

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

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Зав. кафедри

\_\_\_\_\_   
підпис, дата

## Кваліфікаційна робота бакалавра

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

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

Виконала:  
студентка групи ХМз-53-7с  
Стеблянко Ольга Юріївна

\_\_\_\_\_   
підпис

Залікова книжка

№ \_\_\_\_\_

Кваліфікаційна робота бакалавра  
захищена на засіданні ЕК

з оцінкою \_\_\_\_\_

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ р.

**Підпис голови**  
(заступника голови) комісії

Керівник:

канд. техн. наук, ст. викл.

Острога Руслан Олексійович

\_\_\_\_\_   
підпис, дата

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

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

Курс 3 Група ХМз-53-7с Семестр 6

**ЗАВДАННЯ**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Студентка Стеблянко Ольга Юріївна

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

2 Вихідні дані: Розробити ректифікаційну колону з ковпачковими тарілками для розділення двокомпонентної суміші (вода і оцтова кислота). Продуктивність установки 1200 кг/год. Вміст ЛЛК (% мол.): у початковій суміші – 25; у дистиляті – 90; у кубовому залишку – 3,5. Тиск у колоні – атмосферний.

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

- |  |            |
|--|------------|
| 1. <u>Технологічна схема установки</u> | – 0,5 арк. |
| 2. <u>Складальне креслення апарату</u> | – 1,0 арк. |
| 3. <u>Складальні креслення вузлів</u>  | – 1,5 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.; 2. Иоффе И.Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии / И.Л. Иоффе. – Л. : Химия, 1991. – 352 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

ст. викл. Острога Р.О.

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 57 с., 7 рис., 2 додатки, 18 джерел.

Графічні матеріали: технологічна схема установки, складальне креслення апарата, складальні креслення вузлів – усього 3 аркуші формату А1.

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

Наведено теоретичні основи та особливості процесу ректифікації для розділення бінарних сумішей на окремі складові, 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 спроектованого апарата.

У розділі «Охорона праці» проаналізовано нещасні випадки, пов'язані з виробництвом, порядок їх розслідування та спеціальне розслідування.

Ключові слова: УСТАНОВКА, РЕКТИФІКАЦІЯ, ВОДА, ОЦТОВА КИСЛОТА, КОЛОНА, КОВПАЧКОВА ТАРІЛКА, МІЦНІСТЬ, НЕЩАСНИЙ ВИПАДОК.

## Зміст

	С.
Вступ	5
1 Технологічна частина	7
1.1 Опис технологічної схеми установки	7
1.2 Теоретичні основи процесу	9
1.3 Опис об'єкта розроблення та вибір основних конструктивних матеріалів	16
2 Технологічні розрахунки процесу і апарата	19
2.1 Технологічні розрахунки	19
2.2 Конструктивні розрахунки	23
2.3 Гідравлічний опір апарата	26
2.4 Вибір допоміжного обладнання	30
3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність	39
3.1 Визначення товщини стінки апарата, кришки	39
3.2 Розрахунок опори апарата	42
4 Монтаж та ремонт апарата	44
4.1 Монтаж апарата	44
4.2 Ремонт апарата	46
5 Охорона праці	50
Список літератури	56
Додаток А – Побудова рівноважної і робочих ліній на діаграмі х – у	
Додаток Б – Специфікації	

					<i>ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Стеблянко</i>			<b>Ректифікаційна колона з ковпачковими тарілками Пояснювальна записка</b>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		<i>Острога</i>					4	57
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, ХМз-53-7с</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Утверд.</i>		<i>Склабінський</i>						

## Вступ

У харчовій, нафтохімічній, хімічній і багатьох інших галузях промисловості часто виникає необхідність розділяти складні однорідні рідкі суміші на окремі чисті компоненти або на фракції, збагачені окремими компонентами. Характерними прикладами таких процесів є розділення водно-спиртових розчинів, органічних сполук, нафти на окремі продукти і фракції, зрідженого повітря або зрідженого природного газу на окремі корисні компоненти [1].

У даному проекті розглядаються процеси розділення вихідної бінарної суміші вода – оцтова кислота.

Для розділення складних однорідних рідких сумішей на індивідуальні компоненти або окремі збагачені фракції широкого поширення набули процеси дистиляції і ректифікації.

