

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри

підпис, дата

Кваліфікаційна робота бакалавра

зі спеціальності 05050315
"Обладнання хімічних виробництв
і підприємств будівельних матеріалів"

Тема роботи: Установка розділення суміші бензол – оцтова кислота. Розробити тарілчасту ректифікаційну колону

Виконав:

студент групи ХМдн – 51п

Синиця Сергій Олексійович

підпис

Залікова книжка

№ _____

Кваліфікаційна робота бакалавра
захищена на засіданні ЕК

з оцінкою _____

" ____ " _____ 20 ____ р.

Підпис голови
(заступника голови) комісії

Керівник:

канд. техн. наук, доцент

Юхименко Микола Петрович

підпис, дата

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

Спеціальність 05050315
"Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів"

Курс 5 Група ХМдн – 51п

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Студент Синиця Сергій Олексійович

1 Тема проекту: Установка розділення суміші бензол – оцтова кислота. Розробити тарілчасту ректифікаційну колону

2 Вихідні дані: Розробити ректифікаційну колону з ситчастими тарілками для розділення суміші бензол – оцтова кислота. Продуктивність за вихідною сумішшю 5500 кг/год. Вміст ЛЛК (% мол.): у початковій суміші – 25; у дистилаті – 94; у кубовому залишку – 2,5. Абсолютний тиск у колоні становить 0,1 МПа.

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

- | | |
|--|------------|
| 1. <u>Технологічна схема установки</u> | – 1,0 арк. |
| 2. <u>Складальний кресленик ректифікаційної колони</u> | – 1,0 арк. |
| 3. <u>Складальний кресленик ситчастої тарілки</u> | – 1,0 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.; 2. Плановский А. Н. Процессы и аппараты химической и нефтяной технологии / А. Н. Плановский, П. И. Николаев. – М. : Химия, 1972. – 494 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 2019 р.

Керівник

підпис

доц. Юхименко М.П.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 59 с., 6 рис., 5 табл., 3 додатки, 21 джерело.

Графічні матеріали: технологічна схема ректифікаційної установки, складальний кресленик ректифікаційної колони, складальний кресленик ситчастої тарілки – усього 3×А1 аркуші графічної частини.

Тема кваліфікаційної роботи: «Установка розділення суміші бензол – оцтова кислота. Розробити тарілчасту ректифікаційну колону».

У роботі наведено теоретичні основи та особливості процесу розділення бінарних сумішей на окремі компоненти ректифікаційним способом, виконано технологічний розрахунок процесу, визначено основні геометричні розміри апарата та його гідравлічний опір. Також обґрунтовано вибір матеріалу для виготовлення основних деталей та вузлів проєктованого апарату, розраховано і підібрано допоміжне обладнання. Розрахунками на міцність та герметичність доведена надійність роботи ректифікаційної колони. Окремим підрозділом представлено монтаж розробленого апарату, діагностика та ремонт основних його вузлів. У розділі «Охорона праці» розглянуто сутність захисного заземлення, норми допустимого опору та порядок розрахунку.

Ключові слова: СХЕМА, БЕНЗОЛ, ОЦТОВА КИСЛОТА, РЕКТИФІКАЦІЯ, СИТЧАСТА ТАРІЛКА, МОНТАЖ, РЕМОНТ, ЗАЗЕМЛЕННЯ.

Зміст

	С.
Вступ	5
1 Технологічна частина	7
1.1 Опис технологічної схеми установки	7
1.2 Теоретичні основи процесу	8
1.3 Опис об'єкта розроблення та вибір основних конструктивних матеріалів	13
2 Технологічні розрахунки процесу і апарата	16
2.1 Технологічні розрахунки	16
2.2 Конструктивні розрахунки	22
2.3 Гідрравлічний опір апарата	28
2.4 Вибір допоміжного обладнання	32
3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність	37
3.1 Визначення товщини стінки циліндричної обичайки	37
3.2 Визначення товщини стінки еліптичного днища апарата	39
3.3 Розрахунок опори апарата	40
4 Монтаж та ремонт апарата	43
4.1 Монтаж апарата	43
4.2 Ремонт апарата	45
5 Охорона праці	47
Література	57
Додаток А – Рівноважна і робоча лінії на діаграмі х – у для бінарної суміші бензол – оцтова кислота	
Додаток Б – Крива рівноваги для бінарної суміші бензол – оцтова кислота	
Додаток В – Специфікації до складальних креслеників	

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Синиця				Лім.	Лист	Листів
Перевір.	Юхименко					4	59
Реценз.					СумДУ, ХМдн – 51п		
Н. Контр.							
Затв.	Склабінський						

**Ректифікаційна колона
для розділення суміші
бензол – оцтова кислота
Пояснювальна записка**

Вступ

Ректифікація – розділення рідких сумішей, що містять два або кілька компонентів різної питомої ваги, багаторазовим випаровуванням суміші й конденсацією пари. Рушійною силою процесу є різниця між фактичними і рівноважними концентраціями компонентів у паровій фазі, що відповідають складу рідкої фази. Для ректифікації, як правило, використовують колонні апарати, що дозволяє реалізувати багаторазовий контакт між потоками рідкої і газоподібної фаз. Також слід зазначити, що ректифікація – це один із найбільш енергоємних технологічних процесів [1].

Бензол – перший представник гомологічного ряду ароматичних вуглеводнів, молекулярна формула C_6H_6 . Безбарвна летка рідина з характерним запахом. Густина бензолу $0,88 \text{ г/см}^3$. За температури $80,1^\circ\text{C}$ кипить, а при $5,5^\circ\text{C}$ замерзає в білу кристалічну масу. Завдяки своїй симетричності є неполярною речовиною, тому не розчиняється у воді, проте утворює з нею азеотропну суміш (91,17 %) з температурою кипіння $69,25^\circ\text{C}$. Із більшістю неполярних розчинників змішується в будь-яких відношеннях, сам є добрим розчинником для багатьох органічних речовин [2].

Оцтова кислота – органічна сполука, один з базових продуктів промислового органічного синтезу із молекулярною формулою CH_3COOH . За звичайних умов є безбарвною рідиною із різким запахом. Більш ніж 65 % світового виробництва оцтової кислоти йде на виготовлення полімерів, похідних целюлози та вінілацетату. Полівінілацетат є основою багатьох ґрунтовних покриттів та фарб. Із ацетатної целюлози виготовляють ацетатне волокно. Оцтова кислота та її естери важливі промислові розчинники та екстрагенти [3].

У даному кваліфікаційному проекті процес розділення бінарної суміші бензол – оцтова кислота на окремі компоненти відбувається в ректифікаційній колоні з ситчастими тарілками.

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						5
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Сучасні ректифікаційні колони повинні володіти високою розділюючою здатністю і продуктивністю, 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 [4].

Кваліфікаційну роботу бакалавра виконано у відповідності до методичних вказівок [5]. Зміст і порядок розділів у даній пояснювальній записці також формувався відповідно цим вимогам.

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						6
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

1 Технологічна частина

1.1 Опис технологічної схеми установки

Ректифікаційна установка являє собою комплекс машин і апаратів, використовуваних для розділення двох- і більше компонентних речовин на окремі компоненти або їх групи (фракції). Технологічна схема ректифікаційної установки для розділення бінарної суміші бензол – оцтова кислота представлена на рис. 1.1.

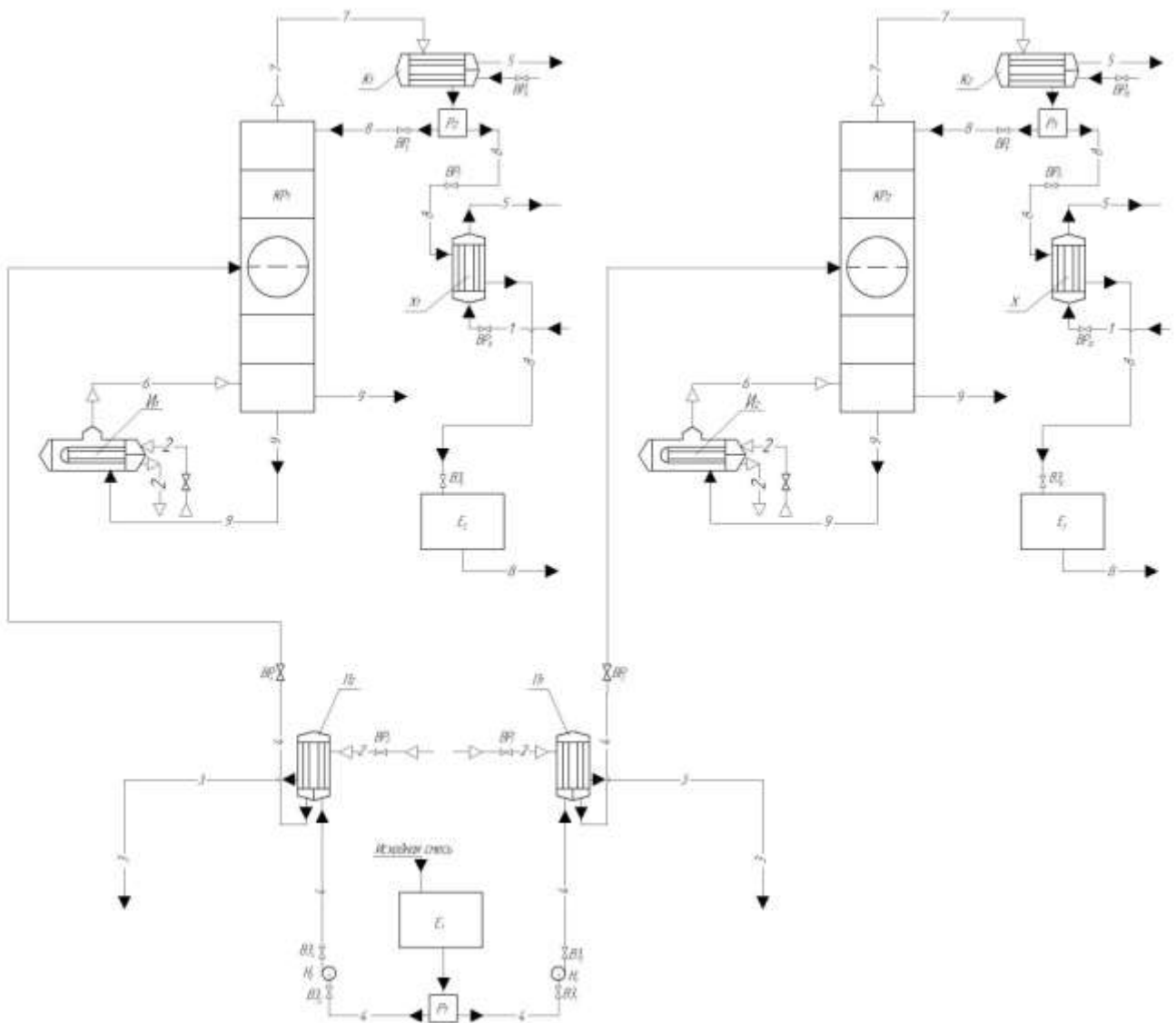


Рисунок 1.1 – Технологічна схема ректифікаційної установки для розділення суміші бензол – оцтова кислота

Принцип роботи даної установки полягає у наступному. Бінарна суміш бензол – оцтова кислота із проміжної ємності E_1 надходить на розподільник P_1 . У результаті цього ми отримуємо дві паралельні гілки потоків, що працюють за одним і тим самим принципом. Далі за допомогою насосів H_1 і H_2 суміш подається в теплообмінники-підігрівачі Π_1 і Π_2 відповідно, де нагрівається до температури кипіння зустрічним потоком гріючої пари, яка конденсується в міжтрубному просторі апарату.

