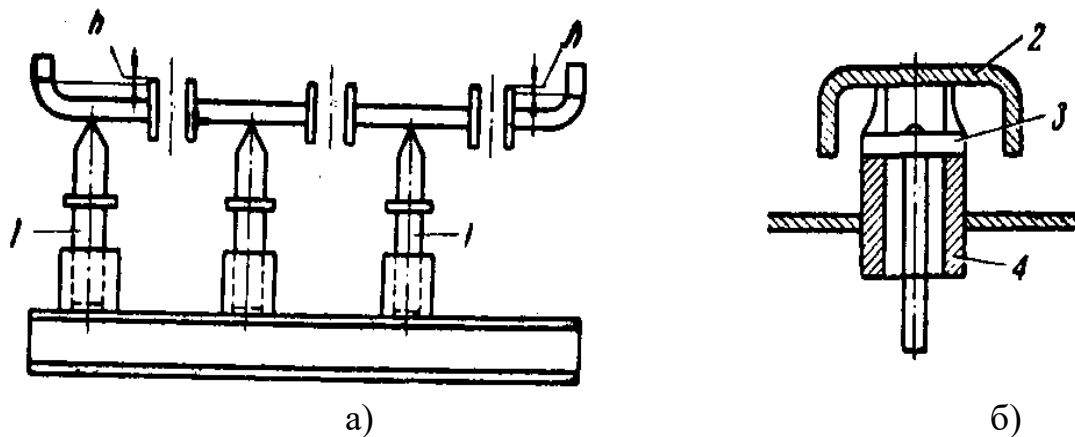


Рисунок 4.4 - Вивіряння тарілок та ковпачків:

а – стенд для вивіряння тарілок; б) вивіряння круглих ковпачків;
 1 – регулювальний гвинт стенду, 2 – ковпачок, 3 – шаблон, 4 – склянка

Оскільки колона, що ремонтується, складається з окремого царгу, то спочатку збирають і вивіряють тарілки кожної царги. Укомплектовані царги збирають у колону з допомогою кранів, монтажних лебідок чи інших підйомно-транспортних механізмів. При монтажі має бути забезпечена строга вертикальність установки як окремих царг, і всієї колони загалом. Вивірка проводиться по схилам у двох взаємно-перпендикулярних площинах.

Відхилення для окремих царг $\Delta a = a_n - a_{n+1}$ и $\Delta b = b_n - b_{n+1}$ не повинні бути більше відхилення, що допускається $\Delta_{\text{доп.}}$, яке можна визначити з виразу:

$$\Delta_{\text{доп.}} \leq h_n/D \text{ мм}, \quad (4.1)$$

а відхилення по всій висоті колони $\Delta a_{\text{общ.}}$ і $\Delta b_{\text{общ.}}$ не повинні перевищувати допустиме відхилення $\Delta_{\text{доп. общ.}}$, визначається за формулою:

$$\Delta_{\text{доп. общ.}} \leq \epsilon h_n/2D \text{ мм}, \quad (4.2)$$

Незначне регулювання вертикальності осі колони, що складається з окремих царг на прокладках, можна проводити підтяжкою болтів на випнутому боці в межах пружності прокладок.

5 Охорона праці

Завдання охорони праці - звести до мінімальної ймовірності поразки чи захворювання працюючого, з одночасним забезпеченням комфорту за максимальної продуктивності праці. Продуктивність праці підвищується рахунок збереження здоров'я та працездатності людини, продовження її активної праці, зменшення кількості аварій тощо. Поліпшення умов праці та її безпеки призводить до зниження виробничого травматизму та професійних захворювань, що зберігає здоров'я трудящих.