**Дистиляцією** називають процес розділення рідкої однорідної суміші на окремі фракції шляхом часткового випаровування рідини і конденсації пари, що при цьому утворилася. У результаті проведення процесу випаровування і конденсації пари одержують збагачену легкокиплячим компонентом (ЛКК) рідину – дистилят і збагачену висококиплячим компонентом (ВКК) частину рідкої суміші, що не випарувалася – кубовий залишок. Дистиляцію зазвичай використовують для попереднього, відносно грубого методу розділення рідкої суміші на окремі фракції, збагачені деякими компонентами. Залежно від складу вихідної суміші і вимог до продуктів розділення розрізняють просту (одноразову) і складну (багаторазову) дистиляцію [1].

Проте, використання дистиляції не дозволяє одержувати практично чисті речовини. Більшого поширення в різноманітних технологіях розділення складних однорідних розчинів набула ректифікація. **Ректифікацією** називають процес розділення рідких сумішей на практично чисті компоненти шляхом застосування методу багаторазової (багатоступінчастої) протитечійної дистиляції, проведеної в ректифікаційній колоні. Застосування ректифікації

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

дозволяє одержувати практично чисті речовини високого ступеня чистоти і навіть розділяти рідкі суміші ізотопного складу (наприклад, ректифікацією виділяти з рідкого водню дейтерій, або виділяти із простої води важку воду) [1].

У результаті комплексної роботи над проектом закріплюються практичні навички в розрахунках і проектуванні апаратів хімічної технології. Кваліфікаційну роботу бакалавра виконано у відповідності до методичних вказівок із дотриманням нормативних вимог і представленням усіх регламентованих розділів [2].

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

# 1 Технологічна частина

## 1.1 Опис технологічної схеми установки

Технологічна схема ректифікаційної установки для розділення суміші вода – оцтова кислота представлена на рис. 1.1.