Після таких процедур, уже нагріта суміш, надходить на тарілку живлення ректифікаційної колони. Колона складається із верхньої (зміцнюючої) і нижньої (вичерпної) частин. На тарілці живлення склад рідини відповідає складу вихідної суміші. У результаті розділення суміші з нижньої частини колони відводиться кубовий залишок (бензол), який спрямовується до споживача. Частина кубового залишку відбирається із нижньої частини колони і виходить у випарник, де за рахунок тепла насиченої водяної пари відбувається кипіння кубової рідини і утворення парів ВКК. Останній повертається в колону, під її нижню тарілку, у якості парового зрошення.

Таким чином, у нижній частині ректифікаційної колони відбувається процес відгону (вичерпання) ВКК зі стікаючої донизу вихідної суміші.

У верхній частині колони відбувається процес збагачення (зміцнення) пари НКК за рахунок багатоступеневого контактування на масообмінних тарілках зі стікаючою зверху униз флегмою. Пари, що відводяться з верхньої частини колони, надходять в теплообмінник-конденсатор, де конденсуються у міжтрубному просторі апарату за рахунок відведення тепла холодоагенту, що рухається у трубному просторі. Частина отриманого конденсату відбирається і у вигляді флегми повертається в колону на зрошення її верхньої частини. Дистилят додатково охолоджується в холодильнику і спрямовується до відповідного збірника у якості готового продукту із високою концентрацією НКК.

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		8

1.2 Теоретичні основи процесу

Для отримання продуктів бажаного ступеня чистоти продуктів із високими виходами служить процес ректифікації. Теоретичні основи процесу ректифікації, які наведено у цьому підрозділі, виконано на підставі аналізу літературних джерел [4, 6–9].

Ректифікація – це протитечійна взаємодія двох нерівноважних фаз – рідини і пари, що утворюється з цієї рідини. У результаті таких багаторазово повторюваних процесів висхідна в колоні парова фаза поступово збагачується низькокиплячим компонентом (НКК), і з верхньої частини колони відводяться майже чисті пари НКК. З іншого боку, стікаюча по колоні зверху вниз рідка фаза, збагачується висококиплячим компонентом (ВКК), і знизу апарата виводиться практично чистий ВКК.

Здійснюючи багаторазово контактування відповідних нерівноважних потоків парової і рідкої фаз, можна змінити їх склади бажаного ступеня.

Процес ректифікації здійснюється в протитечійних апаратах – колонах: пари протікають від низу до верху, а назустріч парам зверху вниз стікає рідина, що подається в верхній елемент колони. Між рідкою і паровою фазами виникає масообмін, внаслідок якого пари в міру їх просування по колоні збагачуються легколетким компонентом, а рідина – менш летким компонентом. В кінцевому підсумку пара, що виходить з верхньої частини колони, являє собою більш-менш чистий легколеткий компонент, конденсація якого дає готовий продукт – дистиллят, а з нижньої частини колони виходить порівняно чистий менш леткий компонент, так званий кубовий залишок, який, так само як і дистиллят, може бути кінцевим продуктом процесу.

Рідину, що надходить на зрошення колони, називають флегмою; її отримують шляхом конденсації пари, що піднімаються з верхньої частини колони, в спеціальних конденсаторах-дефлегматором або ж в апаратах повітряного охолодження.

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		9

Для утворення парів в нижній частині колони використовують гріючі пристосування або ж теплообмінники-випарники, в які і підводять необхідну кількість тепла, у більшості випадків із гріючою водяною парою.

Для проведення заданого процесу використовуємо тарілчасту ректифікаційну колону. Тарілки ректифікаційних колон можна умовно розглядати як тепломасообмінні елементи, в яких одночасно протікають теплообмінні процеси (конденсація парів і випаровування рідини), а також відбуваються масообмінні процеси між взаємодіючими паровою і рідкою фазами.

При розрахунках ректифікаційних колон кількість і склад фаз зручно виражати в молярних величинах. Отже, можна вважати, що при конденсації з пари n кмолей труднолеткого компонента випаровується з рідини n кмолей легколеткого компонента, тобто кількість фаз по всій висоті колони буде постійною. Прийmemo наступні допущення, які мало спотворюють фактичні умови протікання процесу, але значно спрощують розрахунок:

1) склад пари, що виходить з колони до дефлегматора (y_D), і склад флегми, що повертається в колону (x_D), однакові, тобто $y_D = x_D$;

2) склад пари, що піднімається з кип'ятильника в колону (y_W), дорівнює складу рідини в кубі-випарнику (x_W), тобто $y_W = x_W$;

Складемо матеріальний баланс ректифікаційної колони:

– за потоками

$$G_F = G_D + G_W; \quad (1.1)$$

– за легколетким компонентом

$$G_F \cdot x_F = G_D \cdot x_D + G_W \cdot x_W, \quad (1.2)$$

де G_F , G_D , G_W – масові або молярні витрати живлення, дистилляту і кубового залишку;

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		10

x_F , x_D , x_W – склад легколеткого компонента в живленні, дистилляті та кубовому залишку відповідно.

Для колони безперервної дії з урахуванням втрат теплоти в навколишнє середовище маємо:

прихід тепла:

- з гріючою парою в кубі випарника Q_K ;
- з вихідною сумішшю

$$Q_F = G_F \cdot I_F; \quad (1.3)$$

витрата тепла:

- з водою від сконденсованих у дефлегматорі парів Q_D ;
- з дистиллятом

$$Q_D = G_D \cdot I_D; \quad (1.4)$$

- з кубовим залишком

$$Q_W = G_W \cdot I_W; \quad (1.5)$$

- втрати в навколишнє середовище $Q_{втр}$,

де I_D , I_F , I_W – відповідно ентальпії дистилляту, вихідної суміші та кубового залишку.

Рівняння теплового балансу запишеться у вигляді:

$$Q_K + Q_F = Q_D + Q_W + Q_{втр}. \quad (1.6)$$

Підставляючи замість Q відповідні значення, вирішимо рівняння теплового балансу відносно Q_K :

$$Q_K = G_D \cdot (R+1) \cdot r_D + G_D \cdot I_D + G_W \cdot I_W - G_F \cdot I_F + Q_{втр}. \quad (1.7)$$

Визначення висоти тарілчастої колони проводиться за рівнянням:

$$H = H_T + h_1 + h_2, \quad (1.8)$$

де $H_T = (n-1) \cdot h$ – висота тарільчастої частини колони, м;

h_1 – висота сепараційної частини колони, м;

h_2 – відстань від нижньої тарілки до днища, м;

n – кількість тарілок;

h – відстань між сусідніми тарілками, м.

Визначення числа тарілок.

При наближених розрахунках застосовують теоретично менш обґрунтований, але більш простий метод визначення числа тарілок за допомогою, так званого, середнього к. п. д. тарілок:

$$n = n_T / \eta, \quad (1.9)$$

де n_T – число теоретичних тарілок. Значення η визначають за дослідними даними і знаходяться в межах 0,3–0,8.

Процеси ректифікації здійснюються періодично або безперервно при різних тисках: під атмосферним тиском, під вакуумом, а також під тиском вище атмосферного. Тиск вище атмосферного застосовують у тих випадках, коли суміш, що розділяється при атмосферному тиску перебуває в газоподібному стані; ректифікацію при зниженому тиску (під вакуумом) проводять для поділу висококиплячих сумішей.

Чергуються багаторазово повторювані процеси випаровування рідини і конденсації пари на спеціальних контактних пристроях, розміщених у вертикальному колонному апараті. На ректифікаційних установках використовують, головним чином, апарати двох типів: насадкові і тарілчасті ректифікаційні колони.

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		12

Тарілчасті колони застосовують для великих виробництв, широкого діапазону змін навантажень за парою і рідиною, і вони можуть забезпечити досить чіткий поділ сумішей. Недоліком таких апаратів є відносно високий гідравлічний опір. Але в умовах ректифікації це не має істотного значення: підвищення гідравлічного опору призводить лише до деякого збільшення тиску і, відповідно, до підвищення температури кипіння рідини в кип'ятильнику колони.

Метою розрахунку ректифікаційної колони є визначення температури процесу і кількості відведеного тепла, вибір швидкості пари, насадки (для насадкових колон) і типу тарілок (для тарілчастих колон), розмірів і гідравлічного опору апарата.

При проектуванні ректифікаційних установок, із яких пара відводиться в атмосферу, необхідно враховувати питання охорони навколишнього середовища – концентрація поглинаючого компонента в паровій фазі на виході з колони не повинна перевищувати гранично-допустимого значення. Якщо це не досягається в одному апараті, то необхідно встановлювати додаткове обладнання.

1.3 Опис об'єкта розроблення та вибір основних конструктивних матеріалів

Об'єктом дослідження є тарілчаста колона з ситчастими тарілками для розділення суміші бензол – оцтова кислота (рис. 1.2).