5.1 Аналіз потенційних небезпек під час роботи [11]

Під час роботи обладнання цеху виробництва порошу робочий персонал наражається на потенційні небезпеки наведені нижче згідно з ГОСТ 12.0.003-74 «Небезпечні та шкідливі виробничі фактори. Класифікація»:

- підвищена загазованість та запилення повітря робочої зони в момент розгерметизації обладнання;
- відхилення параметрів мікроклімату у робочій зоні (температури, відносної вологості, швидкості руху повітря);
- наявність поверхонь із підвищеною температурою;
- підвищений рівень шуму на робочих місцях;
- підвищений рівень вібрації на робочих місцях;
- відсутність або недостатній рівень штучного висвітлення робочої зони;
- розміщення робочого місця на значному рівні щодо землі (підлоги) зони;

5.2 Розрахунок запобіжного пристрою у разі різкого підвищення тиску

Якщо запобіжний клапан не може надійно працювати, то в судинах встановлюють спеціальні запобіжні мембрани, що розриваються при тиску, що на 25% перевищує робоче. Запобіжні мембрани прості за конструкцією і мають високу швидкодію. Мембрани виготовляють із різних матеріалів залежно від специфіки виробництва. Характеристика промислових мембран представлена у табл. 5.1.

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

Запобіжні мембрани виготовляються на спеціалізованих підприємствах. В окремих випадках мембрани виготовляються на підприємствах для потреб, але при безумовному дотриманні всіх встановлених правил. Кожна партія прокату, що надійшов на підприємство для виготовлення запобіжних мембран, має свій порядковий номер і проходить вхідний контроль із внесенням даних до спеціальної картки. При вхідному контролі матеріал піддають зовнішньому огляду, вимірюють дійсну товщину металу та експериментально визначають величини pD_0 і pD (pD_0 — добуток розривного тиску p на робочий діаметр випробуваної заготовки; під робочим діаметром розуміють внутрішній діаметр затискних кілець, у яких проводиться випробування). Експериментальне визначення величин pD_0 полягає в тому, що заготовку, вирізану з даної партії металу, затискають між кільцями з внутрішнім діаметром D_0 і навантажують тиском рідини або газу до руйнування, при цьому тиск фіксують. Величину pD_0 визначають не менше ніж п'ять разів і в картку заносять середню величину

Таблиця 5.1 Характеристика промислових мембран

Матеріал мембран	Максимальний робочий діаметр, мм	Максимальна Робоча температура, °C	pD^* , МПа · мм
Алюміній	400	100	10 – 40
	500	100	120 – 160
Нікель	140	480	44 – 400
	Нержавіюча	300	300
Титан		140	300
	170	300	270 – 320
	300	300	687
Монель – метал	140	450	135 – 400
	200	450	420
Латунь	140	150	24 – 60
	225	150	65 – 230
Бронза	65	150	30,5 – 79
	150	150	128 – 760
Мідь	140	160	22 – 48
	250	160	55 - 500

Для визначення рекомендується застосовувати кільця із внутрішнім діаметром $D_0 = 100$ мм; допускаються кільця діаметром $D_0 < 100$ мм (но не менше 20 мм), якщо ширина випробуваного прокату менше 120 мм або діаметр кільця менше 100 мм, або якщо випробовується металева стрічка товщиною більше 0,5 мм. Величину pD_0 визначають за $20 \pm 5^\circ\text{C}$. Величина $h/D_0 \in$

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

відношенням висоти купола мембрани h (мм) перед її руйнуванням до робочого діаметра мембрани. Ставлення h/D_0 характеризує пластичність матеріалу. Для визначення величини h заготівлю затискають у кільцях із внутрішнім діаметром D_0 і випробовують під тиском p , що становить 90% середнього розривного тиску. Величину h/D_0 також визначають за $20 \pm 5^\circ\text{C}$.

