

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри

підпис, дата

Кваліфікаційна робота бакалавра

зі спеціальності 133 "Галузеве машинобудування"
освітня програма "Комп'ютерний інжиніринг
обладнання хімічних виробництв"

Тема роботи: Ректифікаційна установка у виробництві оцтової
кислоти. Розробити тарілчасту ректифікаційну колону

Виконав:
студент групи ХМдн-74р
Лук'янець Антон Григорович

підпис

Залікова книжка

№ _____

Кваліфікаційна робота бакалавра
захищена на засіданні ЕК

з оцінкою _____

" ____ " _____ 20 ____ р.

Підпис голови
(заступника голови) комісії

Керівник:

канд. техн. наук, ст. викладач

Острога Руслан Олексійович

підпис, дата

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Кафедра хімічної інженерії

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

Курс 4 Група ХМдн-74р Семестр 8

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Студенту Лук'янцю Антону Григоровичу

1 Тема роботи: Ректифікаційна установка у виробництві оцтової кислоти.
Розробити тарілчасту ректифікаційну колону

2 Вихідні дані: Розробити тарілчасту ректифікаційну колону з ковпачковими тарілками для розділення бінарної суміші. Продуктивність установки 14000 т/рік. Вміст легколеткого компоненту: у початковій суміші – 9,1 % мас.; у дистилляті – 73 % мас.; у кубовому залишку – 1,1 % мас. Тиск у колоні атмосферний.

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

- | | |
|--|------------|
| 1. <u>Технологічна схема ректифікаційної установки</u> | – 0,5 арк. |
| 2. <u>Складальне креслення ректифікаційної колони</u> | – 1,0 арк. |
| 3. <u>Складальне креслення ковпачкової тарілки</u> | – 1,0 арк. |
| 4. <u>Складальне креслення опори</u> | – 0,5 арк. |

4 Рекомендована література: 1. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра / укладачі: Р. О. Острога, М. С. Скиданенко, Я. Е. Михайловський, А. В. Іванія. – Суми : СумДУ, 2019. – 32 с.

5 Етапи виконання кваліфікаційної роботи:

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

6 Дата видачі завдання

жовтень 2020 р.

Керівник

підпис

ст. викл. Острога Р.О.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 59 с., 8 рис., 3 додатки, 18 джерел.

Графічні матеріали: технологічна схема ректифікаційної установки, складальне креслення ректифікаційної колони, складальне креслення ковпачкової тарілки, складальне креслення опори – усього 4 аркуші графічної частини (3×A1).

Тема кваліфікаційної роботи «Ректифікаційна установка у виробництві оцтової кислоти. Розробити тарілчасту ректифікаційну колону».

У роботі наведено теоретичні основи та особливості процесу ректифікації для розділення бінарних сумішей на окремі компоненти, виконані технологічні розрахунки процесу, визначені габаритні розміри апарата, його гідравлічний опір, обґрунтований вибір матеріалу для виготовлення апарата, розраховане і вибране допоміжне обладнання. Розрахунками на міцність і герметичність показана надійність роботи проектного апарата. Окремим розділом представлено організацію монтажних і ремонтних робіт колонного обладнання. У розділі «Охорона праці» розглянуто будову грозозахисту будівель і споруд, а також наведено їх методику розрахунку.

Ключові слова: УСТАНОВКА, РЕКТИФІКАЦІЯ, ОЦТОВА КИСЛОТА, КОЛОНА, ТАРІЛКА, КОВПАЧОК, ГРОЗОЗАХИСТ, РОЗРАХУНОК.

Зміст

	С.
Вступ	5
1 Технологічна частина	6
1.1 Опис технологічної схеми ректифікаційної установки	6
1.2 Теоретичні основи процесу ректифікації	7
1.3 Опис об'єкта розроблення та вибір основних конструкційних матеріалів	13
2 Технологічні розрахунки процесу і апарата	16
2.1 Технологічні розрахунки	16
2.2 Конструктивні розрахунки	21
2.3 Гідравлічні розрахунки	27
2.4 Вибір допоміжного обладнання	34
3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність	39
3.1 Розрахунок товщини стінки корпусу апарата	39
3.2 Розрахунок товщини стінки еліптичного днища	41
3.3 Розрахунок опори апарата	42
4 Монтаж та ремонт апарата	45
4.1 Монтаж апарата	45
4.2 Ремонт апарата	47
5 Охорона праці	51
Список використаних джерел	58
Додаток А – Рівноважна і робоча лінії на діаграмі х – у для бінарної суміші	
Додаток Б – Крива рівноваги для бінарної суміші	
Додаток В – Специфікації до графічної частини проекту	

					XI.P.00.00.00 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Лук'янець				Тарілчаста ректифікаційна колона Пояснювальна записка	Лім.	Лист	Листів
Перевір.	Острога						4	59
Реценз.						СумДУ, ХМдн-74р		
Н. Контр.								
Затверд.	Склабінський							

Вступ

Оцтова кислота являє собою органічну сполуку. За звичайних умов це безбарвна рідина з різким запахом. Отримувати її можна із продуктів сухої перегонки деревини (хімічний спосіб) та у результаті оцтового збродження спиртовмісних рідин (мікробіологічний спосіб). У хімічній промисловості з оцтової кислоти виробляють пластичні маси, лікарські речовини, штучне волокно, ацетатний шовк і багато іншого [1].

У багатьох промисловостях часто виникає потреба розділяти однорідні рідкі суміші на індивідуально чисті компоненти. Хімічний і фізичний поділ двокомпонентних сумішей можна здійснити за допомогою масообмінних процесів. Одним із перших масообмінних процесів якому піддаються розділювачі суміші – це ректифікація. Апарат, у якому безпосередньо відбувається процес розділення, називається ректифікаційною колоною [2].

Сучасні ректифікаційні колони повинні мати високу розділюючу здатність та продуктивність, характеризуватися достатньою надійністю і гнучкістю в роботі, забезпечувати низькі експлуатаційні витрати, мати невелику масу та бути конструктивно простими і технологічними у виготовленні. Останні вимоги не менш важливі, ніж перші, оскільки вони не тільки визначають капітальні витрати, а й, значною мірою, впливають на експлуатаційні витрати, забезпечують легкість і зручність виготовлення апаратів, їх монтаж і демонтаж, ремонт, контроль, випробовування, а також безпечну експлуатацію [2].

Прагнення промисловості створити високоефективні та максимально прості апарати зумовило різноманіття конструктивних виконань ректифікаційних колон. У даному проекті представлено розрахунок тарілчастої ректифікаційної колони, яка входить до складу установки безперервної дії для отримання оцтової кислоти. Кваліфікаційна робота являє собою комплексний навчально-дослідний та практичний проект, який виконано у відповідності до методичних вказівок [3] із представленням усіх регламентованих розділів.

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
						5
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

1 Технологічна частина

1.1 Опис технологічної схеми ректифікаційної установки

Технологічну схему ректифікаційної установки безперервної дії для отримання оцтової кислоти представлено на рис. 1.1.

Принцип роботи даної установки полягає у наступному. Спочатку вихідна бінарна суміш потрапляє до проміжної ємності, звідки відцентровими насосами, які працюють незалежно один від одного, подається в підігрівач, де підігрівається до температури кипіння. Далі, уже підігріта суміш, потрапляє в ректифікаційну колону. Процес ректифікації застосовується для поділу рідин, що відрізняються температурами кипіння, за рахунок противоточного багаторазового контактування пари і рідин. Для створення тісного контакту між парою і рідиною ректифікаційна колона забезпечена спеціальними пристроями – ковпачковими тарілками.

Кубовий залишок колони потрапляє на розподілювач, де відбувається його розділення на два незалежні потоки. Перша частина охолоджується і відводиться у товарний парк. Друга частина потрапляє в кип'ятильник, де відбувається її вскипання за рахунок тепла насиченої водяної пари. У свою чергу, конденсат гріючої пари відводиться в каналізацію. Витрата гріючої пари регулюється вентилем, а тиск визначається за манометром.

Зі зміцнюючої частини колони пара, яка збагачена низькокиплячим компонентом, потрапляє в дефлегматор, де конденсується за рахунок холодного теплоносія. Витрата води вимірюється ротаметром, а температура її на вході і виході – термометрами. Рідина, що утворилась в дефлегматорі після повної конденсації пари, ділиться на дві частини. Перша частина конденсату у вигляді флегми подається на зрошення колони, а друга частина конденсату відбирається у вигляді готового продукту розділення – дистилляту, який потрапляє до збірника дистилляту. Кількість флегми і дистилляту вимірюються спеціальними приборами – ротаметрами.

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
						6
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

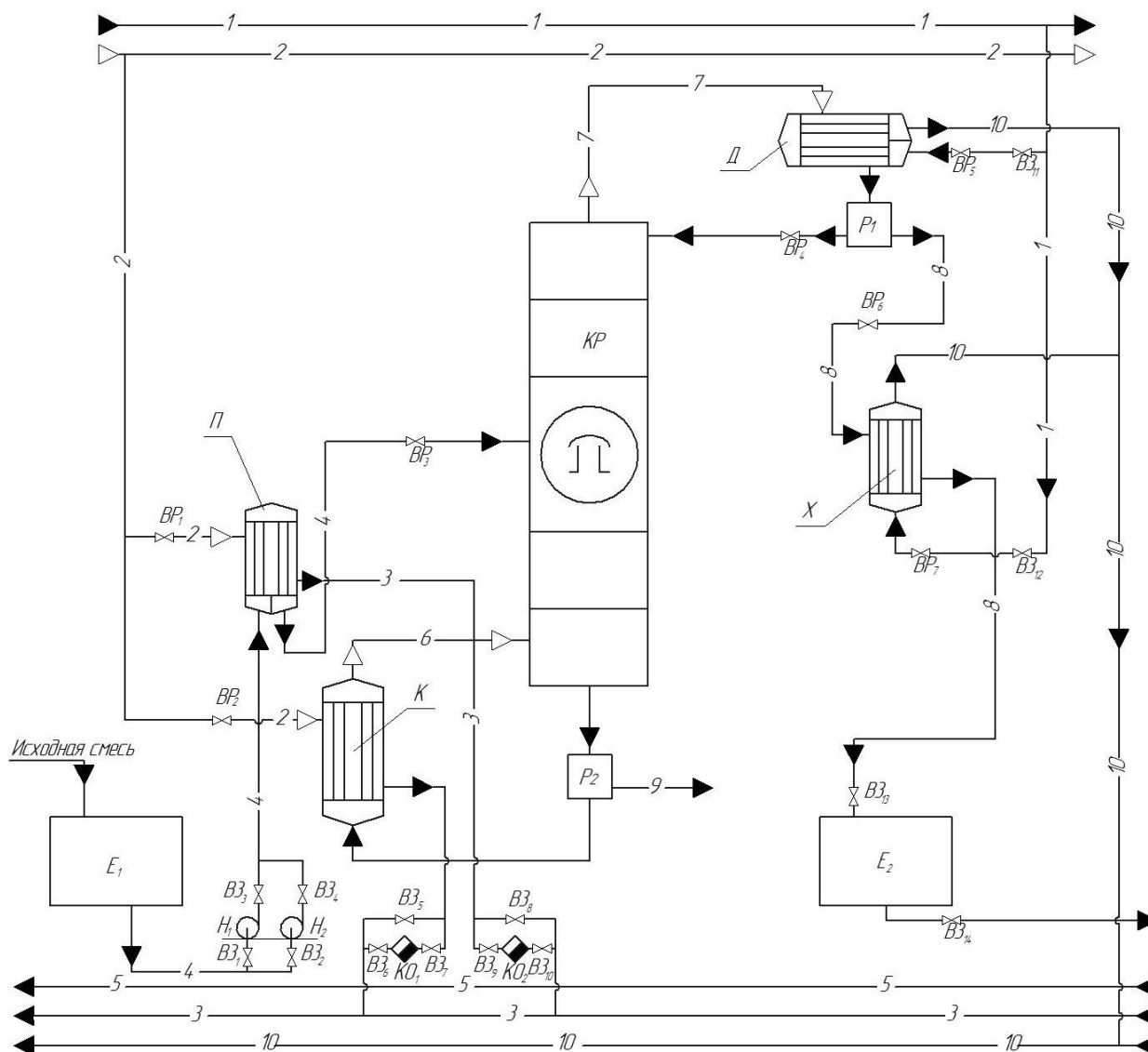


Рисунок 1.1 – Технологічна схема ректифікаційної установки
для отримання оцтової кислоти

1.2 Теоретичні основи процесу ректифікації

Теоретичні основи процесу ректифікації, які наведено у цьому підрозділі, виконано на підставі аналізу літературних джерел [4–7].