Конструктивно апарат складається із вертикального циліндричного корпусу, до якого приварено днище. Корпус і кришка роз'ємно з'єднані за допомогою фланцевого з'єднання. У середині корпусу встановлені контактні пристрої у вигляді ситчастих тарілок. Саме за допомогою тарілок і створюється спрямований рух фаз і багаторазова взаємодія рідини і пари.

Ректифікаційна колона складається із двох частин: верхньої – зміцнюючої (концентраційної) і нижньої – вичерпної (відгінної).

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		13

Принцип роботи апарата полягає у наступному. Пара для нижньої частини колони утворюється у випарнику. Гаряча пара з випарника повертається в колону, під нижню її тарілку, у якості парового зрошення.

Для збереження високої чистоти розділюваних компонентів, необхідно здійснювати зрошення у верхній частині колони. Внизу колони температура практично дорівнює температурі кипіння висококиплячого компонента при відповідному тиску в колоні, на верхній тарілці колони температура практично дорівнює температурі кипіння низькокиплячого компонента.

На колоні передбачені штуцери для обв'язки апарата технологічними трубопроводами та підключення до технологічної лінії. Також до корпусу колони знизу приварена опорна частина, яка лапами кріпиться до фундаменту.

У кожний отвір ситчастої тарілки надходить пара, підхоплюючи і розпилюючи рідину, яка знаходиться на тарілці. Зливання рідини відбувається не тільки через зливні пристрої, але і через парові отвори.

Основними вимогами, яким повинні відповідати хімічні апарати, є механічна надійність, довговічність, конструктивна досконалість, простота виготовлення, зручність транспортування, монтажу та експлуатації [10–12]. Тому до конструкційних матеріалів проектованої апаратури висувають наступні вимоги [10]:

1) висока корозійна стійкість матеріалів в агресивних середовищах при

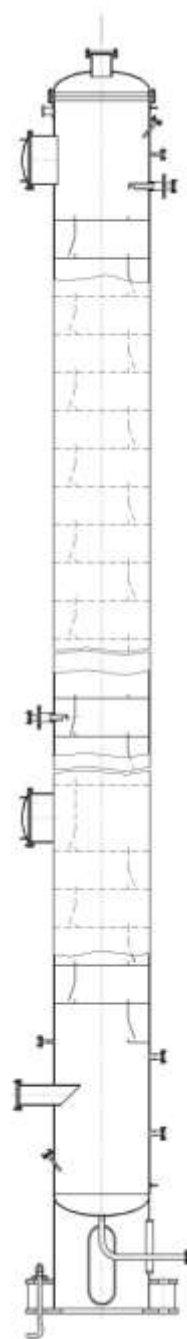


Рисунок 1.2 – Схема проектованого апарату

робочих параметрах процесу;

2) висока механічна міцність при заданих робочих тисках, температурі і додаткових навантаженнях, що виникають при гідравлічних випробуваннях та експлуатації апаратів;

3) гарна зварюваність матеріалів із забезпеченням високих механічних властивостей зварних з'єднань;

4) низька вартість і доступність матеріалів.

Головною ж вимогою для матеріалів хімічних апаратів в більшості випадків є їх корозійна стійкість, так як вона визначає довговічність хімічного обладнання.

Із огляду на всі перераховані параметри, для деталей колони, які контактують із рідиною вибираємо матеріал – сталь 12Х18Н10Т, для інших – сталь Ст 3. Матеріал опори – ВСтЗсп. Для виготовлення неметалевих прокладок для ущільнення роз'ємів з'єднань апарата використовуємо пароніт – листовий прокладковий матеріал, що виготовляється пресуванням азбокаучукової маси, яка складається із азбесту, каучуку і порошкових інгредієнтів [11].

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

2 Технологічні розрахунки процесу і апарата

2.1 Технологічні розрахунки

Оскільки продуктивність колони по бінарній суміші задана в кг/год., перерахуємо молярні частки легколеткого компонента в масові [4]:

$$\bar{x}_f = x_f \cdot \frac{M_{\text{ллк}}}{M_f}; \quad (2.1)$$

$$\bar{x}_D = x_D \cdot \frac{M_{\text{ллк}}}{M_D}; \quad (2.2)$$

$$\bar{x}_W = x_W \cdot \frac{M_{\text{ллк}}}{M_W}; \quad (2.3)$$

$$M_f = M_{\text{ллк}} \cdot x_f + M_{\text{тлк}} \cdot (1 - x_f), \text{ кг/кмоль}, \quad (2.4)$$

$$\text{де } M_f = 78,11 \cdot 0,25 + 60,05 \cdot (1 - 0,25) = 64,57 \text{ кг/кмоль}$$

$$M_D = M_{\text{ллк}} \cdot x_D + M_{\text{тлк}} \cdot (1 - x_D), \text{ кг/кмоль}$$

$$M_D = 78,11 \cdot 0,94 + 60,05 \cdot (1 - 0,94) = 77,03 \text{ кг/кмоль}$$

$$M_W = M_{\text{ллк}} \cdot x_W + M_{\text{тлк}} \cdot (1 - x_W), \text{ кг/кмоль}$$

$$M_W = 78,11 \cdot 0,025 + 60,05 \cdot (1 - 0,025) = 60,5 \text{ кг/кмоль}$$

$M_{\text{ллк}} = 78,1 \text{ кг/кмоль}$, $M_{\text{тлк}} = 60,5 \text{ кг/кмоль}$ – молярні маси легколеткого і важколеткого компонентів [13].

$$\bar{x}_f = 0,25 \cdot \frac{78,11}{64,57} = 0,302 \text{ мас. частки};$$

$$\bar{x}_D = 0,94 \cdot \frac{78,11}{77,03} = 0,953 \text{ мас. частки};$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		16

$$\bar{x}_W = 0,025 \cdot \frac{78,11}{60,5} = 0,032 \text{ мас. частки.}$$

Матеріальний баланс ректифікаційної колони складається з потоків [8]:

$$G_f = G_D + G_W. \quad (2.5)$$

За легколетким компонентом:

$$G_f \cdot \bar{x}_f = G_D \cdot \bar{x}_D + G_W \cdot \bar{x}_W. \quad (2.6)$$

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

$$G_D = G_f \cdot \frac{\bar{x}_f - \bar{x}_W}{\bar{x}_D - \bar{x}_W}; \quad (2.7)$$

$$G_W = G_f \cdot \frac{\bar{x}_D - \bar{x}_f}{\bar{x}_D - \bar{x}_W}; \quad (2.8)$$

$$G_D = 5500 \cdot \frac{0,302 - 0,032}{0,953 - 0,032} = 1612 \text{ кг/год.};$$

$$G_W = 5500 \cdot \frac{0,953 - 0,302}{0,953 - 0,032} = 3888 \text{ кг/год.}$$

Криву рівноваги (див. Додаток Б) будуюмо в координатах $y - x$.

Визначаємо мінімальне флегмове число за рівнянням [4]:

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		17

$$R_{\min} = \frac{x_D - y_f^*}{y_f^* - x_f}, \quad (2.9)$$

де $y_f^* = 0,68$ – склад пари, що перебуває в рівновазі з вихідною сумішшю; визначається за кривою рівноваги (див. Додаток Б).

$$R_{\min} = \frac{0,94 - 0,68}{0,68 - 0,25} = 0,60.$$

Визначаємо оптимальне флегмове число R при $\beta = 2$ [7]:

$$R = \beta \cdot R_{\min} = 2 \cdot 0,60 = 1,2. \quad (2.10)$$

Значення оптимального флегмового числа вирішальним чином впливає на розміри ректифікаційної колони і дозволяє розрахувати масові витрати стікаючої по колоні флегми і піднімаючихся парів [7]:

$$G_R = R \cdot G_D; \quad (2.11)$$

$$G_V = (R + 1) \cdot G_D; \quad (2.12)$$

$$G_R = 1,2 \cdot 1612 = 1934 \text{ кг/год.};$$

$$G_V = (1,2 + 1) \cdot 1612 = 3546 \text{ кг/год.}$$

Робочі лінії процесу визначаються рівняннями [8]:

– для верхньої частини колони:

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		18

$$y = \frac{R}{R+1} \cdot x + \frac{x_D}{R+1}; \quad (2.13)$$

– для нижньої частини колони:

$$y = \frac{F+R}{R+1} \cdot x - \frac{F-1}{R+1} \cdot x_W, \quad (2.14)$$

де F – число живлення, яке визначається за формулою:

$$F = \frac{G_f}{G_d} \cdot \frac{M_d}{M_f}; \quad (2.15)$$

$$F = \frac{5500}{1612} \cdot \frac{77,03}{64,57} = 4,1.$$

Далі визначаємо координати точки, у якій перетинаються робочі лінії (див. Додаток А):

$$y'_f = \frac{1,2}{1,2+1} \cdot 0,25 + \frac{0,94}{1,2+1} = 0,56;$$

$$y''_f = \frac{4,1+1,2}{1,2+1} \cdot 0,25 - \frac{4,1-1}{1,2+1} \cdot 0,025 = 0,56.$$

Отримані рівні значення свідчать про правильність виконаних розрахунків.

Середні молярні концентрації рідини визначаються за середньоарифметичними залежностями [4]:

– у верхній частині колони:

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		19

$$x'_{cp} = \frac{(x_f + x_D)}{2}; \quad (2.16)$$

– у нижній частині колони:

$$x''_{cp} = \frac{(x_f + x_W)}{2}; \quad (2.17)$$

$$x'_{cp} = \frac{(0,25 + 0,94)}{2} \approx 0,60;$$

$$x''_{cp} = \frac{(0,25 + 0,025)}{2} \approx 0,14.$$

Середні молярні концентрації парової фази визначаються за рівняннями робочих ліній [8]:

– у верхній частині колони:

$$y'_{cp} = \frac{R}{R+1} \cdot x'_{cp} + \frac{x_D}{R+1}; \quad (2.18)$$

– у нижній частині колони:

$$y''_{cp} = \frac{F+R}{R+1} \cdot x''_{cp} - \frac{F-1}{R+1} \cdot x_W; \quad (2.19)$$

$$y'_{cp} = \frac{1,2}{1,2+1} \cdot 0,60 + \frac{0,94}{1,2+1} = 0,75;$$

$$y''_{cp} = \frac{4,1+1,2}{1,2+1} \cdot 0,14 - \frac{4,1-1}{1,2+1} \cdot 0,025 = 0,30.$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		20

Середня молярна маса парів розраховується за формулами [4]:

– у верхній частині колони:

$$M'_{cp} = y'_{cp} \cdot M_{ллк} + (1 - y'_{cp}) \cdot M_{тлк}; \quad (2.20)$$

– у нижній частині колони:

$$M''_{cp} = y''_{cp} \cdot M_{ллк} + (1 - y''_{cp}) \cdot M_{тлк}; \quad (2.21)$$

$$M'_{cp} = 0,75 \cdot 78,1 + (1 - 0,75) \cdot 60,5 = 73,7 \text{ кг/кмоль};$$

$$M''_{cp} = 0,30 \cdot 78,1 + (1 - 0,30) \cdot 60,5 = 65,8 \text{ кг/кмоль}.$$

Середні густини парів визначаються за рівнянням Клайперона:

– у верхній частині колони [4]:

$$\rho'_y = \frac{M'_{cp} \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + t'_y)}; \quad (2.22)$$

– у нижній частині колони:

$$\rho''_y = \frac{M''_{cp} \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + t''_y)}; \quad (2.23)$$

де t'_y – середня температура пари у верхній частині колони;

t''_y – середня температура пари в нижній частині колони.