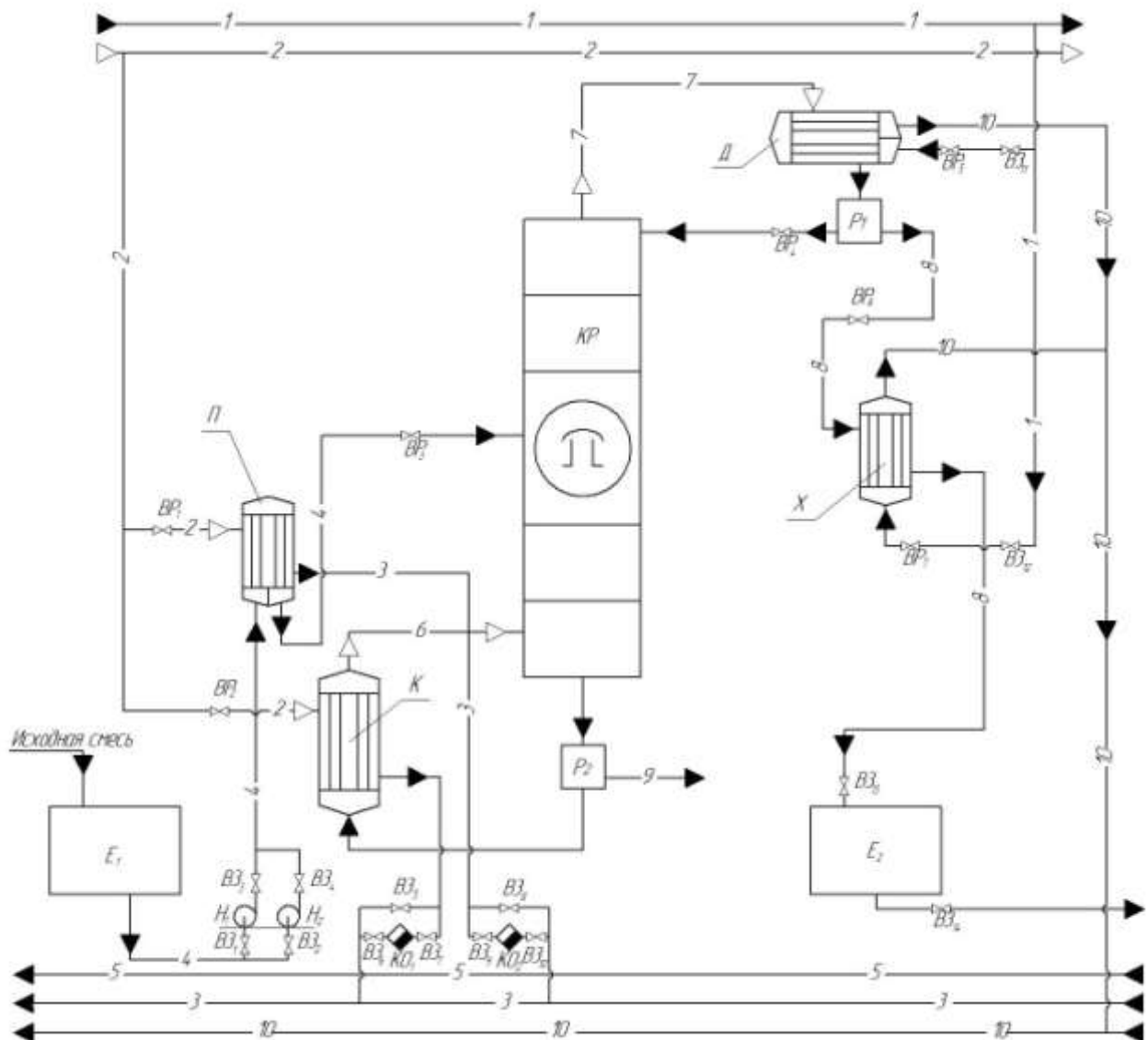


Рисунок 1.1 – Технологічна схема ректифікаційної установки:

E1, E2, E3 – ємність; H1, H2 – відцентровий насос; П – підігрівач; К – кип’ятильник; КР – ректифікаційна колона; X1, X2 – холодильник; Д – дефлегматор; P1, P2 – розподільний стакан

Працює установка наступним чином. Спочатку двокомпонентна суміш суміш вода – оцтова кислота потрапляє до проміжної ємності E1, звідки відцентровими насосами Н1 і Н2, які працюють незалежно один від одного, подається в підігрівач П, де підігрівається до температури кипіння. Далі, уже підігріта суміш, потрапляє на розділення в ректифікаційну колону КР з ковпачковими тарілками.

Кубовий залишок колони (оцтова кислота) потрапляє на розподілювач Р2, де відбувається його розділення на два незалежні потоки. Перша частина охолоджується (на схемі не показано) і відводиться у товарний парк. Друга частина потрапляє в кип'ятильник К, 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 Д, де конденсується за рахунок холодного теплоносія. Витрата води вимірюється ротаметром, а температура її на вході і виході – термометрами. Рідина, що утворилась в дефлегматорі Д 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 E2. Кількість флегми і дистилляту вимірюються ротаметрами.

Ректифікаційна установка розділення бінарної суміші вода – оцтова кислота є безвідхідним виробництвом, тому що отримувані продукти розділення широко використовуються промисловістю. Вода може бути задіяна у кругообігу для технологічного призначення. А ось застосування оцтової кислоти більш різноманітне. У хімічній промисловості з неї виробляють пластичні маси, різні барвники, лікарські речовини, штучне волокно (ацетатний шовк), незаймисту кіноплівку та багато інших речовин. Солі оцтової кислоти – ацетати алюмінію, хрому, феруму – застосовують як протраву при фарбуванні

					<i>ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		8



тканин. Також оцтова кислота має застосовується і як розчинник. У харчовій промисловості застосовується як консервувальний засіб та смакова приправа.

## 1.2 Теоретичні основи процесу

Теоретичні основи досліджуваного процесу, які подано у цьому підрозділі, виконано шляхом аналізу літературних джерел [3–6].

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:

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

де  $c_0$  і  $c_{ГР}$  – 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 дифузійною.

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.

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

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 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  $\delta_0$  в'язкого підшару турбулентною дифузією переноситься більша кількість речовини, ніж молекулярною. Лише в самій глибині вузького підшару, всередині тонкого дифузійного підшару товщиною  $\delta$ , 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  $\delta$  пов'язана із товщиною  $\delta_0$  в'язкого підшару залежністю

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

де  $\nu$  – кінематична в'язкість;

$m$  – константа, яка визначається дослідним шляхом.