Процес ректифікації здійснюється на ректифікаційній установці, основним апаратом якої звичайно ж є ректифікаційна колона, в якій пари переганяючої рідини піднімаються знизу, а назустріч парам стікає рідина, що подається у вигляді флегми у верхню частину апарата.

Процес ректифікації може відбуватись при атмосферному тиску, а також при тисках вище і нижче атмосферного.

Згідно плівкової моделі, кількість речовини q , яка перейшла через одиницю поверхні в одиницю часу, пропорційна різниці концентрацій в ядрі і на кордоні фази, якщо перенесення походить від ядра до поверхні розділення фаз:

$$q = \frac{D}{\delta_{E\Phi}} \cdot (c_0 - c_{GP}), \quad (1.1)$$

де c_0 і c_{GP} – відповідно середня концентрація в ядрі фази і концентрація на межі поділу фаз;

$\delta_{E\Phi}$ – «ефективна» або «приведена» товщина прикордонної плівки.

Для фази по іншу сторону поверхні розділу величина q пропорційна різниці концентрацій на кордоні і в ядрі фази.

У рівнянні (1.1) $D/\delta_{E\Phi}$ – коефіцієнт, що характеризує швидкість масовіддачі, а величина $\delta_{E\Phi}$ за своїм змістом – товщина деякого прикордонного шару, опір якого молекулярній дифузії еквівалентно опору перенесення, зумовленого в дійсності конвективною дифузією.

У плівковій моделі значно спрощено справжні гідродинамічні умови поблизу кордону розділення фаз, де відбувається загасання турбулентності. З цієї причини більшість дослідних даних не підтверджують залежності $q \sim D$, як випливає із рівняння (1.1), якщо вважати, що величина $\delta_{E\Phi}$ не залежить від D . Крім того, ефективні товщини плівок практично не піддаються розрахунку або вимірюванню.

Більш точно враховуються умови біля кордону розділення в модифікованій плівковій моделі, званою моделлю дифузійного прикордонного шару.

Концентрація речовини постійна в ядрі потоку фази ($c_0 = const$) повільно знижується в турбулентному прикордонному шарі, де спочатку речовина переноситься переважно турбулентними пульсаціями. Із наближенням до кордону фази і зменшенням масштабу пульсацій на ділянці товщини шару, у

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
						8
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

так званому в'язкому підшарі, концентрація знижується помітно швидше. Тут під дією сил тертя рух наближається до ламінарного і зростає частка речовини, що передається молекулярною дифузією.

Однак, на більшій частині товщини δ_0 в'язкого підшару турбулентною дифузією переноситься більша кількість речовини, ніж молекулярною. Лише в самій глибині вузького підшару, всередині тонкого дифузійного підшару товщиною δ , що безпосередньо примикає до кордону розділення фаз, молекулярний перенос стає переважаючим.

Дифузійний підшар, як показано на рис. 1.2, є областю найбільш різкої і близької до лінійної зміни концентрацій. Його товщина δ пов'язана із товщиною δ_0 в'язкого підшару залежністю

$$\delta = \left(\frac{D}{\nu} \right)^{1/m} \cdot \delta_0, \quad (1.2)$$

де ν – кінематична в'язкість;

m – константа, яка визначається дослідним шляхом.

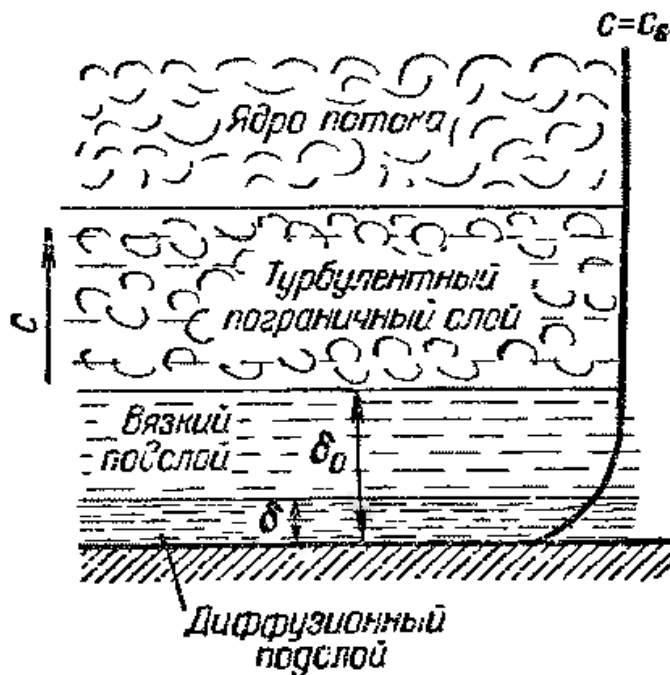


Рисунок 1.2 – Структура потоку і профіль концентрацій у фазі

Таким чином, загасання турбулентності відбувається поступово і безперервно, і лише біля найтвердішої стінки швидкість пульсації стає рівною нулю, що відповідає $\varepsilon_D=0$. У системах газ (пара) – рідина, що характеризуються рухомою поверхнею розділення, сили поверхневого натягу діють подібно силам тертя у твердій поверхні. Однак, до сих пір достовірно не встановлено справжній закон загасання турбулентних пульсацій із наближенням до кордону фази, і величину m не можна визначити теоретично.

Таким чином, на даний час не існує теоретичних моделей масопередачі, які ґрунтуються на точних, надійно перевірених досвідом гідродинамічних закономірностях. Основною причиною цього слід вважати складність і недостатню вивченість турбулентного руху.

Зважаючи на складність механізму процесів масовіддачі у фазах, для практичних цілей приймають, що швидкість масовіддачі пропорційна рушійній силі, яка дорівнює різниці концентрацій в ядрі і на кордоні фази або (у разі зворотного напрямку перенесення) – різниці концентрацій на кордоні і в ядрі фази.

Відповідно, якщо розподілювана речовина переходить із фази Φ_Y в фазу Φ_X , то основне рівняння масовіддачі, яке визначає кількість M речовини, що переноситься в одиницю часу в кожній із фаз (до кордону фази або у зворотному напрямку), виражається у такий спосіб:

фаза Φ_Y

$$M = \beta_y \cdot F \cdot (\bar{y} - \bar{y}_{ГР}) \quad (1.3)$$

фаза Φ_X

$$M = \beta_x \cdot F \cdot (\bar{x}_{ГР} - \bar{x}) \quad (1.4)$$

Різниці концентрацій $\bar{y} - \bar{y}_{ГР}$ і $\bar{x}_{ГР} - \bar{x}$, які входять у ці рівняння являють собою рушійну силу процесу масовіддачі відповідно у фазах Φ_Y и Φ_X , причому \bar{y} і \bar{x} – середні концентрації в основній масі (ядрі) кожної із фаз, $\bar{y}_{ГР}$ і $\bar{x}_{ГР}$ – концентрації біля кордону відповідної фази.

Коефіцієнти пропорційності β_x і β_y називають коефіцієнтами масовіддачі.

Коефіцієнти масовіддачі β_x (у фазі Φ_x) і β_y (у фазі Φ_y) показують, яка кількість речовини переходить від поверхні розділення фаз в ядро фази (або у зворотному напрямку) через одиницю поверхні в одиницю часу при рушійній силі, яка дорівнює одиниці.

Коефіцієнт масовіддачі залежить від фізичних властивостей фази (щільності, в'язкості та ін.) і гідродинамічних умов у ній (ламінарний або турбулентний режим течії), пов'язаних, у свою чергу, із фізичними властивостями фази, а також із геометричними факторами, обумовленими конструкцією і розмірами масообмінного апарату. Таким чином, величина β є функцією багатьох змінних, що значно ускладнює розрахунок або дослідне визначення коефіцієнтів масовіддачі. Величинами останніх враховується як молекулярне, так і конвективне перенесення речовини у фазі.

Коефіцієнт масовіддачі може бути виражений в різних одиницях, залежно від вибору одиниць для кількості розподілюваної речовини і рушійної сили.

Відповідно до закону Дальтона загальний тиск парів над розчином дорівнює сумі парціальних тисків парів індивідуальних компонентів, отже:

$$P = p_A + p_B, \quad (1.5)$$

у той же час згідно слідству закону Дальтона:

$$p_A = P \cdot y_A, \quad p_B = P \cdot y_B, \quad (1.6)$$

де y_A , y_B – концентрація компонентів А і В в паровій фазі, мольні доли;

P – загальний тиск парів над розчином.

Вирішуючи рівняння щодо y_A отримуємо

$$y_A = \frac{p_A}{P} = \frac{p_A}{P} \cdot x_A. \quad (1.7)$$

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
						11
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Подібним чином можна визначити концентрацію інших індивідуальних компонентів в паровій фазі, знаючи пружність парів компонентів і загальний тиск парів над розчином при даній температурі.

Стосовно до двокомпонентних (бінарних) розчину отримаємо

$$P = P_A \cdot x_A + P_B \cdot (1 - x_A). \quad (1.8)$$

Вирішивши це рівняння щодо x_A , знайшли

$$x_A = \frac{P - P_B}{P_A - P_B}. \quad (1.9)$$

Таким чином, рівняння (1.8) і (1.9) визначають величину рівноважних концентрацій компонентів в паровій і рідкій фазах для бінарного розчину при певних температурах і тиску в системі.