При виборі матеріалу для запобіжних мембран множать середнє значення розривного тиску p_{cp} на потрібний робочий діаметр (внутрішній діаметр затискних кілець) і знаходять величину $p_{cp}D$. Потім по картотеці вибирають потрібний матеріал з найближчою величиною pD_0 . Вибраний матеріал піддають статичним випробуванням. Для цього вирубуються 20 заготовок, виготовляють кільця із внутрішнім діаметром $D_1 = pD/D_0$ та проводять випробування всіх 20 заготовок. Заготовки поміщають між кільцями 1 і 2 з внутрішнім діаметром D і навантажують тиском повітря чи рідини до розриву. Заготівлі затискають між двома плитами 3 та 4 гідравлічного преса. Стиснене повітря підводять через свердління однієї з плит. Таким чином, визначається 20 значень розривного тиску. Потім уточнюють середні значення тиску спрацьовування мембран, знаходять середні квадратичні відхилення величини тиску спрацьовування та визначають верхню та нижню межі гарантованого діапазону спрацьовування мембран при їхній робочій температурі. Діапазон можливих змін не повинен виходити за задані межі $p_{\text{макс}}$ і $p_{\text{мін}}$.

Розривні запобіжні мембрани можуть бути плоскими і попередньо витріщеними, з плоским конічним або лінзовим затискачем. Кожна мембрана повинна мати маркування, яке наносять фарбою на опуклу поверхню або спеціальну бирку, прикріплену до мембрани. При маркуванні вказують номер партії мембран, робочий діаметр, максимальний надлишковий руйнуючий тиск, робочу температуру та матеріал.

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

Висновки

В даній бакалаврській роботі з виробництва піроксилінового пороху були приведені теоретичні основи процесу розділення водно спиртової суміші, описана конструкція ректифікаційної колони та зроблений підбір матеріалу для виготовлення всіх елементів колони. Приведений опис технологічної схеми виробництва за участі ректифікації, опис самого апарату (колони).

Проведені необхідні технологічні розрахунки за якими було вибрано стандартну ректифікаційну колону.

Зроблені необхідні розрахунки для підтвердження надійності апарата.

Зроблений опис монтажних та ремонтних робіт апарата. Виконаний опис хорони праці де перераховані небезпеки під час роботи обладнання та зроблений розрахунок заземлення.

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

Література

1. Плановский А. К, Рамм В. М., Каган С. З. "Процессы и аппараты химической технологии". М.: Химия, 1972, - 848 с.
2. Павлов К. Ф., Романков П. Г, Носков А. А "Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии". Л.: Химия, 1987,- 576 с.
3. Соколов В. Н. "Машины и аппараты химических производств. Примеры и задачи". Л.: Машиностроение, 1982, - 384 с.
4. Дытнерский Ю. И. "Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие по проектированию".- М.: Химия, 1983. - 272 с.
5. "Справочная книга для проектирования электрического освещения". Под ред. Кнорринга Г.М. Л.: "Энергия", 1976, - 384 с.
6. Михалев М. Ф., Третьяков Н.П. "Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. Примеры и задачи". Л.: Машиностроение, 1984, - 301 с.
7. Лащинский А.А., Толщинский А.Р. "Основы конструирования и расчёта химической аппаратуры. Справочник. ". Л.: Машиностроение, 1970, – 752 с.
8. Плановский А.Н., Николаев П.И. "Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии". М.: Химия, 1972, - 496 с.
9. Голубятников В.А., Шувалов В.В. "Автоматизация производственных процессов в химической промышленности". Москва: Химия, 1985, - 252с.
10. Кошарский Б.Д. "Автоматические приборы, регуляторы и вычислительные системы. Справочное пособие". Л: Машиностроение, 1976, - 488с.
11. Макаров Г.В., Стрельчук Н.А. "Охрана труда в химической промышленности". М.: Химия, 1977, - 568с.
12. Фарамазов С.А. "Ремонт и монтаж оборудования химических и нефтеперерабатывающих заводов. 2-е изд.". М.: Химия, 1980. – 312 с.
13. Ермаков В.И., Шеин В.С. "Ремонт и монтаж химического оборудования." Л.: Химия, 1981. – 368 с.

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70