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.

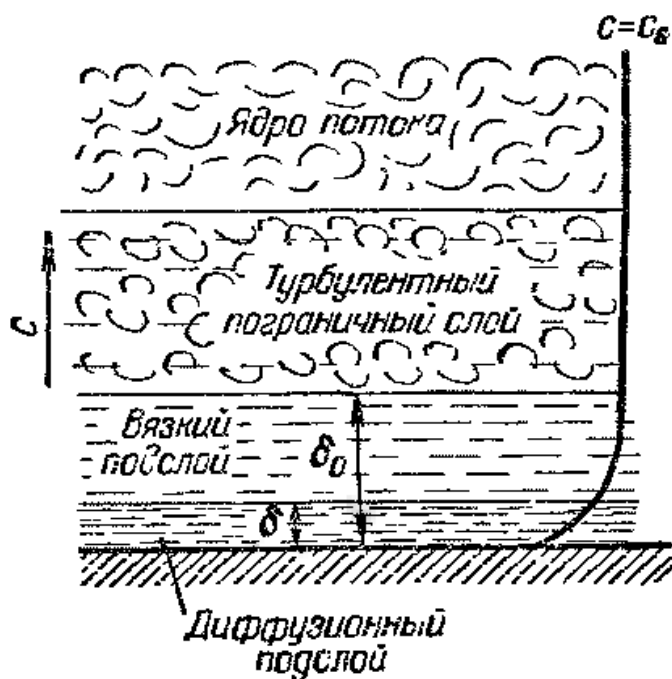


Рисунок 1.2 – Структура потоку і профіль концентрацій у фазі

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  $\Phi_Y$  в фазу  $\Phi_X$ , 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  $\Phi_Y$

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

фаза  $\Phi_X$

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

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  $\Phi_y$  і  $\Phi_x$ , 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  $\beta_x$  і  $\beta_y$  називають коефіцієнтами масовіддачі.

Коефіцієнти масовіддачі  $\beta_x$  (у фазі  $\Phi_x$ ) і  $\beta_y$  (у фазі  $\Phi_y$ ) 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  $\beta$  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.

### **Рівноважний стан і властивості однорідних систем**

У загальному випадку рідка суміш може складатися з декількох компонентів. У найпростішому випадку з двох, наприклад з компонентів А і В. Характер поведінки рідкої суміші залежить головним чином від природи складових її речовин і тиску.

Для ідеальних розчинів характерно те, що сила взаємодії між усіма молекулами (однойменними і різнойменними) дорівнює. При цьому загальна

сила, з якою молекула утримується в суміші, не залежить від складу суміші. Очевидно, що парціальний тиск в цьому випадку повинен залежати лише від числа молекул, що досягають в одиницю часу поверхні рідини зі швидкістю, необхідною для подолання сил внутрішнього тяжіння молекул. Умови рівноваги в системі пар - рідина для повністю взаємно розчинних компонентів встановлюються відповідно до закону Рауля, тобто при даній температурі тиск відповідного компонента зростає пропорційно його вмісту в рідкій суміші:

$$p_A = P_A \cdot x_A; \quad (1.5)$$

$$p_B = P_B \cdot (1 - x_A), \quad (1.6)$$

де  $p_A, p_B$  – парціальний тиск компонентів А і В в паровій фазі;

$P_A, P_B$  – тиск насичених парів компонентів А і В (пружність парів) при даній температурі;

$x_A$  – концентрація компонента в розчині, мольні долі.

Закон Рауля справедливий і для газів з температурою нижче критичної (тобто такої температури, вище якої газ при збільшенні тиску не зріджується).

За ступенем розчинності компонентів суміші рідини поділяють на:

- розчинні в будь-яких співвідношеннях;
- частково розчинні;
- взаємно нерозчинні.

У свою чергу суміші зі взаємно розчинними компонентами в будь-яких співвідношеннях діляться на:

- ідеальні розчини, які підкоряються закону Рауля;
- так звані нормальні розчини – рідкі суміші, частково відхиляються від закону Рауля, але не утворюють сумішей: з постійною температурою кипіння (азеотроп);
- неідеальні розчини – рідини із значними відхиленнями від закону Рауля, в тому числі суміші з постійною температурою кипіння (азеотропи).