1.3 Опис об'єкта розроблення та вибір основних конструкційних матеріалів

У нашому випадку об'єктом дослідження є ректифікаційна колона з ковпачковими тарілками (рис. 1.3). Апарат конструктивно складається із циліндричних царг, які з'єднані між собою за допомогою фланцевих з'єднань. За допомогою фланців і зварювання прикріплені еліптична кришка і еліптичне днище відповідно.

Усередині апарату у якості контактних пристроїв встановлені ковпачкові тарілки (див. рис. 1.3, б). За допомогою тарілок секціонується простір усередині колони та створюється спрямований рух газової та рідинної фаз. Принцип дії ковпачкових тарілок полягає в тому, що бульбашки пари, які виходять через прорізи ковпачка, зливаються у струмені. Утворені струмені володіють більшою кінетичною енергією і завдяки цьому проходять шар рідини, яка знаходиться на тарілці. Над рідиною утворюється шар динамічної піни, яка і є основною областю масо- і теплообміну між паром і рідиною.

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		12

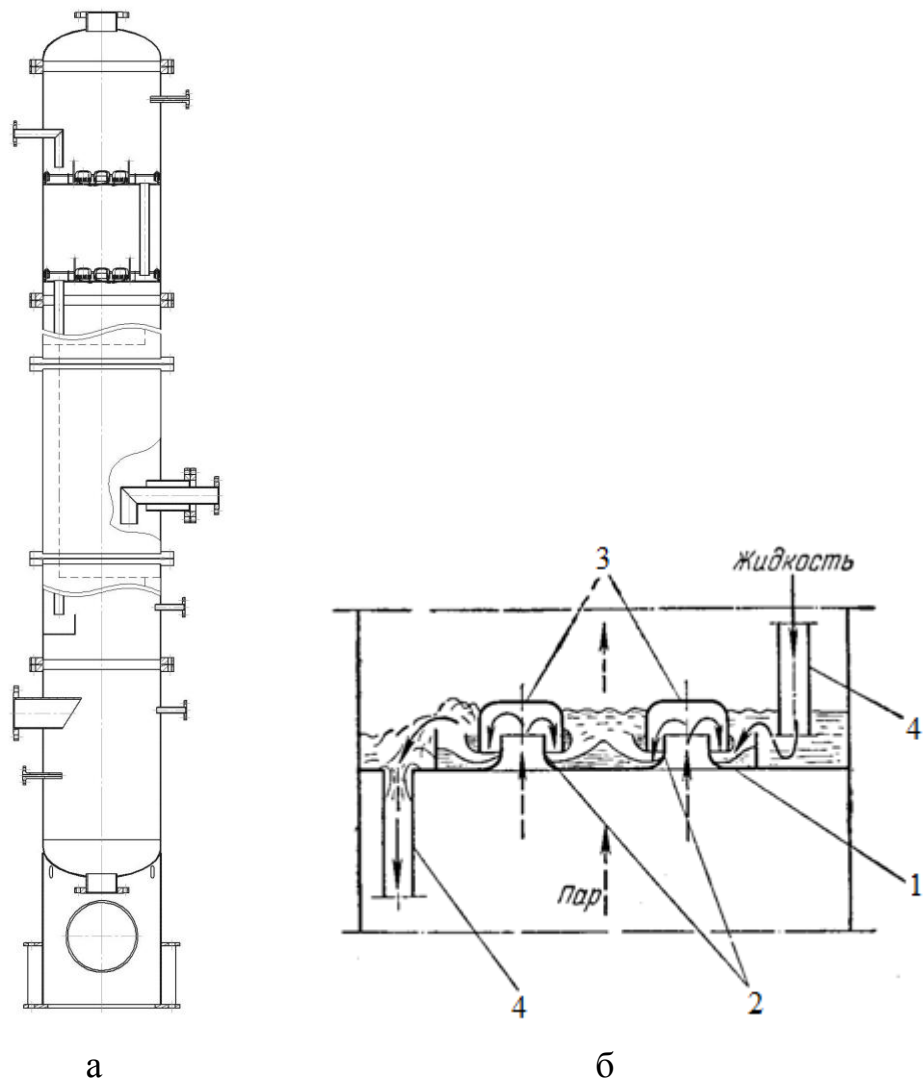


Рисунок 1.3 – Схема тарілчастої ректифікаційної колони та принцип роботи ковпачкової тарілки: 1 – полотно; 2 – парові патрубки; 3 – ковпачок; 4 – злив

Принцип роботи колони полягає у наступному. Пара, що утворилася у випарнику, повертається під нижню тарілку колони, тим самим забезпечуючи її паровим зрошенням. Унизу колони температура майже дорівнює температурі кипіння висококиплячого компонента.

Попередньо нагріта до кипіння вихідна суміш подається на тарілку живлення колони, яка ділить колону на дві частини: нижню (вичерпну) і верхню (зміцнюючу). Вихідна суміш із живильної тарілки стікає на нижче розташовані, взаємодіючи на своєму шляху з паром, що рухається від низу до верху по колоні. У результаті такої взаємодії пара збагачується легколетким

компонентом (яким є вода), а стікаюча вниз рідина, навпаки, збіднюється цим компонентом, а збагачується труднолетким (оцтова кислота). У нижній частині колони йде процес вичерпання легколеткого компоненту із вихідної суміші.

Для збереження високої чистоти розділюваних компонентів, необхідно здійснювати рідинне зрошення верхньої частини колони. Утворений дистилат ділиться на два потоки: один у вигляді продукту спрямовується на подальше охолодження і на склад готової продукції, а інший повертається назад у колону в якості флегми. На верхній тарілці колони температура майже дорівнює температурі кипіння низькокиплячого компонента.

Таким чином, проектована ректифікаційна колона являє собою тепло-масообмінний апарат, в якому по висоті (знизу вгору) на тарілках знижується температура кипіння рідини від максимальної (внизу відгінної частини) до мінімальної (на верхній тарілці зміцнюючої частини колони). Унизу колони температура практично дорівнює температурі кипіння висококиплячого компонента при відповідному тиску в колоні, на верхній тарілці колони температура практично дорівнює температурі кипіння низькокиплячого компонента.

У хімічній промисловості умови роботи апаратів характеризуються широким діапазоном температур – приблизно від -250 до $+2500^{\circ}\text{C}$ при тисках від $0,015$ Па до 600 МПа при агресивному впливі середовищ [8].

Основними вимогами, яким повинні відповідати хімічні апарати, є механічна надійність, довговічність, конструктивну досконалість, простота виготовлення, зручність транспортування, монтажу та експлуатації [8–10].

Здійснимо підбір конструкційного матеріалу для виготовлення основних деталей і вузлів ректифікаційної колони. Підбір здійснюємо, враховуючи значення температури та тиску, а також агресивність робочого середовища.

Для деталей колони, які контактують із рідиною вибираємо матеріал – нержавіючу та корозійно стійку сталь 12X18H10T; матеріал опори – сталь ВСтЗсп; для усіх інших елементів – сталь Ст 3.

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		14

У якості прокладкового матеріалу (для ущільнення з'єднань) використовуємо пароніт ПОН-1 – це листовий матеріал, виготовлений пресуванням азбокаучукової маси, що складається із азбесту, каучуку і порошкових інгредієнтів.

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		15

2 Технологічні розрахунки процесу і апарата

2.1 Технологічні розрахунки

Матеріальний баланс ректифікаційної колони складається з потоків [4]:

$$G_f = G_D + G_W; \quad (2.1)$$

за легколетким компонентом:

$$G_f \cdot \bar{x}_f = G_D \cdot \bar{x}_D + G_W \cdot \bar{x}_W; \quad (2.2)$$

Спільне розв'язання рівнянь (2.5) і (2.6) дозволяє отримати залежність для визначення масових витрат дистилляту і кубового залишку:

$$G_D = G_f \cdot \frac{\bar{x}_f - \bar{x}_W}{\bar{x}_D - \bar{x}_W}; \quad (2.3)$$

$$G_D = 1600 \cdot \frac{0,091 - 0,011}{0,730 - 0,011} = 178 \text{ кг/год.}$$

$$G_W = G_f \cdot \frac{\bar{x}_D - \bar{x}_f}{\bar{x}_D - \bar{x}_W}; \quad (2.4)$$

$$G_W = 1600 \cdot \frac{0,730 - 0,091}{0,730 - 0,011} = 1422 \text{ кг/год.}$$

Криву рівноваги для суміші вода – оцтова кислота будемо в координатах у-х за довідковими даними при рівноважних складах рідини і пари у залежності від температури (див. Додаток Б).

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		16

Далі визначаємо мінімальне флегмове число за рівнянням [6]:

$$R_{\min} = \frac{x_D - y_f^*}{y_f^* - x_f}; \quad (2.5)$$

де y_f^* – склад пари, яка перебуває в рівновазі з вихідної сумішшю;
 $y_f^* = 0,45$ – визначається з кривої рівноваги.

$$R_{\min} = \frac{0,9 - 0,45}{0,45 - 0,25} = 2,25.$$

Визначаємо оптимальне флегмове число [4]:

$$R = 1,3 \cdot R_{\min} + 0,35; \quad (2.6)$$

$$R = 1,3 \cdot 2,25 + 0,35 = 3,275.$$

Значення оптимального флегмового числа вирішальним чином впливає на розміри ректифікаційної колони і дозволяє розрахувати масові витрати стікаючої по колоні флегми і піднімаючихся парів [2]:

$$G_R = R \cdot G_D; \quad (2.7)$$

$$G_R = 3,275 \cdot 178 = 583 \text{ кг/год.}$$

$$G_V = (R + 1) \cdot G_D; \quad (2.8)$$

$$G_V = (3,275 + 1) \cdot 178 = 761 \text{ кг/год.}$$

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		17

Робочі лінії процесу визначаються рівняннями [2]:

– для верхньої частини колони:

$$y = \frac{R}{R+1} \cdot x + \frac{x_D}{R+1}; \quad (2.9)$$

– для нижньої частини колони:

$$y = \frac{F+R}{R+1} \cdot x - \frac{F-1}{R+1} \cdot x_W, \quad (2.10)$$

де F – число живлення, що визначається за формулою:

$$F = \frac{G_F}{G_D} \cdot \frac{M_D}{M_F}; \quad (2.11)$$

$$F = \frac{1600}{178} \cdot \frac{22,22}{49,54} = 4.$$

Ордината точки А (див. Додаток А), де перетинаються робочі лінії, визначається за рівнянням (2.9) і (2.10):

$$y'_f = \frac{3,275}{3,275+1} \cdot 0,25 + \frac{0,9}{3,275+1} = 0,4;$$

$$y''_f = \frac{4+3,275}{3,275+1} \cdot 0,25 - \frac{4-1}{3,275+1} \cdot 0,035 = 0,4.$$

Рівність отриманих значень засвідчує правильність виконаних розрахунків.