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		21

$$\rho'_y = \frac{73,7 \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + 90)} = 2,47 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho''_y = \frac{65,8 \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + 110)} = 2,10 \text{ кг/м}^3.$$

Середні густини рідини знаходяться за правилом адитивності [8]:

– у верхній частині колони:

$$\rho'_x = x'_{cp} \cdot \rho'_{лк} + (1 - x'_{cp}) \cdot \rho'_{тлк}; \quad (2.24)$$

– у нижній частині колони:

$$\rho''_x = x''_{cp} \cdot \rho''_{лк} + (1 - x''_{cp}) \cdot \rho''_{тлк}, \quad (2.25)$$

де $\rho'_{лк}$, $\rho''_{лк}$, $\rho'_{тлк}$, $\rho''_{тлк}$ – густини рідини легколеткого і важколеткого компонентів при температурах t'_x , t''_x .

$$\rho'_x = 0,60 \cdot 810 + (1 - 0,60) \cdot 975 = 876 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho''_x = 0,14 \cdot 780 + (1 - 0,14) \cdot 945 = 922 \text{ кг/м}^3.$$

2.2 Конструктивні розрахунки

Граничну і робочу швидкості парів у верхній і нижній частинах колони знаходимо за формулами [14]:

$$\omega' = 0,8 \cdot \omega_{пр}, \quad (2.28)$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		22

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

$$\omega_{np} = c \cdot \sqrt{\frac{\rho_p - \rho_n}{\rho_n}}, \quad (2.29)$$

де c – коефіцієнт, який обирається у залежності від конструкції тарілок і відстані між ними.

При відстані між тарілками $H=0,4$ м – $c = 0,035$ [4].

Гранична швидкість парів:

– для верхньої частини колони

$$\omega'_{np} = 0,035 \cdot \sqrt{\frac{876 - 2,47}{2,47}} = 0,66 \text{ м/с};$$

– для нижньої частини колони

$$\omega''_{np} = 0,035 \cdot \sqrt{\frac{922 - 2,10}{2,10}} = 0,73 \text{ м/с}.$$

Робоча швидкість парів:

– для верхньої частини колони

$$\omega' = 0,8 \cdot 0,66 = 0,53 \text{ м/с};$$

– для нижньої частини колони

$$\omega'' = 0,8 \cdot 0,73 = 0,58 \text{ м/с}.$$

Відношення масових витрат рідкої і парової фаз дорівнює [8]:

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		23

– у верхній частині колони

$$\left(\frac{L}{G}\right)' = \frac{G_R}{G_V} = \frac{R}{R+1}; \quad (2.30)$$

– у нижній частині колони

$$\left(\frac{L}{G}\right)'' = \frac{G_R + G_f}{G_V} = \frac{R+F}{R+1}; \quad (2.31)$$

$$\left(\frac{L}{G}\right)' = \frac{1,2}{1,2+1} = 0,55;$$

$$\left(\frac{L}{G}\right)'' = \frac{1,2+4,1}{1,2+1} = 2,4.$$

Об'ємна витрата парів дорівнює:

– у верхній частині колони

$$V' = \frac{G_V}{\rho_y'}; \quad (2.32)$$

– у нижній частині колони

$$V'' = \frac{G_V}{\rho_y''}; \quad (2.33)$$

$$V' = \frac{3546}{3600 \cdot 2,47} = 0,40 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$V'' = \frac{3546}{3600 \cdot 2,10} = 0,47 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Діаметр колони розраховується за формулою [14]:

$$D = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot \omega}}; \quad (2.34)$$

– для верхньої частини колони

$$D' = \sqrt{\frac{0,40}{0,785 \cdot 0,53}} = 0,98 \text{ м};$$

– для нижньої частини колони

$$D'' = \sqrt{\frac{0,47}{0,785 \cdot 0,58}} = 1,0 \text{ м}.$$

Приймаємо стандартизований діаметр колони $D_k = 1000 \text{ мм}$.

Визначаємо дійсні робочі швидкості пари в колоні:

$$w_g = 0,66 \cdot \left(\frac{0,98}{1}\right)^2 = 0,63 \text{ м/с};$$

$$w_n = 0,73 \cdot \left(\frac{1}{1}\right)^2 = 0,73 \text{ м/с}.$$

У результаті побудови, так званих сходинок, між робочою і рівноважною лініями – число теоретичних тарілок становить:

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		25

– в концентраційній частині колони $N'_m = 6$ шт.;

– у відгінній частині колони $N''_m = 3$ шт.

Число дійсних тарілок можна визначити за допомогою, так званого, середнього ККД тарілки [9]:

$$N_d = N_T / \eta, \quad (2.35)$$

де η – ККД тарілки.

За даними [8] ККД ситчастих тарілок знаходиться у межах 0,38–0,4.

Для подальших розрахунків задаємося усередненим значенням $\eta = 0,39$.

У такому разі, число практичних тарілок становить:

– у верхній частині колони

$$N_d = 6 / 0,39 \approx 16 \text{ шт.};$$

– у нижній частині колони

$$N_d = 3 / 0,39 \approx 8 \text{ шт.}$$

Висота тарільчастої частини колони розраховується за рівнянням [14]:

$$H_T = (N_d - 1) \cdot H, \quad (2.37)$$

де N_d – загальне число тарілок;

H – відстань між тарілками, м.

$$H_T = (16 + 8 - 1) \cdot 0,4 = 9,2 \text{ мм.}$$

Діаметр патрубку визначається за формулою [14]:

$$d = \sqrt{\frac{G}{\rho \cdot 3600 \cdot 0,785 \cdot \omega}}, \quad (2.38)$$

де ω – швидкість пари або рідини, м/с.

Швидкість пари приймається в межах 10–15 м/с, швидкість рідини 0,5–2 м/с [14].

Діаметр патрубка для входу парової суміші дорівнює:

$$d_{cm} = \sqrt{\frac{0,985}{2,10 \cdot 0,785 \cdot 15}} = 0,200 \text{ м.}$$

Приймаємо діаметр патрубка $d_{cm}=200$ мм.

Діаметр патрубка для виходу парів з верху колони:

$$d_v = \sqrt{\frac{0,985}{2,47 \cdot 0,785 \cdot 15}} = 0,184 \text{ м.}$$

Також приймаємо діаметр патрубка $d_v=200$ мм.

Діаметр патрубка для входу флегми:

$$d_R = \sqrt{\frac{0,537}{876 \cdot 0,785 \cdot 0,5}} = 0,041 \text{ м.}$$

Приймаємо діаметр патрубка $d_R=50$ мм.

Діаметр патрубка для входу вихідної суміші:

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		27

$$d_f = \sqrt{\frac{5500}{3600 \cdot 920 \cdot 0,785 \cdot 0,6}} = 0,059 \text{ м.}$$

Приймаємо діаметр патрубку $d_f=60$ мм.

Діаметр патрубку для виходу кубового залишку:

$$d_w = \sqrt{\frac{1,08}{922 \cdot 0,785 \cdot 0,5}} = 0,055 \text{ м.}$$

Приймаємо діаметр патрубку $d_w=60$ мм.

2.3 Гідравлічний опір апарата

Відгонна частина колони є більш навантаженою за рідиною. Таким чином, гідравлічний розрахунок виконуємо для ситчастої тарілки, яка розташована у нижній частині колони. Гідравлічний розрахунок проводимо у відповідності до методики [15].

Гідравлічний опір ситчастої тарілки:

$$\Delta p = \Delta p_{\text{сух}} + \Delta p_{\sigma} + \Delta p_{\text{пр}}, \quad (2.39)$$

де $\Delta p_{\text{сух}}$ – гідравлічний опір сухої тарілки, Па;

Δp_{σ} – опір, обумовлений силами поверхневого натягу, Па;

$\Delta p_{\text{пр}}$ – опір парорідинного шару, Па.

Гідравлічний опір сухої тарілки становить [15]:

$$\Delta p_{\text{сух}} = \xi \cdot \frac{\rho_n \cdot \omega_{\text{отв}}^2}{2}, \quad (2.40)$$

де $\xi = 1,82$ – коефіцієнт опору незрошуваних ситчастих тарілок з вільним перетином 5–10 % [15];

$\omega_{отв}$ – швидкість пари в отворах тарілки, м/с.