Слід зазначити, що повністю взаємно нерозчинних рідин немає, зазвичай все рідини хоча б в незначних кількостях, але розчиняються одна в одній. Однак в цих випадках на практиці для зручності приймають такі рідини взаємно нерозчинними.

Суміш двох рідин, взаємо розчинних в будь-яких співвідношеннях, являє собою систему, що складається з двох фаз і двох компонентів, і за правилом фаз ( $C = K - \Phi + 2 = 2 - 2 + 2 = 2$ ) має два ступені свободи (з трьох – тиску  $P$ , температури  $t$ , концентрації  $x$ ). Однак при аналізі і розрахунку процесів перегонки рідин одну з змінних зазвичай закріплюють і будують діаграму фаз в плоскій системі координат. При цьому можливі наступні варіанти фазових діаграм:

$$P-t (x=const); P-x (t=const); t-x (P=const). \quad (1.7)$$

Для технічних розрахунків найбільш важливою є діаграма  $t-x, y$ , так як зазвичай процеси перегонки в промислових апаратах протікають при  $P = const$ , тобто в ізобарних умовах. На цій діаграмі (рис. 1.3) по осі абсцис відкладені концентрації рідкої  $x$  і парової  $y$  фаз, що відповідають різним температурам.

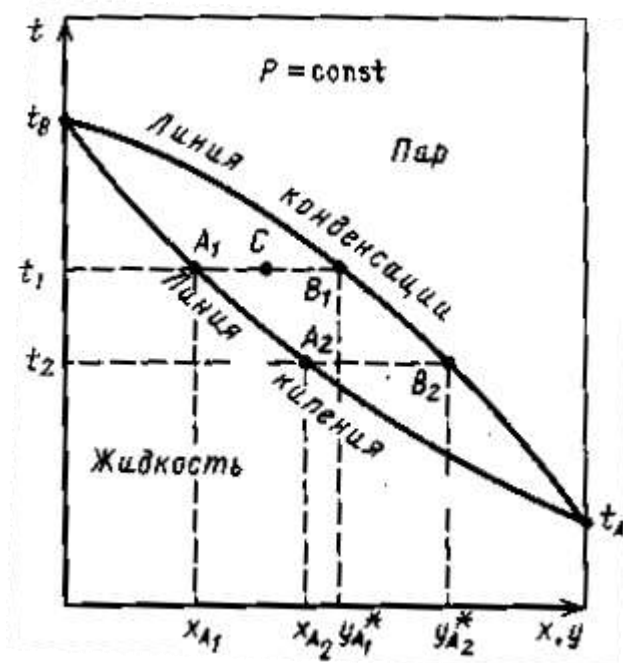


Рисунок 1.3 – Фазова діаграма  $t-x, y$

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

$$P = p_A + p_B, \quad (1.8)$$

у той же час згідно слідству закону Дальтона:

$$p_A = P \cdot y_A, \quad p_B = P \cdot y_B, \quad (1.9)$$

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

$$y_A = \frac{p_A}{P} = \frac{P_A}{P} \cdot x_A. \quad (1.10)$$

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

$$P = P_A \cdot x_A + P_B \cdot (1 - x_A). \quad (1.11)$$

Вирішивши це рівняння щодо  $x_A$ , знайшли

$$x_A = \frac{P - P_B}{P_A - P_B}. \quad (1.12)$$

Таким чином, рівняння (1.10) і (1.12) 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 конструктивних матеріалів

Тарілчасті колони застосовуються для великої продуктивності, широкого діапазону змін навантажень за паровою фазою і рідиною та можуть забезпечити досить чітке розділення сумішей. Недоліком таких апаратів є відносно високий гідравлічний опір. Але в умовах ректифікації це не має суттєвого значення, адже підвищення гідравлічного опору призводить лише до деякого збільшення тиску і відповідно до підвищення температури кипіння рідини в кип'ятильнику колони.

У нашому випадку об'єктом дослідження є ректифікаційна колона з ковпачковими тарілками (рис. 1.4).