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		18

Середні молярні концентрації рідини визначаються за середньоарифметичними залежностями [2]:

– у верхній частині колони:

$$x'_{cp} = \frac{(x_f + x_D)}{2}; \quad (2.12)$$

– у нижній частині колони:

$$x''_{cp} = \frac{(x_f + x_W)}{2}; \quad (2.13)$$

$$x'_{cp} = \frac{(0,25 + 0,9)}{2} = 0,58;$$

$$x''_{cp} = \frac{(0,25 + 0,035)}{2} = 0,14.$$

Середні молярні концентрації парової фази визначаються за рівняннями робочих ліній [2]:

– у верхній частині колони:

$$y'_{cp} = \frac{R}{R+1} \cdot x'_{cp} + \frac{x_D}{R+1}; \quad (2.14)$$

– у нижній частині колони:

$$y''_{cp} = \frac{F+R}{R+1} \cdot x''_{cp} - \frac{F-1}{R+1} \cdot x_W; \quad (2.15)$$

$$y'_{cp} = \frac{3,275}{3,275+1} \cdot 0,58 + \frac{0,9}{3,275+1} = 0,65;$$

$$y''_{cp} = \frac{4+3,275}{3,275+1} \cdot 0,14 - \frac{4-1}{3,275+1} \cdot 0,035 = 0,21.$$

Середня молярна маса парів розраховується за формулами [2]:

– у верхній частині колони:

$$M'_{cp} = y'_{cp} \cdot M_{лк} + (1 - y'_{cp}) \cdot M_{тлк}; \quad (2.16)$$

– у нижній частині колони:

$$M''_{cp} = y''_{cp} \cdot M_{лк} + (1 - y''_{cp}) \cdot M_{тлк}; \quad (2.17)$$

$$M'_{cp} = 0,65 \cdot 18,02 + (1 - 0,65) \cdot 60,05 = 32,7 \text{ кг/кмоль};$$

$$M''_{cp} = 0,21 \cdot 18,02 + (1 - 0,21) \cdot 60,05 = 51,2 \text{ кг/кмоль}.$$

Середні густини парів визначаються за рівнянням Клайперона:

– у верхній частині колони [2]:

$$\rho'_y = \frac{M'_{cp} \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + t'_y)}; \quad (2.18)$$

$$\rho'_y = \frac{32,7 \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + 105)} = 1,05 \text{ кг/м}^3;$$

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		20

– у нижній частині колони:

$$\rho_y'' = \frac{M_{cp}'' \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + t_y'')}; \quad (2.19)$$

$$\rho_y'' = \frac{51,2 \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + 110)} = 1,63 \text{ кг/м}^3.$$

Середні густини рідини знаходяться за правилом адитивності:

– у верхній частині колони:

$$\rho_x' = x_{cp}' \cdot \rho_{ллк}' + (1 - x_{cp}') \cdot \rho_{тлк}'; \quad (2.20)$$

$$\rho_x' = \rho_x' = 0,58 \cdot 955 + (1 - 0,58) \cdot 970 = 961 \text{ кг/м}^3;$$

– у нижній частині колони:

$$\rho_x'' = x_{cp}'' \cdot \rho_{ллк}'' + (1 - x_{cp}'') \cdot \rho_{тлк}''; \quad (2.21)$$

$$\rho_x'' = 0,14 \cdot 950 + (1 - 0,14) \cdot 965 = 963 \text{ кг/м}^3.$$

2.2 Конструктивні розрахунки

Граничну і робочу швидкості парів у верхній і нижній частинах колони знаходимо за формулами [12]:

$$\omega' = (0,75 \div 0,9) \cdot \omega_{np}, \quad (2.22)$$

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		21

де ω_{np} – швидкість газу, що відповідає точці захлинання.

$$\omega_{np} = c \cdot \sqrt{\frac{\rho_p - \rho_n}{\rho_n}}, \quad (2.23)$$

де $c = 0,04$ при відстані між тарілками $H = 500$ мм – коефіцієнт, який вибирається в залежності від конструкції тарілок (ковпачкові) і відстані між ними.

Гранична швидкість парів:

– для верхньої частини колони

$$\omega'_{np} = 0,04 \cdot \sqrt{\frac{961 - 1,05}{1,05}} = 1,2 \text{ м/с};$$

– для нижньої частини колони

$$\omega''_{np} = 0,04 \cdot \sqrt{\frac{963 - 1,63}{1,63}} = 0,97 \text{ м/с}.$$

Робоча швидкість парів:

– для верхньої частини колони

$$\omega' = 0,9 \cdot 1,2 = 1,08 \text{ м/с};$$

– для нижньої частини колони

$$\omega'' = 0,9 \cdot 0,97 = 0,87 \text{ м/с}.$$

Відношення масових витрат рідкої і парової фаз дорівнює [12]:

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		22

– у верхній частині колони:

$$\left(\frac{L}{G}\right)' = \frac{G_R}{G_V} = \frac{R}{R+1}; \quad (2.24)$$

$$\left(\frac{L}{G}\right)' = \frac{3,275}{3,275+1} = 0,77;$$

– у нижній частині колони:

$$\left(\frac{L}{G}\right)'' = \frac{G_R + G_f}{G_V} = \frac{R + F}{R + 1}; \quad (2.25)$$

$$\left(\frac{L}{G}\right)'' = \frac{3,275 + 4}{3,275 + 1} = 1,7.$$

Об'ємна витрата парів дорівнює:

– у верхній частині колони

$$V' = \frac{G_V}{\rho_y}; \quad (2.26)$$

$$V' = \frac{761}{3600 \cdot 1,05} = 0,2 \text{ м}^3/\text{с};$$

– у нижній частині колони

$$V'' = \frac{G_V}{\rho_y''}; \quad (2.27)$$

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		23

$$V'' = \frac{761}{3600 \cdot 1,63} = 0,13 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Діаметр колони розраховується за формулою [13]:

$$D = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot \omega}}; \quad (2.28)$$

– для верхньої частини колони:

$$D' = \sqrt{\frac{0,2}{0,785 \cdot 1,08}} = 0,486 \text{ м};$$

– для нижньої частини колони:

$$D'' = \sqrt{\frac{0,13}{0,785 \cdot 0,87}} = 0,436 \text{ м}.$$

Найближчим більшим стандартизованим діаметром колони є діаметр 500 мм. Але він є небажаним для використання. Таким чином, приймаємо наступний більший діаметр колони зі стандартного ряду, а саме $D_k = 600$ мм.

Дійсні робочі швидкості пари в колоні будуть становити:

$$w_g = 1,08 \cdot \left(\frac{0,486}{0,6} \right)^2 = 0,7 \text{ м/с};$$

$$w_n = 0,87 \cdot \left(\frac{0,436}{0,6} \right)^2 = 0,46 \text{ м/с}.$$

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		24

У результаті побудови ступеневих відрізків між робочою і рівноважною лініями (див. Додаток А) отримуємо число теоретичних тарілок.

Таким чином, у нижній частині колони $N_T = 2$ шт., а у верхній частині $N_T = 5$ шт.

Число дійсних тарілок можна визначити за допомогою середнього к.к.д. тарілки [12]:

$$N_d = N_T / \eta; \quad (2.29)$$

де η – к.к.д. тарілки.

Для ковпачкових тарілок приймаємо $\eta = 0,55$ [12].

Число дійсних тарілок складе:

– у верхній частині колони

$$N_d = 5 / 0,55 \approx 9 \text{ шт.}$$

– у нижній частині колони

$$N_d = 2 / 0,55 \approx 4 \text{ шт.}$$

Висота тарільчастої частини колони залежить від числа дійсних тарілок N_d і прийнятої відстані між ними:

$$H_T = (N_d - 1) \cdot H, \quad (2.30)$$

де $N_d = 13$ – загальна кількість тарілок;

$H = 500$ мм – відстань між тарілками.

$$H_m = (13 - 1) \cdot 500 = 6000 \text{ мм.}$$

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		25

На підставі практичних даних [12] відстань між верхньою кришкою колони і її верхньою зміцнюючою тарілкою приймається 600 мм; висота секції живлення становить 1200 мм; відстань між нижнім днищем та нижньою відгінною тарілкою 900 мм.

Таким чином, загальна висота колони складе 8200 мм (без урахування опори).

Діаметр патрубків визначається за формулою [12]:

$$D = \sqrt{\frac{G}{\rho \cdot 3600 \cdot 0.785 \cdot \omega}}; \quad (2.31)$$

де ω – швидкість пара або рідини, м/с; швидкість пари приймається в межах 10–15 м/с, швидкість рідини 0,2–1,5 м/с.

Діаметри патрубків для входу і виходу парів:

$$d_v = \sqrt{\frac{761}{3600 \cdot 1.05 \cdot 0.785 \cdot 15}} = 0.131 \text{ м.}$$

Приймаємо діаметри патрубків $d_v=150$ мм.

Діаметр патрубка для входу флегми:

$$d_r = \sqrt{\frac{583}{3600 \cdot 961 \cdot 0.785 \cdot 0.2}} = 0.033 \text{ м.}$$

Приймаємо діаметр патрубка $d_r=40$ мм.

Діаметр патрубка для входу вихідної суміші:

$$d_f = \sqrt{\frac{1600}{3600 \cdot 965 \cdot 0.785 \cdot 0.2}} = 0.094 \text{ м.}$$

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		26

Приймаємо діаметр патрубку $d_f = 100$ мм.

Діаметр патрубка для виходу кубового залишку:

$$d_w = \sqrt{\frac{1422}{3600 \cdot 970 \cdot 0,785 \cdot 0,2}} = 0,124 \text{ м.}$$

Приймаємо діаметр патрубку $d_w = 125$ мм.

2.3 Гідравлічні розрахунки

Відгонна частина колони є більш навантаженою за рідиною. Таким чином, гідравлічний розрахунок виконуємо для ковпачкової тарілки, яка розташована у нижній частині колони.

Основні характеристики ковпачкової тарілки типу ТСК-1 для колони діаметром $D = 600$ мм [12]:

- робоча площа тарілки $F_p = 0,125 \text{ м}^2$;
- площа проходу парів $F_0 = 0,027 \text{ м}^2$;
- площа зливу $F_{зл} = 0,12 \text{ м}^2$;
- периметр зливу $\Pi = 0,480 \text{ м}$;
- довжина шляху рідини по тарілці $l_p = 0,37 \text{ м}$;
- кількість ковпачків на тарілці $m = 13$;
- діаметр ковпачка $d_k = 80 \text{ мм}$.

Визначаємо гідравлічний опір тарілки за методикою [12], попередньо прийнявши відстань між тарілками $H_T = 500$ мм.

Визначаємо навантаження за парою і навантаження за рідиною тарілки:

$$G_n = 0,211 \text{ кг/с};$$

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		27

$$G_p = 0,606 \text{ кг/с.}$$

У завдання подальших гідравлічних розрахунків основних параметрів тарілки входить визначення висоти зливного порога $h_{\text{пор}}$, підпору рідини над зливним порогом $h_{\text{зл}}$, висоти прорізів ковпачка $h_{\text{пр}}$ і опору тарілки ΔP [12].