Швидкість пари в отворах тарілки:

$$\omega_{отв} = \frac{w}{F}, \quad (2.41)$$

де w – дійсна робоча швидкість парів, м/с;

$F = 5,14$ % – вільний перетин тарілки [15].

$$\omega_{отв} = \frac{0,73}{0,0514} = 14,2 \text{ м/с};$$

$$\Delta p_{сyx} = 1,82 \cdot \frac{2,10 \cdot 14,2^2}{2} = 385 \text{ Па.}$$

Опір, обумовлений силами поверхневого натягу:

$$\Delta p_{\sigma} = \frac{4 \cdot \sigma}{d_0}, \quad (2.42)$$

де $\sigma = 18,5 \cdot 10^{-3}$ Н/м – поверхневий натяг рідини при середній температурі в нижній частині колони;

$d_0 = 0,004$ м – діаметр отворів тарілки.

$$\Delta p_{\sigma} = \frac{4 \cdot 18,5 \cdot 10^{-3}}{0,004} = 18,5 \text{ Па.}$$

Опір парорідинного шару на тарілці:

$$\Delta p_{np} = 1,3 \cdot h_{np} \cdot \rho_{np} \cdot g \cdot k, \quad (2.43)$$

де h_{np} – висота парорідинного шару, м;

$k \approx 0,5$ – коефіцієнт відношення густини парорідинного шару (піни) до густини рідини [15].

$$h_{np} = h_n + \Delta h, \quad (2.44)$$

де h_n – висота зливної перегородки, м;

Δh – висота шару над зливною перегородкою, м.

$$\Delta h = \left(\frac{V_p}{1,85 \cdot \Pi \cdot k} \right)^{\frac{2}{3}}, \quad (2.45)$$

де V_p – об'ємна витрата рідини, м³/с,

Π – периметр зливної перегородки, м;

$$\Delta h = \left(\frac{1,66 \cdot 10^{-3}}{1,85 \cdot 0,73 \cdot 0,5} \right)^{\frac{2}{3}} = 0,018 \text{ м};$$

$$h_{np} = 0,04 + 0,018 = 0,058 \text{ м};$$

$$\Delta p_{np} = 1,3 \cdot 0,058 \cdot 922 \cdot 9,81 \cdot 0,5 = 341 \text{ Па};$$

$$\Delta p = 385 + 18,5 + 341 = 744,5 \text{ Па}.$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		30

Далі перевіряємо умову нормальної роботи тарілок:

$$H_m > 1,8 \cdot \frac{\Delta p}{\rho_p \cdot g}; \quad (2.46)$$

$$H_m > 1,8 \cdot \frac{744,5}{922 \cdot 9,81} = 0,148 \text{ м};$$

$$0,4 \text{ м} > 0,148 \text{ м}.$$

Це підтверджує правильність прийнятої раніше відстані між тарілками
 $H_T = 400 \text{ мм}$.

Загальний гідравлічний опір ректифікаційної колони становить:

$$\Delta p_k = N_o \cdot \Delta p; \quad (2.47)$$

$$\Delta p_k = 24 \cdot 744,5 = 17868 \text{ Па}.$$

І нарешті, перевіряємо рівномірність роботи отворів тарілки:

$$w_o = 0,67 \cdot \sqrt{\frac{g \cdot \rho_p \cdot h_{np}}{\xi \cdot \rho_n}}; \quad (2.48)$$

$$w_o = 0,67 \cdot \sqrt{\frac{9,81 \cdot 922 \cdot 0,058}{1,82 \cdot 2,10}} = 7,85 \text{ м/с};$$

$14,2 \text{ м/с} > 7,85 \text{ м/с}$ – отже, тарілки працюватимуть усіма отворами.

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		31

2.4 Вибір допоміжного обладнання

Розрахунок і вибір насосу для подачі бінарної суміші у колону [14]. Для всмоктуючого і напірного трубопроводів приймаємо однакову швидкість руху рідини, яка дорівнює $w = 2$ м/с.

Діаметр трубопроводу визначаємо за рівнянням:

$$d = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot w}}, \quad (2.49)$$

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

$$V = \frac{5500}{3600 \cdot 920} = 1,66 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с};$$

$$d = \sqrt{\frac{1,66 \cdot 10^{-3}}{0,785 \cdot 2}} = 0,032 \text{ м.}$$

Приймаємо стандартизований діаметр трубопроводу 32 мм.

Визначаємо критерій Рейнольдса для рідини у трубопроводі:

$$\text{Re} = \frac{w \cdot d \cdot \rho_p}{\mu}; \quad (2.50)$$

$$\text{Re} = \frac{2 \cdot 0,032 \cdot 920}{3,5 \cdot 10^{-4}} = 168229 \text{ – режим турбулентний.}$$

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

$$e = \frac{\Delta}{d} = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{0,032} = 0,00625;$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		32

$$\frac{1}{e} = 160; 560 \cdot \frac{1}{e} = 89600; 10 \cdot \frac{1}{e} = 1600; \text{Re} > 560 \cdot \frac{1}{e}.$$

Для зони, що є автомодельною по відношенню до Re:

$$\lambda = 0,11 \cdot e^{0,25}; \quad (2.51)$$

$$\lambda = 0,11 \cdot 0,00625^{0,25} = 0,031.$$

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 $\xi_4 = 1$.

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

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

Втрату напору у всмоктуючій лінії знаходимо за рівнянням:

$$h_{П.ВС.} = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d_E} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g}, \quad (2.52)$$

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

$$h_{П.ВС.} = \left(0,031 \cdot \frac{3}{0,032} + 2,7 \right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 1,14 \text{ м.}$$

Втрата напору в напірній лінії:

$$h_{П.НАП.} = \left(0,031 \cdot \frac{6}{0,032} + 8 \right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 2,82 \text{ м.}$$

Загальні втрати напору:

$$h_{П} = h_{П.ВС.} + h_{П.НАП.}; \quad (2.53)$$

$$h_{П} = 1,14 + 2,82 = 3,96 \text{ м.}$$

Повний напір насосу знаходимо за рівнянням:

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho_p \cdot g} + H_{Г} + h_{П}, \quad (2.54)$$

де $(P_2 - P_1)$ – різниця тисків у апараті та в ємності, із якої подається рідина, МПа.

$H_{Г}$ – геометрична висота піднімання рідини, м.

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		34

У нашому випадку, враховуючи, що тиск у колоні атмосферний,
 $(P_2 - P_1) = 0$.

Таким чином, отримаємо:

$$H = 5 + 3,96 = 8,96 \text{ м.}$$

Корисну потужність насоса визначаємо за рівнянням:

$$N_{\Pi} = \rho_p \cdot g \cdot V \cdot H; \quad (2.55)$$

$$N_{\Pi} = 920 \cdot 9,81 \cdot 1,66 \cdot 10^{-3} \cdot 8,96 = 134 \text{ Вт.}$$

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

$$N = \frac{N_{\Pi}}{\eta_{\text{пер}} \cdot \eta_n}, \quad (2.56)$$

де $\eta_n = 0,6$ – коефіцієнти корисної дії насоса;

$\eta_{\text{пер}} = 1$ – коефіцієнти корисної дії передачі від електродвигуна до насоса.

$$N = \frac{134}{1 \cdot 0,6} = 223 \text{ Вт.}$$

Вибираємо відцентровий насос марки НМШ 8-25-8,5/25-5 із наступними параметрами: об'ємна подача насоса $8,5 \text{ м}^3/\text{год.}$; напір насоса 25 м ; потужність, яку потребує насосом $7,5 \text{ кВт}$; частота обертів 1450 об/хв .

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		35

Розрахунок і вибір ємності для зберігання бінарної суміші [9].
Ємність для зберігання вихідної суміші розраховуємо, виходячи з 6–8 годинного резерву робочого часу, а також з урахуванням коефіцієнту заповнення $\psi = 0,8 - 0,85$. Приймаємо $\psi = 0,82$.

Розрахунковий об'єм ємності:

$$V_{EP} = \frac{G \cdot \tau}{\psi \cdot \rho}; \quad (2.57)$$

$$V_{EP} = \frac{5500 \cdot 7}{0,85 \cdot 920} = 49,2 \text{ м}^3.$$

Для зберігання вихідної суміші встановлюємо дві окремі ємності.

Задаємося стандартизованим діаметром ємності $D = 3,6$ м, тоді її висота буде становити:

$$H = \frac{V_{EP}}{0,785 \cdot D^2}; \quad (2.58)$$

$$H = \frac{49,2}{0,785 \cdot 3,6^2} = 4,8 \text{ м}.$$

Приймаємо висоту ємності 5 м.

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		36

3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність

3.1 Визначення товщини стінки циліндричної обичайки

Для подальших розрахунків приймаємо робочу температуру стінки $t=100^{\circ}\text{C}$ та робочий тиск в апараті $P = 0,1$ МПа.

Розрахункова схема обичайки корпусу, навантаженого внутрішнім тиском, наведена на рис. 3.1.

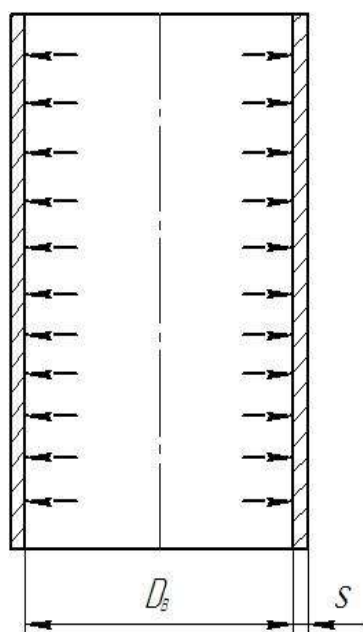


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема обичайки корпусу

Розрахунковий тиск для апаратів з робочим надлишковим тиском $P > 0,07$ МПа відповідно до рекомендацій наведених у [16] 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 [16] складе:

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

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		37

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

За [16]: $[\sigma]_{20}=160$ МПа; $[\sigma]=152$ МПа.

$$P_{np} = \max \left\{ \frac{1,5 \cdot 0,25 \cdot 140 / 132}{0,25 + 0,3} \right\} = \max \left\{ \begin{matrix} 0,43 \\ 0,55 \end{matrix} \right\} = 0,55 \text{ МПа.}$$

Розрахункове значення для модуля поздовжньої пружності для матеріалу корпусу [16]: $E_{20}=2 \cdot 10^5$ МПа; $E=2 \cdot 10^5$ МПа.

Коефіцієнт міцності зварного шва складе $\phi = 0,9$ [16].

Товщина стінки циліндричної обичайки, навантаженої внутрішнім надлишковим тиском:

$$S_u = \frac{P_{np} \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi_p - P_{np}}; \quad (3.3)$$

$$S_u = \frac{0,55 \cdot 1}{2 \cdot 152 \cdot 0,9 - 0,55} = 2,01 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Виконавча товщина стінки:

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

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

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

C_1 – прибавка на корозію і ерозію, при проникності $\Pi = 0,5$ мм/рік та терміні служби колони $\tau = 10$ років складе:

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		38

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

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

C_3 – технологічна прибавка, яка враховується у 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 їх сума перевищує 5 % від розрахункової товщини обичайки.