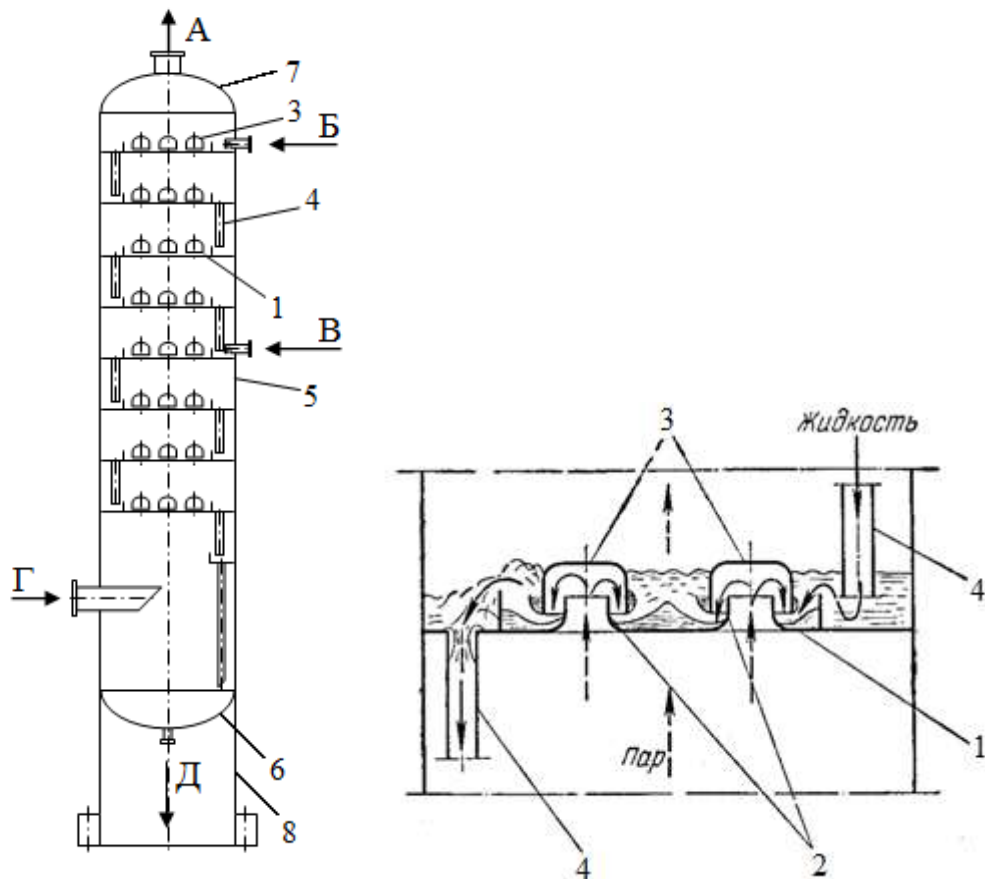


Рисунок 1.4 – Ескіз ректифікаційної колони і схема роботи ковпачкової тарілки: 1 – тарілка; 2 – парові патрубки; 3 – ковпачок; 4 – зливні патрубки; 5 – корпус апарата; 6 – днище; 7 – кришка; 8 – опора; А – вихід парів; Б – вхід флегми; В – вхід вихідної суміші; Г – вхід парів; Д – вихід кубового залишку



Апарат конструктивно складається із циліндричних царг, які з'єднані між собою за допомогою фланцевих з'єднань. Також за допомогою фланців і зварювання прикріплені еліптична кришка і еліптичне днище відповідно. У середині корпусу горизонтально встановлені контактні пристрої у вигляді ковпачкових тарілок. За допомогою тарілок створюється спрямований рух фаз і забезпечується багаторазова взаємодія рідини і пари.

Ковпачкові капсульні тарілки мають приблизно на 20 % більшу продуктивність ніж аналогічні перехреснотоккові контактні пристрої. Також вони характеризуються високою ефективністю, широким робочим діапазоном (понад 4 режими роботи) і помірною металоємністю (60–90 кг/м<sup>2</sup>). Хоча за продуктивністю тарілки цього типу поступаються тарілкам більш сучасних конструкцій і порівняно трудомісткі у виготовленні і монтажі, але вони по теперішній час знаходять своє застосування завдяки універсальності галузей практичного використання і невибагливості в експлуатації.

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 піни і бризок – основна область масообміну і теплообміну між паром і рідиною на тарілці.

Таким чином, проєктована 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.