Величину $h_{\text{зл}}$ розраховуємо попередньо без урахування виносу рідини:

$$h_{\text{зл}} = 0,68 \cdot \left(\frac{V_p}{\Pi} \right)^{0,67}, \quad (2.32)$$

$$\text{де } V_p = \frac{G_p}{\rho_p} = \frac{0,606}{963} = 6,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с.}$$

$$h_{\text{зл}} = 0,68 \cdot \left(\frac{6,3 \cdot 10^{-4}}{0,480} \right)^{0,67} = 8 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Для визначення висоти зливного порога розраховуємо висоту прорізів в ковпачках за рівнянням:

$$h_{\text{пр}} = 0,46 \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{V_n}{m \cdot z \cdot b} \right)^2 \cdot \frac{\rho_p}{\rho_p - \rho_p}}. \quad (2.33)$$

Прийmemo ковпачок з прямокутними прорізами шириною $b = 4$ мм. Кількість прорізів в одному ковпачку $z = 20$. Загальна кількість ковпачків на тарілці $m = 13$. При цих даних отримаємо

$$h_{\text{пр}} = 0,46 \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{0,13}{13 \cdot 20 \cdot 0,004} \right)^2 \cdot \frac{1,63}{963 - 1,63}} = 0,0137 \text{ м.}$$

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		28

Приймаємо за [12] висоту прорізу $h_{np} = 20$ мм.

У цьому випадку пара буде проходити через повністю відкриті прорізи і частково через нижню кромку ковпачка. Для забезпечення цього приймемо висоту установки ковпачка $h_y = 10$ мм.

Глибина барботажу при атмосферному тиску складе:

$$h_{z.б.} = \left(\frac{0,7}{\rho_p} \right) \cdot P^{0,35}; \quad (2.34)$$

$$h_{z.б.} = \left(\frac{0,7}{963} \right) \cdot (0,1 \cdot 10^6)^{0,35} = 0,04 \text{ м.}$$

Знаходимо висоту зливного порога за рівнянням:

$$h_{nop} = h_{z.б.} - h_{zl} + h_{np} + h_y, \quad (2.35)$$

$$h_{nop} = 0,04 - 0,008 + 0,02 + 0,01 = 0,062 \text{ м.}$$

Висота піни, що утворюється на тарілці, складе:

$$h_{ни} = \frac{k_2}{\sigma^{0,33}} \cdot (k_3 \cdot w^{1,2} \cdot \rho_n + k_4 \cdot h_{zl} + h_{nop}), \quad (2.36)$$

де σ – поверхневий натяг рідини на кордоні з парою або газом, Н/м;

Значення коефіцієнтів, що входять в рівняння k_2, k_3, k_4 визначаємо за [12].

Для ковпачкової тарілки $k_2 = 0,23$, $k_3 = 4,4 \cdot 10^{-2}$, $k_4 = 4,6$.

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		29

$$h_{nn} = \frac{0,23}{0,02^{0,33}} \cdot (4,4 \cdot 10^{-2} \cdot 0,46^2 \cdot 1,63 + 4,6 \cdot 0,008 + 0,062) = 0,087 \text{ м.}$$

Величина відносного унесення рідини:

$$Y = \frac{k_1}{\sigma} \cdot \left(\frac{w'}{H_T - h_{nn}} \right)^{n_1}. \quad (2.37)$$

Значення коефіцієнта k_1 і показника ступеня n_1 також визначаємо за [12].

Для ковпачкової тарілки $k_1 = 23 \cdot 10^{-5}$, $n_1 = 1,16$.

$$Y = \frac{23 \cdot 10^{-5}}{0,02} \cdot \left(\frac{0,46}{0,5 - 0,087} \right)^{1,16} = 0,013 < 0,1.$$

Отже, відстань між тарілками вибрана правильно.

Дійсне навантаження зливного пристрою за рідиною розраховуємо за рівнянням:

$$V_{p.d.} = V_p + \frac{G_n \cdot Y}{\rho_p}, \quad (2.38)$$

$$V_{p.d.} = 6,3 \cdot 10^{-4} + \frac{0,211 \cdot 0,013}{963} = 6,33 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с.}$$

Дійсна величина підпору рідини над зливним порогом:

$$h_{зл.д.} = 0,68 \cdot \left(\frac{6,33 \cdot 10^{-4}}{0,480} \right)^{0,67} = 8 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

					Лист
					30
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	XI.P.00.00.00 ПЗ

Отримана величина не відрізняється від раніше розрахованої.

Перевіримо працездатність зливного пристрою тарілки за умовами:

$$w_{p.зл} = \frac{V_{p.д.}}{F_{зл}} < k_5 \cdot H_T^{n_2}; \quad (2.39)$$

$$w_{p.з.} = \frac{V_{p.д.}}{\Pi \cdot a} < 0,45. \quad (2.40)$$

Значення коефіцієнта k_5 і показника ступеня n_2 визначаємо за [12] у залежності від фактору піноутворення рідини: $k_5 = 0,250$, $n_2 = 0,65$.

Для тарілок типу ТСК-1 зазор під зливним стаканом $a = 0,035$ м.

Розрахуємо швидкість рідини в зливному пристрої:

$$w_{p.зл} = \frac{6,33 \cdot 10^{-4}}{0,12} = 5,28 \cdot 10^{-3} \text{ м/с.}$$

Далі розраховуємо комплекс:

$$k_5 \cdot H_T^{n_2} = 0,250 \cdot 0,5^{0,65} = 0,16.$$

Отже, умова (2.39) виконується і захлинання зливного пристрою не відбудеться.

Швидкість рідини у зазорі між підставою тарілки і нижньою кромкою зливного стакану:

$$w_{p.з.} = \frac{6,33 \cdot 10^{-4}}{0,480 \cdot 0,035} = 0,038 \text{ м/с} < 0,45 \text{ м/с.}$$

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		31

Із розрахунків виходить, що обрана однопоточна тарілка забезпечить нормальну роботу зливних пристроїв.

Опір сухий тарілки визначаємо за рівнянням [12]:

$$\Delta P_c = \zeta_c \cdot \rho_n \cdot \frac{w_0^2}{2}, \quad (2.41)$$

де швидкість пара в парових патрубках дорівнює

$$w_0 = \frac{V_n}{F_0}; \quad (2.42)$$

$$w_0 = \frac{0,13}{0,027} = 4,8 \text{ м/с.}$$

Коефіцієнт опору для ковпачка діаметром $D = 80$ мм складе:

$$\xi_c = 1,73 \cdot D^{-0,25}; \quad (2.43)$$

$$\xi_c = 1,73 \cdot 0,08^{-0,25} = 3,25;$$

$$\Delta P_c = 3,25 \cdot 1,63 \cdot \frac{4,8^2}{2} = 61 \text{ Па.}$$

Величина перепаду рівня рідини на тарілці:

$$\Delta h = 0,1 \cdot \lambda_e \cdot \frac{l_p \cdot V_{p.d.}^2}{\Pi^2 \cdot (h_{нор} + h_{зл.д.})^3 \cdot g}, \quad (2.44)$$

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		32

де λ_e – еквівалентний коефіцієнт опору перетоку рідини по тарілці. Для нормалізованих тарілок з капсульними ковпачками можна прийняти $\lambda_e \approx 16 \cdot l_p$.

$$\Delta h = 0,1 \cdot 16 \cdot 0,37 \cdot \frac{0,37 \cdot (6,33 \cdot 10^{-4})^2}{0,480^2 \cdot (0,062 + 8 \cdot 10^{-3})^3 \cdot 9,81} = 1,13 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

Опір шару рідини на тарілці розраховуємо за рівнянням:

$$\Delta P_p = \left(h_{\text{с.б.}} + \frac{h_{np} + \Delta h}{2} \right) \cdot \rho_p \cdot g; \quad (2.45)$$

$$\Delta P_p = \left(0,04 + \frac{0,020 + 1,13 \cdot 10^{-4}}{2} \right) \cdot 963 \cdot 9,81 = 473 \text{ Па.}$$

Загальний опір тарілки дорівнює:

$$\Delta P = \Delta P_c + \Delta P_p; \quad (2.46)$$

$$\Delta P = 61 + 473 = 534 \text{ Па.}$$

Гідравлічний опір колони:

$$\Delta P_K = N_d \cdot \Delta P; \quad (2.47)$$

$$\Delta P = 13 \cdot 534 = 6942 \text{ Па.}$$

2.4 Вибір допоміжного обладнання

Розрахунок і підбір насосу для подачі вихідної суміші [13].

Для всмоктуючого і напірного трубопроводів приймаємо однакову швидкість течіння рідини, як дорівнює $w = 2$ м/с.

Діаметр трубопроводу визначаємо за рівнянням:

$$d = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot w}}, \quad (2.48)$$

де V – об'ємна витрата суміші, що подається в колону, м³/с.

$$V = \frac{1600}{3600 \cdot 960} = 4,63 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с};$$

$$d = \sqrt{\frac{4,63 \cdot 10^{-4}}{0,785 \cdot 2}} = 0,017 \text{ м.}$$

Приймаємо стандартизований діаметр трубопроводу 18 мм.

Визначаємо критерій Рейнольдса для рідини у трубопроводі:

$$\text{Re} = \frac{w \cdot d \cdot \rho_p}{\mu}; \quad (2.49)$$

$$\text{Re} = \frac{2 \cdot 0,018 \cdot 960}{6,5 \cdot 10^{-4}} = 53170 \text{ – режим турбулентний.}$$

Абсолютну шорсткість трубопроводу приймаємо $\Delta = 2 \cdot 10^{-4}$ м.

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		34

$$e = \frac{\Delta}{d} = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{0,018} = 0,011;$$

$$\frac{1}{e} = 90; 560 \cdot \frac{1}{e} = 50400; 10 \cdot \frac{1}{e} = 900; \text{Re} > 560 \cdot \frac{1}{e}.$$

Для зони, що є автомодельною по відношенню до Re:

$$\lambda = 0,11 \cdot e^{0,25}; \quad (2.50)$$

$$\lambda = 0,11 \cdot 0,011^{0,25} = 0,0356.$$

Визначаємо суму коефіцієнтів місцевих опорів окремо для всмоктуючої та напірної ліній.