Таким чином, отримаємо:

$$C = 5 + 0 + 0 = 5 \text{ мм};$$

$$S = 2,01 \cdot 10^{-3} + 5 \cdot 10^{-3} = 7,01 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Приймаємо $S = 8 \text{ мм}$.

3.1 Визначення товщини стінки еліптичного днища апарата

Розрахункова схема еліптичного днища представлена на рис. 3.2.

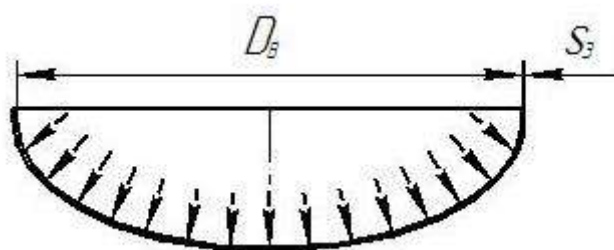


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема еліптичного днища апарата

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

$$S_e = \frac{P_p \cdot R}{2[\sigma] \cdot \phi - 0,5 \cdot P_p}, \quad (3.6)$$

де R – радіус кривизни в вершині днища.

Для еліптичних днищ $R = D$.

$$S_e = \frac{0,55 \cdot 1}{2 \cdot 152 \cdot 0,9 - 0,5 \cdot 0,55} = 2,01 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

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

$$C = 5 + 0 + 0 = 5 \text{ мм};$$

$$S = 2,01 \cdot 10^{-3} + 5 \cdot 10^{-3} = 7,01 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Також приймаємо $S = 8 \text{ мм}$.

3.3 Розрахунок опори апарата

Визначимо навантаження порожнього апарату на опору за рівнянням [16]:

$$Q_{an} = M_{an} \cdot g, \quad (3.7)$$

де M_{an} – маса порожнього апарату;

$$M_{an} = M_k + M_{дн} + M_{кр} + M_t + M_{фл}, \quad (3.8)$$

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

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		40

Маса корпусу ректифікаційної колони дорівнює:

$$M_k = H \cdot \pi \cdot D \cdot s \cdot \rho, \quad (3.9)$$

де ρ – щільність сталі 12Х18Н10Т; $\rho = 7900$ кг/м³;

$$M_k = 9,2 \cdot 3,14 \cdot 1 \cdot 0,008 \cdot 7900 = 1826 \text{ кг.}$$

Маса днища та кришки апарата:

$$M_{\text{дн}} = M_{\text{кр}} = F \cdot s \cdot \rho, \quad (3.10)$$

де $F = 1,16$ м² – площа внутрішньої поверхні еліптичного днища;

$$M_{\text{дн}} = M_{\text{кр}} = 1,16 \cdot 0,008 \cdot 7900 = 73,3 \text{ кг.}$$

Маса ситчастих тарілок:

$$M_m = N \cdot m_m, \quad (3.11)$$

де $m_m = 41,5$ кг – маса однієї тарілки.

$$M_m = 24 \cdot 41,5 = 996 \text{ кг.}$$

Прийmemo масу фланців і арматури рівною $M_{\text{фл}} = 1000$ кг.

Таким чином, маса порожнього апарату дорівнює:

$$M_{\text{ан}} = 1826 + 2 \cdot 73,3 + 996 + 1000 = 3969 \text{ кг;}$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		41

$$Q_{an} = 3969 \cdot 9,81 = 38936 \text{ Н.}$$

Навантаження апарату на опору під час гідравлічних випробувань:

$$Q_{an}^e = (M_{an} + M_e) \cdot g, \quad (3.12)$$

де M_e – маса води, яка заливається в колону, кг.

$$M_e = V \cdot \rho_e, \quad (3.13)$$

де V – внутрішній об'єм циліндричної колони, м^3 .

$$V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H; \quad (3.14)$$

$$V = \frac{3,14 \cdot 1^2}{4} \cdot 9,2 = 7,2 \text{ м}^3;$$

$$M_e = 7,2 \cdot 1000 = 7200 \text{ кг};$$

$$Q_{an}^e = (3969 + 7200) \cdot 9,81 = 109568 \text{ Н.}$$

Таким чином, за [16] вибираємо юбочну опору третього типу виконання:
3-1000-25-12,5-350.

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		42

4 Монтаж та ремонт апарата

4.1 Монтаж апарата [17, 18]

Монтажні роботи є складовою частиною загального процесу будівництва підприємства або одного із його об'єктів. Монтаж обладнання проводиться як при будівництві нових об'єктів, так і при реконструкції та ремонті діючих. В останніх двох випадках монтажу передуює демонтаж обладнання.

Монтажні майданчики оснащують необхідними вантажопідйомними механізмами і пристосуваннями. Це найчастіше канати, троси, стропи, блоки й поліспасти, різні талі і лебідки, а також вантажопідйомні машини і механізми. Такелажні засоби повинні бути простими у виготовленні, зручними для транспортування, монтажу, перестановки і демонтажу і, звичайно ж, безпечними в роботі. Монтаж важкого обладнання на фундамент можна здійснювати в повністю зібраному вигляді або великими блоками шляхом нарощування або підрощування.

Тарілчаста ректифікаційна колона поставляється на монтажний майданчик у максимально готовому вигляді (якщо перевезення повністю зібраного апарата є неможливим, його поставляють максимально великими блоками). Завод-виготовлювач до відправки на монтажну ділянку повинен зробити контрольну збірку апарату, нанести необхідні складальні осі та контрольні риси.

Монтаж колонного апарату проводиться безпосередньо за монтажні штуцери, які розташовані вище центру ваги, за допомогою вантажопідйомних механізмів (стрілові крани, щогли тощо). Стропування апарату проводиться за верхню частину, тому для посилення в горизонтальному положенні його обв'язують кутками або швелерами.

Ступінь складності встановлення колонного апарату в проектне положення визначається його габаритними розмірами (висотою і діаметром), масою, а також висотою фундаменту.

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		43

Застосовують два основних способи підйому: ковзання і поворот навколо шарніру. Проектований колонний апарат має велику масу і його підйом забезпечується двома щоглами, що дозволяє легко встановлювати апарат на фундамент. Перед підйомом апарат розташовують якомога ближче до фундаменту. Щогли встановлюють по обидва боки від фундаменту вертикально або злегка похило. Необхідність нахилу щогл визначається довжиною самого апарату, його розташуванням по відношенню до фундаменту, розташуванням і висотою щогл, прийнятою схемою стропування.

Переконавшись у надійності такелажного оснащення і перевіривши роботу всіх механізмів, починають підйом апарату. До опорної частини апарату прикріплюють один або два відтяжних троси, вільні кінці яких намотують на барабани лебідок і апарат починають пересувати. При цьому його опорна частина ковзає по заздалегідь підготовленій підставці – на візках або металевих листах. Після відриву від землі апарат встановлюють вертикально, потім піднімають трохи вище фундаменту і плавно опускають на анкерні болти. Далі контролюють відхилення апарату від вертикальності і затягують анкерні болти.

Колонні апарати вивіряють на фундаменті особливо ретельно, оскільки навіть незначне його відхилення від строго вертикального положення може призвести до помітної втрати стійкості і порушення нормальної роботи внутрішніх контактних пристроїв (у нашому випадку клапанних тарілок). Для тарілчастої ректифікаційної колони максимально допустиме відхилення від вертикальності становить 0,1 % висоти апарату, але не більше 15 мм.

Кріплення апарату до фундаменту відбувається за допомогою фундаментних болтів, а також підлягає підливу бетонною сумішшю.

Після встановлення апарату на фундамент перевіряють, чи відповідає його розташування у просторі проектному плану, а відхилення від вертикальності або горизонтальності знаходиться в допустимих межах. Допуск на точність монтажу зазвичай встановлюють на підставі паспорта обладнання та вимогам монтажних інструкцій. Перш за все, доводять до проектної висоти

позначку опорної частини обладнання. Фактичний рівень опорної поверхні, як і горизонтальність апарату, визначають по нівеліру.

При підготовці колонного апарату до ремонту тиск усередині колони доводять до атмосферного, видаляють із апарату вуглеводні, пропарюють колону водяною парою. Водяна пара витісняє залишки токсичних сполук, щоб концентрація шкідливих і горючих речовин не перевищувала гранично допустимих концентрацій (ГДК). Після пропарювання колону промивають водою. У деяких випадках пропарку і промивку чередують і проводять по кілька разів.

Промивання колони водою сприяє також більш швидкому її охолодженню. Не можна приступати до ремонтних робіт, якщо температура промивної води перевищує 50°C. Пропарену і промиту колону від'єднують від усіх апаратів і комунікацій глухими заглушками, що встановлюються на фланцевих з'єднаннях штуцерів. Установку кожної заглушки і подальше її зняття реєструють в спеціальному журналі.

4.2 Ремонт апарата [18, 19]

Ремонт апарата починають із його відкривання, яке необхідно проводити, суворо дотримуючись наступних правил. Спочатку відкривають верхній люк, причому перед цим в апарат протягом деякого часу подають водяну пару, щоб уникнути можливого підсосу повітря, у результаті якого може утворитися вибухонебезпечна суміш. Далі послідовно (згори вниз) відкривають інші люки. Категорично забороняється одночасно відкривати верхній і нижній люки. Не можна також відкривати спочатку нижній, а потім верхній люк, оскільки внаслідок різниці температур відбувається сильний приток повітря в колону, що може призвести до утворення вибухонебезпечної суміші.

Після відкривання люків колону деякий час провітрюється. Після закінчення провітрювання потрібно провести аналіз проб повітря, взятих із

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		45

колони на різних висотних відмітках. До робіт всередині колони дозволяється приступати тільки тоді, коли аналіз покаже, що концентрація шкідливих газів у ній не перевищує гранично допустимих санітарних норм.

Далі необхідно виконати ретельний зовнішній і внутрішній огляди корпусу колони для виявлення можливих дефектів, які утворилися при експлуатації апарату (механічні пошкодження, тріщини, корозія тощо). За необхідності огляду всієї поверхні корпусу розбирають внутрішні пристрої або їх частину. Наприклад, для доступу до тарілок, на рівні яких люки відсутні, розбирають проходи на тарілках, що лежать вище.