Для всмоктуючої лінії:

- 1) вхід у трубу (приймаємо з гострими краями) $\xi_1 = 0,5$;
- 2) 2 коліна з кутом 90° $\xi_2 = 2 \cdot 1,1 = 2,2$.

$$\Sigma \xi = \xi_1 + \xi_2;$$

$$\Sigma \xi = 0,5 + 2,2 = 2,7.$$

Для напірної лінії:

- 1) вентиль прямоточний $\xi_1 = 0,65$;
- 2) 3 коліна з кутом 90° $\xi_2 = 3 \cdot 1,1 = 3,3$;
- 3) 1 кожухотрубний теплообмінник $\xi_3 = 3,05$;
- 4) вихід з труби $\xi_4 = 1$.

$$\Sigma \xi = \xi_1 + \xi_2 + \xi_3 + \xi_4;$$

$$\Sigma \xi = 0,65 + 3,3 + 3,05 + 1 = 8.$$

Втрати напору у всмоктуючій лінії знаходимо за рівнянням:

$$h_{П.ВС.} = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d_E} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g}, \quad (2.51)$$

де l, d_E – відповідно довжина і еквівалентний діаметр трубопроводу.

$$h_{П.ВС.} = \left(0,0356 \cdot \frac{4}{0,018} + 2,7 \right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 2,16 \text{ м.}$$

Втрата напору в напірній лінії:

$$h_{П.НАП.} = \left(0,0356 \cdot \frac{7,5}{0,018} + 8 \right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 4,66 \text{ м.}$$

Загальні втрати напору:

$$h_{П.} = h_{П.ВС.} + h_{П.НАП.}; \quad (2.52)$$

$$h_{П.} = 2,16 + 4,66 = 6,82 \text{ м.}$$

Знаходимо напір насосу за рівнянням:

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho_{ж} \cdot g} + H_{Г.} + h_{П.}, \quad (2.53)$$

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		36

де $(P_2 - P_1)$ – різниця тисків у апараті та в ємності, із якої подається рідина. У нашому випадку, враховуючи, що тиск у колоні атмосферний, ця різниця дорівнює 0 МПа;

H_r – геометрична висота піднімання рідини, м.

$$H = 5 + 6,82 = 11,82 \text{ м.}$$

Корисну потужність насоса визначаємо за рівнянням:

$$N_{II} = \rho_p \cdot g \cdot V \cdot H; \quad (2.54)$$

$$N_{II} = 960 \cdot 9,81 \cdot 4,63 \cdot 10^{-4} \cdot 11,82 = 51,5 \text{ Вт.}$$

Потужність, яку повинен розвинути електродвигун насоса на вихідному валу при встановленому режимі роботи:

$$N = \frac{N_{II}}{\eta_{пер} \cdot \eta_n}, \quad (2.55)$$

де η_n , $\eta_{пер}$ – коефіцієнти корисної дії відповідно насосу і передачі від електродвигуна до насоса. Приймаємо $\eta_n = 0,6$ і $\eta_{пер} = 1$.

$$N = \frac{51,5}{1 \cdot 0,6} = 85,9 \text{ Вт.}$$

Вибираємо відцентровий насос марки НМШ 8-3,5/18-5 із наступними параметрами: об'ємна подача насоса 3,5 м³/год.; напір насоса 18 м; споживана потужність 5,25 кВт; частота обертів 1050 об/хв.

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
						37
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок і вибір ємності для вихідної суміші [12]. Ємність для зберігання вихідної суміші розраховуємо, виходячи з 6–8 годинного резерву робочого часу, а також з урахуванням коефіцієнту заповнення $\psi = 0,8 \dots 0,85$.

Розрахунковий об'єм ємності:

$$V_{EP} = \frac{G \cdot \tau}{\psi \cdot \rho}; \quad (2.56)$$

$$V_{EP} = \frac{1600 \cdot 7}{0,85 \cdot 960} = 13,7 \text{ м}^3.$$

Задамося діаметром ємності $D = 2,4$ м, тоді її висота буде становити:

$$H = \frac{V_{EP}}{0,785 \cdot D^2}; \quad (2.57)$$

$$H = \frac{13,7}{0,785 \cdot 2,4^2} = 3,0 \text{ м}.$$

3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність

3.1 Розрахунок товщини стінки корпусу апарата

Для подальших розрахунків приймаємо робочу температуру середовища 110°C. За рекомендацією [14] робочу температуру стінки приймаємо на 5°C меншою, тобто 105°C. Робочий тиск в апараті, згідно завдання, становить 0,1 МПа. Розрахунковий тиск для апаратів з робочим надлишковим тиском $P > 0,07$ МПа, відповідно до рекомендацій наведених у [14], складе:

$$P_p = 1,1 \cdot p = 1,1 \cdot 0,1 = 0,11 \text{ МПа.} \quad (3.1)$$

Приймаємо стандартне значення 0,25 МПа.

Пробний при гідравлічному випробуванні тиск згідно [14] складе:

$$P_{np} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,5 P_p [\sigma]_{20} / [\sigma] \\ P_p + 0,3 \end{array} \right\}, \quad (3.2)$$

де $[\sigma]_{20}, [\sigma]$ – допустиме напруження для матеріалу корпусу при розрахунковій температурі і температурі 20°C, згідно [14]:

$$[\sigma]_{20} = 160 \text{ МПа}; [\sigma] = 152 \text{ МПа.}$$

$$P_{np} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,5 \cdot 0,25 \cdot 160 / 152 \\ 0,25 + 0,3 \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,43 \\ 0,55 \end{array} \right\} = 0,55 \text{ МПа.}$$

Розрахункове значення для модуля поздовжньої пружності для матеріалу корпусу, згідно [14]:

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

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		39

Коефіцієнт проточності зварного шва, згідно [14], складе: $\varphi=0,9$.

Товщина стінки циліндричної обичайки, навантаженої внутрішнім надлишковим тиском:

$$S_k = \frac{P_{np} \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - P_{np}}, \quad (3.3)$$

$$S_k = \frac{0,55 \cdot 0,6}{2 \cdot 152 \cdot 0,9 - 0,55} = 0,0012 \text{ м.}$$

Виконавча товщина стінки:

$$S \geq S_k + C, \quad (3.4)$$

де C – загальне значення прибавки, яка складається зі складових:

$$C = C_1 + C_2 + C_3, \quad (3.5)$$

де C_1 – прибавка на корозію і ерозію, при проникності $\Pi = 0,15$ мм/рік та терміні служби колони $\tau=10$ років складе

$$C_1 = \Pi \cdot \tau = 0,15 \cdot 10 = 1,5 \text{ мм;}$$

C_2 – прибавка на мінусове значення граничного відхилення по товщині листа, мм;

C_3 – технологічна прибавка, яка враховується в залежності від прийнятої технології виготовлення і не включає в себе округлення розрахункової товщини елемента до номінальної товщини за стандартом, мм.

Прибавки C_2 і C_3 враховуються лише в тому випадку, коли сума їх перевищує 5 % від розрахункової товщини обичайки.

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
						40
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$C = 1,5 + 0 + 0 = 1,5 \text{ мм.}$$

$$S = 0,0012 + 0,0015 = 0,0027 \text{ м.}$$

Приймаємо $S=0,004 \text{ м} = 4 \text{ мм}$.

Допустимий внутрішній надлишковий тиск:

$$[p] = \frac{2[\sigma]\varphi_p(s-c)}{D+(s-c)}; \quad (3.6)$$

$$[p] = \frac{2 \cdot 152 \cdot 0,9 \cdot (0,004 - 0,0015)}{0,6 + (0,004 - 0,0015)} = 1,13 \text{ МПа}$$

Умова міцності має вигляд:

$$P < [P]: 0,55 \text{ МПа} < 1,13 \text{ МПа.}$$

Умова міцності виконується.

3.2 Розрахунок товщини стінки еліптичного днища

Номінальна товщина стінки днища (кришки), навантажених внутрішнім надлишковим тиском:

$$S_R = \frac{P_p R}{2[\sigma] \cdot \varphi - 0,5 P_p}, \quad (3.7)$$

де R – радіус кривизни в вершині днища; для еліптичних днищ $R = D$.

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		41

$$S_R = \frac{0,55 \cdot 0,6}{2 \cdot 152 \cdot 0,9 - 0,5 \cdot 0,55} = 0,0012 \text{ м.}$$

Загальне значення прибавки до товщини стінки днища (кришки) складе:

$$C = 1,5 + 0 + 0 = 1,5 \text{ мм.}$$

$$S = 0,0012 + 0,0015 = 0,0027 \text{ м.}$$

Приймаємо $S=0,004 \text{ м} = 4 \text{ мм.}$

Допустимий внутрішній надлишковий тиск:

$$[p] = \frac{2(S - C)\varphi[\sigma]}{D + 0,5(S - C)}; \quad (3.8)$$

$$[p] = \frac{2 \cdot (0,004 - 0,0015) \cdot 0,9 \cdot 152}{0,6 + 0,5 \cdot (0,004 - 0,0015)} = 1,13 \text{ МПа,}$$

що більше пробного, а отже, умова міцності також виконується.

3.3 Розрахунок опори апарата

Визначимо навантаження порожнього апарату на опору по формулі:

$$Q_{an} = M_{an} \cdot g; \quad (3.9)$$

де M_{an} – маса порожнього апарату;

$$M_{an} = M_{\kappa} + M_{\text{дн}} + M_{\text{кр}} + M_m + M_{\text{фл}}, \quad (3.10)$$

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
						42
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

де M_k , $M_{дн}$, $M_{кр}$, M_m , $M_{фл}$ – відповідно маси корпусу, днища, кришки, тарілок, фланців і арматури

$$M_k = H \cdot \pi \cdot D \cdot s \cdot \rho, \quad (3.11)$$

де $\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$ – щільність матеріалу корпусу;

$$M_k = 8,2 \cdot 3,14 \cdot 0,6 \cdot 0,004 \cdot 7800 = 482 \text{ кг.}$$

$$M_{дн} = M_{кр} = 20 \text{ кг.}$$

Маса тарілок:

$$M_m = N \cdot m_m, \quad (3.12)$$

де $m_m = 36,5 \text{ кг}$ – маса однієї тарілки.

$$M_m = 13 \cdot 36,5 = 474,5 \text{ кг.}$$

Масу фланців і арматури приймемо рівною $M_{фл} = 300 \text{ кг}$.

Маса порожнього апарату:

$$M_{ан} = 482 + 20 + 20 + 474,5 + 500 = 1496,5 \text{ кг;}$$

$$Q_{ан} = 1496,5 \cdot 9,81 = 14681 \text{ Н.}$$

Навантаження апарату на опору під час гідравлічних випробувань:

$$Q_{ан}^u = (M_{ан} + M_e) \cdot g, \quad (3.13)$$

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
						43
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

де M_B – маса залитої в апарат води.

$$M_g = V \cdot \rho_g, \quad (3.14)$$

де V – об'єм апарату

$$V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H = \frac{3,14 \cdot 0,6^2}{4} \cdot 8,2 = 2,32 \text{ м}^3;$$

$$M_g = 2,32 \cdot 1000 = 2320 \text{ кг};$$

$$Q_{an}^u = (1496,5 + 2320) \cdot 9,81 = 37440 \text{ Н}.$$

За [14] вибираємо циліндричну опору типу: 2-600-30-50.

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		44

4 Монтаж та ремонт апарата

4.1 Монтаж апарата [15, 16]

При монтажі повністю зібраного апарата спочатку апарат збирається із блоків, а потім приварюється опора. Частини апарата, що стикуються, підтягують один до одного трубоукладачами або тракторами. Для збігу стиків по всьому периметру до кромки однією зі стикуючих частин приварюють вісім і більше напрямних планок (див. рис. 4.1), які після прихватки стику короткими звареними швами зрізають газокисневим різанням.

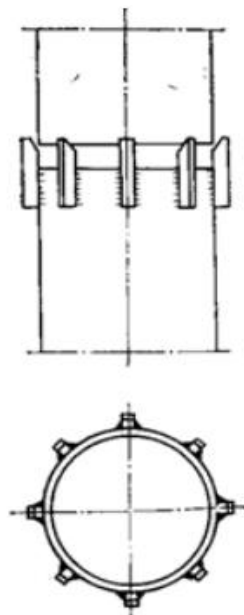


Рисунок 4.1 – Стиковка обичайок

Стиковку роблять за заводськими контрольними рисками, нанесеними на корпусах. Відхилення розмірів ділянок, що стикуються, повинні бути в межах допустимих норм: зміщення кромки в кільцевих швах не повинно перевищувати 10 % товщини листа апарата, а у разі двошарової сталі повинно бути не більше товщини шару.

У зварюваних стиках ретельно контролюють зазори, які повинні бути в межах 2–4 мм незалежно від товщини листів обичайок. Кромки зварювальних частин ретельно очищають металевими щітками. Прихватку, як і повне

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		45

зварювання, виконують електродами, передбаченими проектом. Стики, що виконані з двошарової сталі, прихоплюють на основному шарі. Технологія зварювання (спосіб і режим зварювання, порядок накладення швів і термооброблення) наводиться в проектній документації заводу-виготовлювача.

Ділянка території, де проводиться зварювання, повинна бути захищена від атмосферних опадів та вітру для запобігання забруднення шва. Бажано зварювання виконувати на роликовому стенді, на рамі якого встановлюють один або два зварювальних автомати. Для зварювання внутрішнього шва один автомат розміщують всередині апарату. Після завершення зварювання остаточно перевіряють всі розміри зібраного апарату, які повинні бути в межах допусків. Корпуси відповідальних колонних апаратів повинні відповідати таким вимогам: відхилення довжини не повинно перевищувати 0,3 % від проектного; кривизна циліндра на ділянці 1 м повинна бути не більше 2 мм, а для апаратів вище 10 м – не більше 3 мм.

Тарілка – контактний пристрій в колонній апаратурі, поверхня контакту фаз в яких утворюється в процесі руху взаємодіючих потоків по поверхні тарілки. Спосіб монтажу ректифікаційних тарілок залежить від їх конструкції і технологічного призначення. Їх можна збирати при вертикальному (робочому) і горизонтальному положенні колони. Другий спосіб дозволяє скоротити загальну тривалість монтажних робіт, але пов'язаний із застосуванням пристосувань великої вантажопідйомності для підйому апарата (рис. 4.2).

При горизонтальному положенні апарата тарілки встановлюють строго вертикально; їх положення перевіряють по схилу, що накладають на декількох точках, і по заздалегідь нанесеним на внутрішніх стінках апарату мітках, для чого апарат доводиться повертати навколо осі на 90°.

Значно легше забезпечити строго горизонтальне положення тарілок в уже установленому, вивіреному і закріпленому на фундаменті корпусі апарата. У цьому випадку достатньої точності добиваються або за допомогою рівня, або заливаючи на поверхню тарілки воду.

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		46

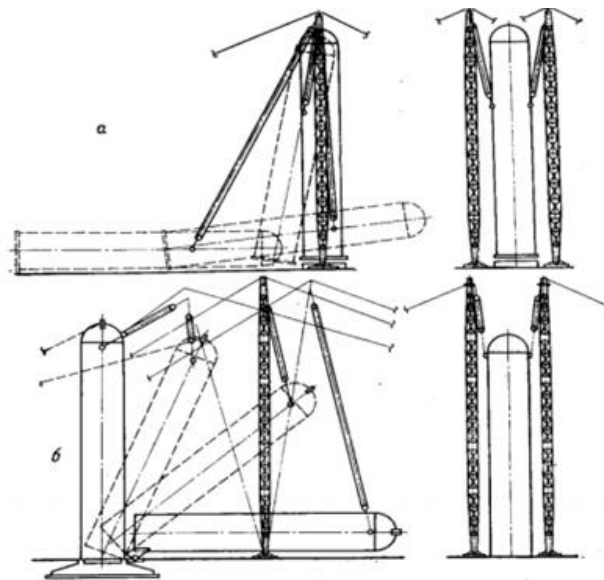


Рисунок 4.2 – Способи підйому колонного апарата:

а – способом ковзання опорної частини; б – поворотом навколо шарніра

Збірку тарілок починають з приварки до внутрішньої стінки корпусу колони опорних (несучих) елементів і нероз’ємних деталей (карманів, зливів, дисків, глухих сегментів). Зварювання проводять у відповідності до технічних умов, і з огляду на те, що при роботі колони важко визначити окремі дефекти зварювання. Після складання всіх елементів кожна тарілка перевіряється на барботаж. Для цього закриваються всі люки, розташовані нижче контрольованої тарілки, тарілка заливається водою, щоб надмірна кількість води зливалася через зливні пристрої. Злив по всьому периметру повинен бути однаковим, тому передбачається можливість його регулювання. Товщина шару води на всіх ділянках тарілки повинна бути також однаковою. Після заповнення гідро затворів за допомогою компресора нагнітається повітря. Рівномірність барботажа контролюється візуально.

4.2 Ремонт апарата [15, 16]

Перед початком ремонту працівники технологічного цеху (оператори) виконують підготовчі роботи. Потім до роботи приступає ремонтний персонал виконавця ремонтних робіт (слюсарі-ремонтники). Як правило, при ремонті

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		47

колонних апаратів із внутрішніми пристроями тарільчатого типу передбачаються наступні роботи:

– приймання колони в ремонт за актом представником ремонтної організації (майстром ремонтно-механічної бригади).

– перед тим, як безпосередньо приступити до ремонту, необхідно отримати інструктаж з охорони праці, техніки безпеки, газобезпеки, пожежної безпеки і оформити наряд допуску на проведення газонебезпечних робіт всередині колонного апарата.

– керівник ремонтного підрозділу (майстер РМЦ) повинен ознайомитися з результатами підготовчих робіт до ремонту колони або в цілому установки, зазначених в наряді допуску.

– отримати дозвіл особи, відповідальної за організацію безпечного проведення газонебезпечних робіт в цеху (начальника або заступника начальника цеху) і приступити до виконання ремонтних робіт.

– відкриття люків-лазів проводять, починаючи із верхнього, а далі послідовно зверху вниз. Забороняється одночасно відкривати верхній і нижній люки-лази, щоб уникнути підсосу повітря в колону і займання пароповітряної суміші.

– працівниками технологічного цеху проводиться відбір проб повітря з усіх люків колони. Результати аналізів на вміст вибухонебезпечних і вибухопожежонебезпечних речовин, і на вміст кисню записуються в наряді допуску.

– перед початком ремонту перевіряють температуру повітряного середовища всередині колони, яка не повинна перевищувати 30°C. Під час очистки і розбирання тарілок в колоні працює по двоє людей в кожному люку: один всередині колони у шланговому протигазі з рятувальним поясом і сигнально рятувальною мотузкою; другий спостерігаючий дублер: зовні, поруч із люком, зі шланговим протигазом.

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
						48
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Очищення стінок міжтарілкового простору, опорних конструкцій тарілок, зливних карманів і стінок кубової частини колони роблять за допомогою металевих скребків і щіток, а також за допомогою механізованих пристосувань і інструментів. Відкладення і бруд видаляють з колони дерев'яними лопатами через люк-лаз і спускають їх в цеберку зі спеціальними жолобами.

Тарілки розбирають в кожному люку послідовно, починаючи з верхньої. Повне розбирання усіх тарілок роблять по секціях (сегментам). Спуск секцій тарілок проводиться за допомогою кран-укосини.

Чистку тарілок проводять на зовнішньому майданчику в захисних окулярах за допомогою металевих скребків і щіток.

Одночасно проводять продування секцій парою і відбраковування дефектних деталей тарілок шляхом легкого обстукування молотком вагою від 0,5 до 1 кг.

Після очищення проводять заміну частини ковпачків. Деталі ковпачків виготовляються заново і збираються. Найбільш відповідальною операцією є приварка шпильки до корпусу ковпачка, оскільки якщо ці деталі не будуть на одній осі – правильне встановлення ковпачка є неможливим. Співвісність деталей забезпечується спеціальною оправкою, яка дозволяє також змінювати висоту шпильки шляхом її часткового розгинання при затягуванні гайки.

При ремонті корпусу колони керуються стандартами, відповідно до яких розробляється технологія усунення дефектів корпусу і його покриття. Ремонт опорних конструкцій тарілок, зливних карманів вогневими методами із використанням ручного дугового електрозварювання (РДЕЗ) і газозварювання проводять після оформлення дозволу на проведення вогневих робіт усередині апарата, дозволу на проведення газонебезпечних робіт і наряду-допуску на проведення робіт підвищеної небезпеки на кожен робочу зону, при позитивних аналізах повітряного середовища всередині колони.

Найбільш зношені ділянки корпусу колони вирізають, а на їх місце

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		49

встановлюються нову ділянку, заздалегідь звальцьовану по радіусу колони. Тип зварювання – встик. Вирізання великих ділянок корпусу може призвести до ослаблення перетину і порушення стійкості. Тому до вирізання дефектної ділянки її зміцнюють стійками, що встановлюються всередині або зовні. Число та перетин стійок, розміри опорних лап розраховують, виходячи з умови рівності їх опорів опору вирізаного перетину. За допомогою таких стійок можна замінити весь пошкоджений пояс колони декількома частинами.

Збірку тарілок проводять аналогічно розбиранню, у зворотному порядку, знизу-вгору. При складанні тарілок контролюють горизонтальність установки тарілок за шаблоном або за допомогою лінійки і рівня. Відхилення від горизонтальності має бути в допустимих межах, визначених індивідуально для кожного типу тарілок.

Після закінчення встановлення тарілок і ремонту колони, якість проведених ремонтних робіт перевіряє представник адміністрації цеху, відповідальний за проведення ремонту (старший механік цеху, заступник начальника цеху з ремонту). Після цього з колони прибирають сторонні предмети, матеріали, інструменти, пристосування і закривають люки-лази. Люки-лази закривають знизу-вгору, починаючи з нижнього.

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		50

5 Охорона праці

Будова та розрахунок грозозахисту будівель і споруд [17, 18]

Грозозахисні установки складаються в основному з блискавковідводів, спусків і заземлювачів. Спуски, що відводять струм блискавки, прокладаються по даху і стінам або всередині прибудованих приміщень в доступних місцях. Місця з'єднань не повинні бути поблизу легкозаймистих матеріалів. У якості спусків використовуються проводи, що лежать під дахом, або закриті металеві частини. Над металевими частинами через кожні 3–4 м встановлюються вертикальні блискавковловлюючі пристрої, які повинні з'єднуватися зі спусками та підніматися над ними не менше ніж на 20 см.

Блисківкоприймач розташовують так, щоб він брав за можливості на себе всі удари блискавок. Кількість спусків залежить від роду і розмірів будівлі. Спуски з'єднуються із заземленням по можливості по найбільш короткому шляху. Великі металеві частини в будівлі або на ньому повинні бути відокремлені від грозозахисного установки на достатню відстань або ж приєднані до неї провідником.

Відстань між частинами грозозахисного пристрою і великими металевими частинами або електричними установками повинно бути розраховане за ПУЕ.