Суцільнозварні колонні апарати при ремонті повністю не демонтуються. Демонтуються лише внутрішні пристрої колони.

За характером виявленого дефекту встановлюють спосіб ремонту корпусу. Нецільні зварні шви вирубують, зачищають і заварюють відповідним електродом. Вельми важливо правильне перекривання нового і старого швів.

Зношені штуцери і люки вирізають і замінюють новими із обов'язковим встановленням зміцнювальних кілець. Бажано, щоб кільця нових штуцерів мали дещо більший діаметр, аніж старі: це дозволяє приварювати їх в новому місці.

Під час кожного ремонту вимірюють фактичну товщину стінки корпусу експлуатованого апарату. Найбільш зношені ділянки корпусу колони вирізають, а на їх місце вставляють нову ділянку. Зварювання проводять у стик. Вирізання великих ділянок корпусу може призвести до послаблення перерізу і порушення стійкості. Тому до вирізання дефектної ділянки цю ділянку зміцнюють спеціальними стійками.

Дуже часто, зважаючи на трудомісткість таких замін ділянок корпусу, визнають доцільним повну заміну корпусу колони. Демонтаж зношеної колони виконують у зворотному порядку (порівнюючи з монтажем).

Після ремонту ректифікаційну колону піддають гідравлічним або пневматичним випробуванням.

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		46

5 Охорона праці

Сутність захисного заземлення, норми допустимого опору, порядок розрахунку.

Захисним заземленням називається навмисне електричне приєднання частин електроустановки до заземлювального пристрою з метою забезпечення електробезпеки. Заземлюють металеві неструмовідні частини обладнання, або як їх ще називають – «відкриті провідні частини».

ГОСТ 30331.2-95 (МЭК 364-3-93) визначає для електроустановок будівель наступні системи захисних заземлень: IT, TT, TN. У вітчизняній літературі систему заземлення типу IT називають захисним заземленням, а систему заземлення типу TN – зануленням.

Призначення захисного заземлення – усунути небезпеку ураження струмом в разі дотику до корпусу та інших металевих неструмовідних частин, які опинилися під напругою. Захисна дія заземлення полягає в зниженні до безпечної величини напруги дотику та крокової напруги. Ця дія досягається шляхом зменшення потенціалу заземленого обладнання (за рахунок зменшення опору заземлення), а також шляхом зрівнювання потенціалу основи, на якій перебуває людина, і потенціалу заземленого обладнання (за рахунок підняття потенціалу основи до величини близької до потенціалу обладнання).

Захисне заземлення – найбільш поширений, простий і водночас вельми ефективний спосіб захисту від ураження електричним струмом в разі появи напруги на металевих неструмовідних частинах обладнання.

Захисне заземлення застосовується:

- в мережах до 1000В змінного струму – трифазних трипровідних з ізолюваною нейтраллю (IT), однофазних двопровідних ізолюваних від землі;
- в мережах постійного струму – двопровідних з ізолюваною середньою точкою обмоток джерела струму;

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		47

- в мережах понад 1000В змінного та постійного струму – за любого режиму нейтралі або середньої точки обмоток джерела живлення.

Заземлення названих електроустановок, за вимогами ПУЕ, виконують:

1) за напруги 380В і більше змінного струму та 440В і більше постійного струму – в усіх електроустановках;

2) за номінальних напруг понад 42 В, але нижче 380 В змінного струму - в виробничих приміщеннях з підвищеною небезпекою, особливо небезпечних, зовнішніх установках, а також в усіх приміщеннях житлових, громадських, адміністративних, фізкультурно-оздоровчих, спортивних, закладів дозвілля та культових, культурно-видовищних будинків і споруд.

Введений в дію наказом Держстандарту України від 24.04.2001 за № 186 з 01.01.2002р. ГОСТ30331.3-95 (МЕК 364-4-41-92) посилює вимоги, а саме, заземленню підлягають електроустановки:

- номінальною напругою понад 50 В змінного струму (ефективної величини) і понад 120 В постійного (випрямленого) струму – в усіх електроустановках;
- номінальною напругою понад 25 В змінного струму (ефективної величини) і понад 60 В постійного (випрямленого) струму – тільки в електроустановках, розташованих в приміщеннях з підвищеною небезпекою, особливо небезпечних та розташованих зовні.

Основною технічною характеристикою заземлювального пристрою є його опір струму розтікання (в подальшому – опір). Кажучи про опір заземлювального пристрою необхідно мати на увазі, що він складається із опору заземлювача та опору заземлювальних провідників. При цьому заземлювач, як специфічний провідник, характеризується опором розтіканню струму, який дорівнює відношенню напруги на заземлювачі до величини струму, що стікає з нього в землю.

В електроустановках напругою до 1000 В з ізольованою нейтраллю (система IT) опір заземлювального пристрою для заземлення

електрообладнання повинен бути не більше 4-х Ом. За потужності генераторів чи трансформаторів, що не перевищує 100 кВА, а також паралельно працюючих генераторів чи трансформаторів за їх сумарної потужності не більше 100 кВА заземлювальні пристрої можуть мати опір не більше 10 Ом.

Опір заземлювального пристрою до якого приєднані гаки, штирі, арматура залізобетонних опор ПЛ до 1000 В з метою грозозахисту, не повинен перевищувати 50 Ом.

В електроустановках понад 1000 В мережі з ізольованою нейтраллю (ІТ) опір заземлювального пристрою ($R_{зп}$), стіканню розрахункового струму замикання на землю в любу пору року, з урахуванням опору природних заземлювачів, повинен бути не більше:

а) у разі використанні заземлювального пристрою водночас для електроустановок напругою до 1000 В, в яких N-, PEN-, (PE)- провідники виходять за межі цього заземлювального пристрою, а захист від замикання на землю в електроустановках понад 1000 В діє на сигнал, а не на вимкнення:

$$R_{зп} = \frac{67}{I_p} . \quad (5.1)$$

До 2007 р. було:

$$R_{зп} = \frac{125}{I_3} \text{ (але не більше 10 Ом),} \quad (5.2)$$

де I_p , I_3 – розрахунковий струм замикання на землю, А.

При цьому повинні виконуватися вимоги до заземлення електроустановок до 1000 В.

б) при використанні заземлювального пристрою лише для електроустановок понад 1000 В – формула (5.2).

За розрахунковий струм замикання приймають в мережах без компенсації ємкісних струмів – повний струм замикання на землю, який можна наближено визначити за наступною формулою:

$$I_3 = \frac{U}{350} (35 l_{кл} + l_{пл}), \quad (5.3)$$

де U – лінійна напруга мережі, кВ;

$l_{кл}, l_{пл}$ – довжина електрично зв'язаних кабельних і повітряних ліній, км [20].

Розрахунок захисного заземлення проводять за допомогою методу коефіцієнта використання (екранування) електродів. Коефіцієнт використання групового заземлювача η – це відношення діючої провідності цього заземлювача до найбільш можливої його провідності за нескінченно великих відстаней між його електродами.

Коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів η_e у залежності від розміщення заземлювачів та їх кількості знаходиться в межах 0,4–0,99. Взаємну екрануючу дію горизонтального заземлювача (з'єднувальної смуги) враховують за допомогою коефіцієнта використання горизонтального заземлювача η_g .

Послідовність розрахунку [21]:

1. Визначається необхідний опір штучних заземлювачів $R_{шт.з.}$:

$$R_{шт.з.} = \frac{R_\delta \times R_{пр.з.}}{(R_{пр.з.} - R_\delta)} \quad (5.4)$$

де $R_{пр.з.}$ – опір природних заземлювачів;

R_δ – допустимий опір заземлення.

Якщо природні заземлювачі відсутні, то $R_{шт.з.} = R_\delta$.

Таблиця 5.1 – Допустимі значення опорів R_0 заземлювальних пристроїв в електроустановках

Характеристика електроустановок напругою до 1000 В	R_0 , Ом
– за потужності генераторів та трансформаторів більше 100 кВт	4
– за потужності генераторів та трансформаторів 100 кВт і менше	10

2. Опір заземлення в значній мірі залежить від питомого опору ґрунту ρ , Ом·м. Питомий опір ґрунту залежить від характеру ґрунту, а також від пори року. Найбільшу величину він має в холодний період у північних районах при промерзанні ґрунту або в теплий період в південних районах, коли ґрунт найбільш сухий. За табл. 5.2 визначається приблизне значення питомого опору ґрунту ρ .

Таблиця 5.2 – Приблизні значення питомих електричних опорів різних ґрунтів, Ом·м

Тип ґрунту	Питомий опір ґрунту*, Ом·м	
	Межі коливань	Рекомендоване значення для розрахунків
Глина (г)	8–70	40
Суглинок (с)	40–150	100
Чорнозем (ч)	9–53	30
Садова земля (с.з)	30–60	50

Примітки: 1. Питомий електричний опір ґрунту є опір куба ґрунту з ребром 1 м; 2. У випадку малого відсотка вмісту вологи в ґрунті можливі більші значення опорів; 3. Питомі опори ґрунтів коливаються протягом року, що враховують при розрахунках введенням сезонних коефіцієнтів опорів ґрунту.

Таблиця 5.3 – Коефіцієнти сезонності ψ для однорідної землі при вимірюванні її опору

Кліматична зона	Вологість землі при вимірюванні					
	підвищена	нормальна	мала	підвищена	нормальна	мала
	ψ_v для вертикального електрода довжиною $l_v=3$ м			ψ_z для горизонтального електрода довжиною $l_z=10$ м		
I	1,9	1,7	1,5	9,3	5,5	4,1
II	1,7	1,5	1,3	5,9	3,5	2,5
III	1,5	1,3	1,2	4,0	2,5	2,0
IV	1,3	1,1	1,0	2,5	1,5	1,1
	ψ_v для вертикального електрода довжиною $l_v=5$ м			ψ_z для горизонтального електрода довжиною $l_z=50$ м		
I	1,5	1,4	1,3	7,2	4,5	3,6
II	1,4	1,3	1,2	4,8	3,0	2,4
III	1,3	1,2	1,1	3,2	2,0	1,6
IV	1,2	1,1	1,0	2,2	1,4	1,12

3. Розрахунковий питомий опір ґрунту, $\rho_{розр}$, Ом·м, визначається за формулою:

$$\rho_{розр} = \psi \rho \quad (5.5)$$

де ψ – коефіцієнт сезонності (табл. 5.3);

ρ – табличне значення питомого опору ґрунту, Ом·м (табл. 5.2).