Матеріалом для грозозахисних пристроїв є оцинкована сталь. Застосування сталевих і алюмінієвих тросів через малу стійкості по відношенню до корозії не допускається. Для підземної проводки застосовуються смуги і дріт суцільного перетину з оцинкованої сталі або міді. Поблизу хімічних заводів необхідно застосовувати мідний дріт перетином 50 мм² у свинцевій оболонці. З'єднання проводів між собою і з землею виконуються за допомогою затискачів або різьблення. З'єднання скручуванням неприпустимі.

Щоб уникнути корозії в грозозахисному пристрої потрібно дотримуватися наступного: якщо дахи, стіни, облицювання, водостічні жолоби

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		51

мідні, то дроти також повинні бути мідними, оскільки дощова вода може стікати з міді на дроти або навпаки. Сталь або алюміній в цьому випадку не застосовуються.

Якщо дахи, стіни і т. п. цинкові або з оцинкованого заліза, то застосування голих мідних проводів виключається, а використовуються оцинковані сталеві, голі алюмінієві або луджені мідні дроти. При з'єднанні мідного дроту з алюмінієвим необхідна прокладка між ними зі свинцю.

Кріпильні деталі для грозозахисних пристроїв виготовляються з оцинкованої сталі. Для захисту від корозії в місцях кріплення мідних проводів повинні бути прокладені свинцеві прокладки. Усі місця з'єднань, опори, поверхні зрізу оцинкованих сталевих провідників, а також заземлення проводу на відстані до 30 см від поверхні повинні мати захисне покриття. Місця підземних з'єднань проводів і приєднань до трубопроводів повинні мати хороший захист від корозії, наприклад бітумне покриття. Наземні та підземні оцинковані дроти підлягають фарбуванню.

Досвідом встановлено, що найбільш ймовірними місцями ударів блискавки є шпилі веж, ковзани дахів, димові і вентиляційні труби і т. д. Тому найбільш ймовірні місця ударів блискавки повинні бути забезпечені блискавковловлювальними пристроями.

У якості блискавковловлювальних пристроїв уздовж ковзанів дахів, на стічних жолобах досить прокласти прокладки з відповідного проводу. На шпильях веж, трубах можуть застосовуватися стрижні з суцільного матеріалу. Розташовані на поверхні даху виступаючі частини будівлі – димові труби, шпилі, вентиляційні труби, флюгери, реклами, освітлювальні установки, якщо вони виконані з металу, використовуються в якості блискавкоприймачів і приєднуються до спусків; якщо ж вони виконані не з металу, то забезпечуються блискавковловлювальними пристроями, наприклад стрижнями або металевою окантовкою.

На кожному будинку має бути не менше двох головних спусків, при великих габаритних розмірах влаштовують спусків більше. Окремо стоять

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		52

фабричні димарі які обладнуються двома спусками. Спуски розташовують по можливості симетрично. На кожному спуску влаштовується доступне місце для роз'єму з метою випробувань та ревізії. Заземлюючі дроти повинні бути відокремлені від водостічних труб. Болтові з'єднання в місці роз'єму повинні бути виготовлені з корозійностійкого матеріалу.

Металеві частини великої протяжності по вертикалі, що знаходяться поза будівлею, наприклад пожежні сходи, підйомні споруди, повинні бути з'єднані вгорі і внизу з проводами, що лежать на даху, і зі спусками. Внизу вони повинні приєднуватися до заземлення вище місця роз'єму.

Сила струму в каналі блискавки досягає 200 тис. ампер, а напруга 1 млрд. вольт. При переході на об'єкт потенціал внаслідок втрат знижується до 30–50 млн. вольт. Довжина іскри блискавки досягає сотень і тисяч метрів. Час існування іскри блискавки становить від 0,1 до 1 сек. Температура каналу може досягати 6000–10000°C.

Розрізняють первинний (1) і вторинний (2) прояви блискавки: 1 – прямий удар; 2 – прояв електростатичної та електромагнітної індукції.

Прямий удар може зруйнувати будівлі, споруди та обладнання в результаті миттєвого нагрівання повітря, різкого його розширення і ударної хвилі, а також може викликати заpalення горючих речовин і матеріалів.

Будинки й споруди захищаються від удару блискавки у залежності від:

- 1) призначення;
- 2) інтенсивності грозової діяльності в районі їх місцезнаходження;
- 3) від передбачуваної кількості ураження блискавкою в рік відповідно до категорій пристрою блискавкозахисту і типу зони захисту.

Інтенсивність грозової діяльності (годин на рік) визначається за спеціальною картою або на підставі даних метеостанцій. Наша область відноситься до місцевості, де спостерігається 60–80 годин на рік грозової діяльності.

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		53

Середньорічна кількість ударів блискавки на 1 км² земної поверхні в місці розташування будівель n визначається за таблицею (для Сумської області $n = 9$).

Очікувана кількість N ураження блискавкою в рік будівель і споруд, не обладнаних захистом від блискавки визначається за формулою:

$$N = (B + 6 \cdot h_x) \cdot (L + 6 \cdot h_x) \cdot n \cdot 10^{-6}, \quad (5.1)$$

де B – ширина об'єкту, який захищається, м;

L – довжина об'єкту, який захищається, м;

h_x – висота об'єкту по його бічним сторонам, м;

n – середнє число уражень блискавкою 1 кв.км. земної поверхні в рік.

Виробничі, житлові і громадські будівлі та споруди у залежності від їх призначення, а також інтенсивності грозової діяльності в районі їх місцезнаходження виділені в категорії за ступенем пристрою блискавкозахисту. Під зоною захисту блискавковідводу розуміють частину простору, всередині якого будівля або споруда захищена від прямих ударів блискавки з певним ступенем надійності.

Розрізняють такі зони захисту:

- 1) тип А – ступінь надійності 99,5 % і вище;
- 2) тип Б – ступінь надійності 95 % і вище.

На практиці для захисту будівель і споруд від прямих ударів блискавки найбільшого поширення набули стрижневі й тросові громовідводи (рис. 5.1).

Стрижневий блискавкоприймач: пруток і водогазопровідні труби.

Тросовий блискавкоприймач: сталевий оцинкований спіральний канат марки перетином 48,26 мм².

Струмовідвід: кругла сталь і сталевий канат діаметром 5–6 мм або смугова сталь із площею поперечного перерізу 24 і 48 мм².

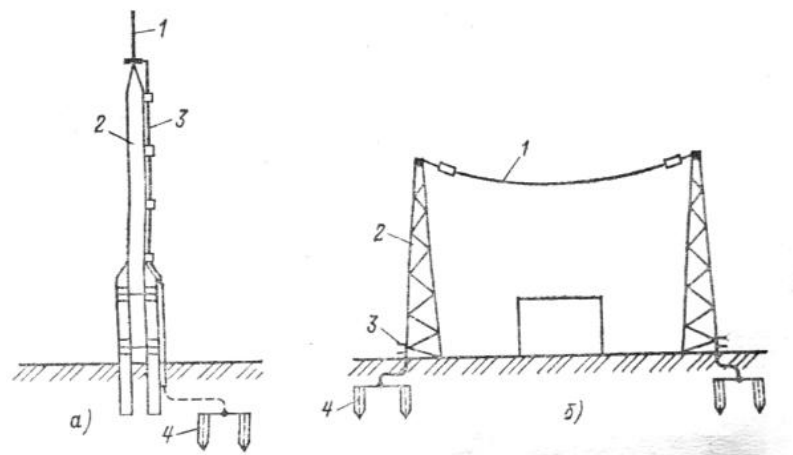


Рисунок 5.1 – Конструкція стрижневого (а) і тросового (б) блискавковідводів:

- 1 – блискавкоприймач, безпосередньо приймає прямий удар блискавки;
- 2 – несуча конструкція, призначена для установки громовідводу;
- 3 – токовідвід, що забезпечує відведення блискавки в землю;
- 4 – заземлювач, відводить струм блискавки в землю.

Несуча конструкція:

- 1) деревина – захист сільськогосподарських об'єктів (8–20 м);
- 2) залізобетон – будь-які об'єкти (8–20 м);
- 3) метал – високі, протяжні об'єкти (20–30 м).

Найбільш оптимальна висота несучих конструкцій не перевищує 45–50 м.

Залежно від особливостей конструкції, що захищається і умов його розміщення громовідводи поділяють на одиночні, подвійні і багаторазові. Багаторазові розташовуються не на одній прямій.

Тип, кількість і взаємне розташування блискавковідводів визначають геометричну форму зони захисту (рис. 5.2).

Одиночний тросовий блискавковідвід.

При відомій висоті опор $h_{оп}$ висоту сталевого троса перерізом 35–50 мм².

У точці найбільшого провисання визначають:

- при довжині прольоту $a < 120$ м – $h = h_{оп} - 2$;
- при довжині прольоту $a = 120-150$ м – $h = h_{оп} - 3$.

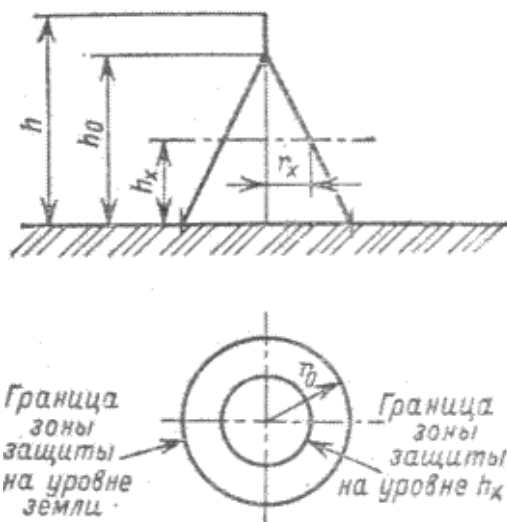


Рисунок 5.2 – Зона захисту одиночного стрижневого блискавковідводу висотою менше 150 м являє собою конус, вершина якого знаходиться на висоті h_0

Радіус зон захисту одиночних стрижневих блискавковідводів і висоту розташування h_0 мінімальної зони визначають за такими формулами:

для зони А

$$r_0 = (1,1 - 0,002 \cdot h) \cdot h;$$

$$r_x = (1,1 - 0,002 \cdot h) \cdot \left(h - \frac{h_x}{0,85} \right);$$

$$h_0 = 0,85 \cdot h$$

для зони Б

$$r_0 = 1,5 \cdot h;$$

$$r_x = 1,5 \cdot \left(h - \frac{h_x}{0,92} \right);$$

$$h_0 = 0,92 \cdot h$$

Параметри зони захисту одиночних тросових блискавковідводів визначають за формулами:

для зони А

$$r_0 = (1,35 - 0,0025 \cdot h) \cdot h;$$

$$r_x = (1,35 - 0,0025 \cdot h) \cdot \left(h - \frac{h_x}{0,85} \right);$$

$$h_0 = 0,85 \cdot h$$

для зони Б

$$r_0 = 1,7 \cdot h;$$

$$r_x = 1,7 \cdot \left(h - \frac{h_x}{0,92} \right);$$

$$h_0 = 0,92 \cdot h$$