За табл. 5.3 вибирають значення коефіцієнтів сезонності для вертикальних заземлювачів ψ_v , та горизонтальних ψ_z відповідно до кліматичної зони.

Враховуючи питомий опір ґрунту ρ та коефіцієнти сезонності ψ_v і ψ_z визначається розрахунковий питомий опір ґрунту відповідно для вертикальних заземлювачів $\rho_{розр,v}$, і горизонтальних $\rho_{розр,z}$, Ом·м.

4. Розраховується опір розтікання струму вертикального заземлювача, Ом, за формулою:

$$R_0 = \frac{\rho_{\text{розр}}}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+l}{4t-l} \right) \quad (5.6)$$

де l – довжина вертикального заземлювача;

d – діаметр стержня; $d = 0,05$ м;

t – відстань від поверхні землі до середини заземлювача (рис. 5.1), яка визначається за формулою:

$$t = h_B + \frac{l_B}{2} \quad (5.7)$$

де h_B – глибина закладання заземлювачів (прийняти за 0,8 м).

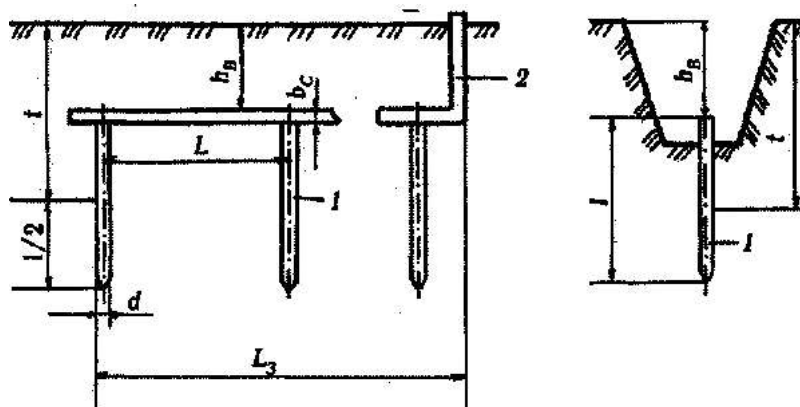


Рисунок 5.1 – Схема позначення розмірів для розрахунку захисного заземлення: 1 – заземлювач; 2 – з'єднувальна стрічка; h_B – глибина закладання вертикальних заземлювачів; L – відстань між заземлювачами; t – відстань від середини заземлювача до поверхні ґрунту; l – довжина заземлювача; b_C – ширина стрічки

5. Визначається теоретична кількість вертикальних заземлювачів n , штук, без урахування коефіцієнта використання η_B :

$$n = \frac{R_B}{R_D} \quad (5.8)$$

Відповідно до розрахованого значення n , за табл. 5.4 визначається коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів η_B .

Таблиця 5.4 – Коефіцієнт η_B використання вертикальних електродів групового заземлювача без врахування впливу з'єднувальної стрічки*

Кількість заземлювачів							
2	3	4	10	20	40	60	100
Заземлювачі розташовані в ряд							
0,85	0,73	0,65	0,59	0,48	–	–	–
Заземлювачі розташовані по контуру							
–	0,69	0,61	0,57	0,47	0,41	0,39	0,36
*Примітка: в таблиці наведені значення η_B для відношення відстаней між електродами до їх довжини, що дорівнює одиниці ($L_B/l_B = 1$)							

6. Визначається необхідна кількість вертикальних заземлювачів з урахуванням коефіцієнта використання, n_B , шт:

$$n_B = \frac{R_B}{R_D \times \eta_B} \quad (5.9)$$

7. Визначається довжина з'єднувальної стрічки горизонтального заземлювача l_c , м:

$$l_c = 1,05 \times L_B \times (n_B - 1) \quad (5.10)$$

де L_6 – відстань між вертикальними заземлювачами (прийняти за $L_6 = 3\text{м}$);
 n_6 – необхідна кількість вертикальних заземлювачів.

8. Визначається опір розтіканню струму горизонтального заземлювача (з'єднувальної стрічки) R_z , Ом:

$$R_z = \frac{\rho_{\text{землі}}}{2\pi \times l_z} \ln \frac{l_z}{d \times h_z} \quad (5.11)$$

де d – еквівалентний діаметр смуги шириною b ($d = 0,95b$; $b = 0,15\text{ м}$).

9. За табл. 5.5 визначається коефіцієнт використання горизонтального заземлювача η_z відповідно до необхідної кількості вертикальних заземлювачів n_6 .

Таблиця 5.5 – Коефіцієнт використання з'єднувальної смуги η_z^*

Кількість заземлювачів							
2	3	4	10	20	40	60	100
Заземлювачі розташовані в ряд							
0,85	0,77	0,72	0,62	0,42	–	–	–
Заземлювачі розташовані по контуру							
–	0,45	0,40	0,34	0,27	0,22	0,2	0,19
*Примітка: в таблиці наведені значення η_z для відношення відстаней між електродами до їх довжини, що дорівнює одиниці ($L_B/l_B = 1$)							

10. Розраховується результуючий опір заземлювального електроду з урахуванням з'єднувальної смуги:

$$R_3 = \frac{R_B \cdot R_T}{R_B \times \eta_c + R_T \times n_B \times \eta_B} \leq R_D.$$

(5.12)

11. Складається схема захисного заземлення (рис. 5.2).

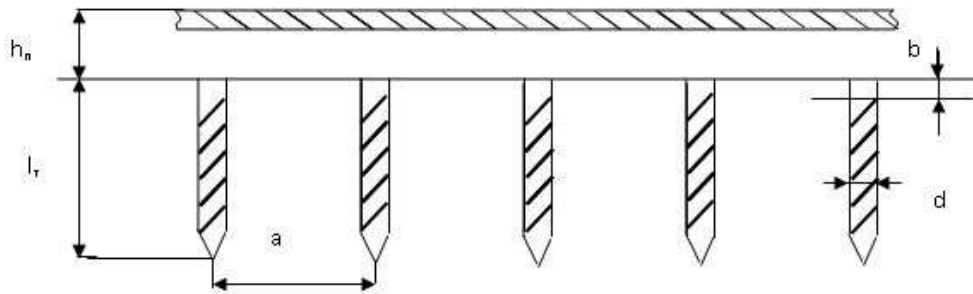


Рисунок 5.2 – Схема захисного заземлення

Література

1. Ректифікація. Вікіпедія [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Ректифікація>
2. Бензол. Вікіпедія [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Бензен>
3. Оцтова кислота. Вікіпедія [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Оцтова_кислота
4. Плановский А. Н. Процессы и аппараты химической и нефтяной технологии / А. Н. Плановский, П. И. Николаев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1972. – 494 с.
5. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра / укладачі: Р. О. Острога, М. С. Скиданенко, Я. Е. Михайловський, А. В. Іванія. – Суми : Сумський державний університет, 2019. – 32 с.
6. Иоффе И.Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии / И.Л. Иоффе. – Л. : Химия, 1991. – 352 с.
7. Методичні вказівки до виконання курсового проекту на тему “Розрахунок ректифікаційної установки безперервної дії” проектування насадкової колони з курсу “Основні процеси та апарати хімічної технології” для студентів IV–V курсів усіх спеціальностей і форм навчання / Укл.: Т.П. Єльцова, Т.В. Гриднева, П.В. Рябік. – Дніпропетровськ: ДВНЗ УДХТУ, 2012. – 46 с.
8. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М. : Химия, 1973. – 752 с.
9. Павлов К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии : Учебное пособие для вузов / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. – 10-е изд., перераб. и доп. – Л. : Химия, 1987. – 576 с.
10. Лащинский А. А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / А. А. Лащинский, А. Р. Толчинский. – Л. : Машиностроение, 1970. – 752 с.

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		57

11. Лашинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов : Справочник / А. А. Лашинский. – Л. : Машиностроение, 1981. – 382 с.

12. Марочник сталей и сплавов / В. Г. Сорокин, А. В. Волосникова, С. А. Вяткин [и др.]. – Под общ. ред. Сорокина В. Г. – М. : Машиностроение, 1989. – 640 с.

13. Врагов А. П. Матеріали до розрахунків процесів та обладнання хімічних і газонафтопереробних виробництв: Навчальний посібник / А. П. Врагов, Я. Е. Михайловський, С. І. Якушко. – За ред. А. П. Врагова. – Суми : Вид-во СумДУ, 2008. – 170 с.

14. Основные процессы и аппараты химической технологии : Пособие по проектированию / Под ред. Дытнерского Ю. И. – М. : Химия, 1983. – 272 с.

15. Машины и аппараты химических производств. Примеры и задачи / Под общ. ред. В. Н. Соколова. – Л. : Машиностроение, 1982. – 384 с.

16. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. Примеры и задачи : Учеб. пособие для студентов вузов / М. Ф. Михалев, Н. П. Третьяков, А. И. Мильченко [и др.]. – Под общ. ред. Михалева М. Ф. – Л. : Машиностроение, 1984. – 301 с.

17. Гайдамак К. М. Монтаж оборудования предприятий химической и нефтехимической промышленности / К. М. Гайдамак, Б. А. Тыркин. – М. : Высшая школа, 1974. – 286 с.

18. Фарамазов С. А. Ремонт и монтаж оборудования химических и нефтеперерабатывающих заводов / С. А. Фарамазов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1980. – 312 с.

19. Ермаков В.И. Ремонт и монтаж химического оборудования / В.И. Ермаков, В.С. Шейн. – Л. : Химия, 1981. – 368 с.

20. Кухровський П. П. Електробезпека на виробництві та в побуті П. П. Кухровський. – Хмельницький : ХНДІ, 2005. – 206 с.

21. Охорона праці. Методичні вказівки до проведення розрахунків з розділу "Охорона праці" в дипломних проектах для студентів освітньо-

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		58

кваліфікаційного рівня "бакалавр", "спеціаліст", "магістр" галузей знань 0501 – інформатика та обчислювальна техніка; 0306 – менеджмент і адміністрування / Укл.: Гуменюк О.Л. – Чернігів : ЧДТУ, 2013. – Режим доступу: https://срo.stu.cn.ua/Oksana/rozrah_rozd_OP_DP_bak_spec_mag/

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		59