На колоні також передбачені технологічні штуцери для обв'язки апарату технологічними трубопроводами та підключення до технологічної лінії. Також

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

до корпусу колони знизу приварена циліндрична опора, яка забезпечена лапами для кріплення до фундаменту.

У хімічній промисловості умови роботи апаратів характеризуються широким діапазоном температур – приблизно від мінус 254 до плюс 2500°C при тисках від 0,015 Па до 600 МПа при агресивному впливі середовищ [7].

Основними вимогами, яким повинні відповідати хімічні апарати, є механічна надійність, довговічність, конструктивну досконалість, простота виготовлення, зручність транспортування, монтажу та експлуатації [7–9].

Тому до конструкційних матеріалів проектованої апаратури висувають наступні вимоги [8]:

1) висока корозійна стійкість матеріалів в агресивних середовищах при 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.

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.

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.

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

## 2 Технологічні розрахунки процесу і апарата

### 2.1 Технологічні розрахунки

Оскільки продуктивність колони по вихідній суміші задана в кг/год., необхідно перевести молярні частки легколеткого компонента в масові [3]:

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

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

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

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

де  $M_f = 18,02 \cdot 0,25 + 60,05 \cdot (1 - 0,25) = 49,54$  кг/кмоль

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

$$M_D = 18,02 \cdot 0,90 + 60,05 \cdot (1 - 0,90) = 22,22 \text{ кг/кмоль}$$

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

$$M_W = 18,02 \cdot 0,035 + 60,05 \cdot (1 - 0,035) = 58,58 \text{ кг/кмоль}$$

$M_{\text{ллк}}=18,02$  кг/кмоль,  $M_{\text{тлк}}= 60,05$  кг/кмоль – молярні маси легколеткого і важколеткого компонентів [10].

$$\bar{x}_f = 0,25 \cdot \frac{18,02}{49,54} = 0,091$$

$$\bar{x}_D = 0,90 \cdot \frac{18,02}{22,22} = 0,730$$

$$\bar{x}_W = 0,035 \cdot \frac{18,02}{58,58} = 0,011$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

Матеріальний баланс ректифікаційної колони складається з потоків [3]:

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

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

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

$$G_D = 1200 \cdot \frac{0,091 - 0,011}{0,730 - 0,011} = 134 \text{ кг/ГОД.}$$

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

$$G_W = 1200 \cdot \frac{0,730 - 0,091}{0,730 - 0,011} = 1066 \text{ кг/ГОД.}$$

Криву рівноваги (рис. 2.1) будуємо в координатах у-х за довідковими даними при рівноважних складах рідини і пари у залежності від температури.

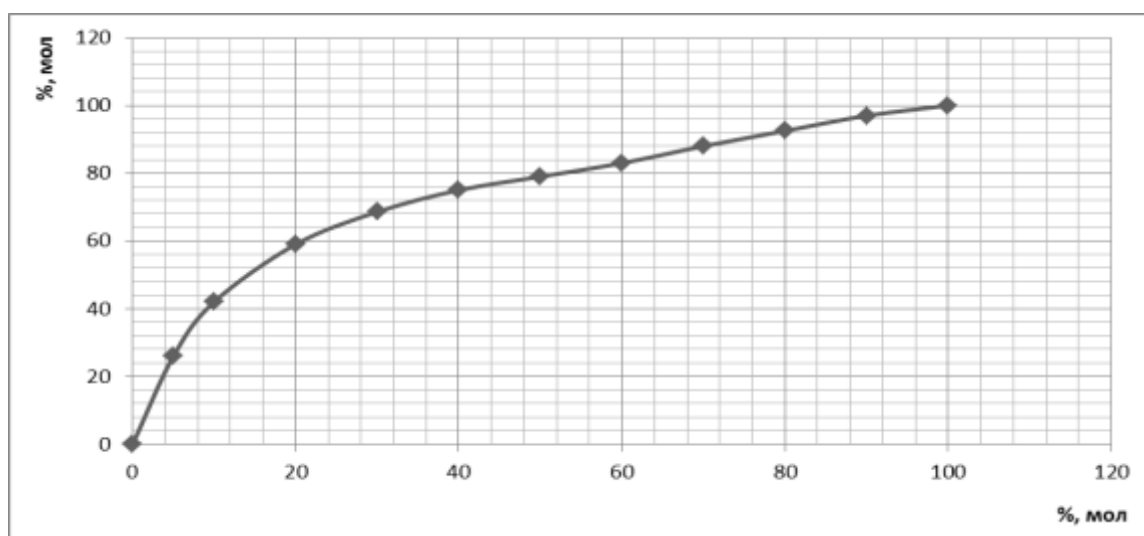


Рисунок 2.1 – Діаграма у-х суміші вода – оцтова кислота

Визначаємо мінімальне флегмове число за рівнянням [5]:

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

де  $y_f^*$  – склад пари, яка перебуває в рівновазі з вихідною сумішшю;  
 $y_f^* = 0,43$  – визначається з кривої рівноваги.

$$R_{\min} = \frac{0,90 - 0,43}{0,43 - 0,25} = 2,61$$

Визначаємо оптимальне флегмове число [3]:

$$R = 1,3 \cdot R_{\min} + 0,35 = 1,3 \cdot 2,61 + 0,35 = 3,74 \quad (2.10)$$

Значення оптимального флегмового числа вирішальним чином впливає на розміри ректифікаційної колони і дозволяє розрахувати масові витрати стікаючої по колоні флегми і піднімаючихся парів [1]:

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

$$G_R = 3,74 \cdot 134 = 501 \text{ кг/ГОД.}$$

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

$$G_V = (3,74 + 1) \cdot 134 = 635 \text{ кг/ГОД.}$$

Робочі лінії процесу визначаються рівняннями [1]:

– для верхньої частини колони:

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

– для нижньої частини колони:

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

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						21
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

де  $F$  – число живлення, що визначається за формулою:

$$F = \frac{G_F}{G_D} \cdot \frac{M_D}{M_F}; \quad (2.15)$$

$$F = \frac{1200}{134} \cdot \frac{22,22}{49,54} = 4,0.$$

Ордината точки А (див. додаток А), в якій перетинаються робочі лінії, визначається за рівнянням (2.13) і (2.14) підстановкою в них замість  $x$  значення  $x_f$ :

$$y_f' = \frac{3,74}{3,74+1} \cdot 0,25 + \frac{0,90}{3,74+1} = 0,388$$

$$y_f'' = \frac{4,0+3,74}{3,74+1} \cdot 0,25 - \frac{4,0-1}{3,74+1} \cdot 0,035 = 0,388$$

Рівність значень  $y_f' = y_f''$  засвідчує про відсутність помилок у виконаних розрахунках.

Середні молярні концентрації рідини визначаються за середньоарифметичними залежностями [1]:

– у верхній частині колони:

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

– у нижній частині колони:

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

$$x_{cp}' = \frac{(0,25 + 0,90)}{2} = 0,575;$$

$$x_{cp}'' = \frac{(0,25 + 0,035)}{2} = 0,143.$$

Середні молярні концентрації парової фази визначаються за рівняннями робочих ліній [1]:

– 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:

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

$$y'_{cp} = \frac{3,74}{3,74+1} \cdot 0,575 + \frac{0,90}{3,74+1} = 0,644;$$

$$y''_{cp} = \frac{4,0+3,74}{3,74+1} \cdot 0,143 - \frac{4,0-1}{3,74+1} \cdot 0,035 = 0,212.$$

Середня молярна маса парів розраховується за формулами [1]:

– у верхній частині колони:

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

– у нижній частині колони:

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

$$M'_{cp} = 0,644 \cdot 18,02 + (1 - 0,644) \cdot 60,05 = 33,0 \text{ кг/кмоль}$$

$$M''_{cp} = 0,212 \cdot 18,02 + (1 - 0,212) \cdot 60,05 = 51,14 \text{ кг/кмоль}$$

Середні густини парів визначаються за рівнянням Клайперона:

– у верхній частині колони [1]:

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

					<b>ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						23
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

– у нижній частині колони:

$$\rho_y'' = \frac{M_{cp}'' \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + t_y'')}; \quad (2.23)$$

де  $t_y' = 106^\circ\text{C}$  – середня температура пари у верхній частині колони в залежності від концентрації  $y_{cp}'$  (визначається за діаграмою [3]);

$t_y'' = 112^\circ\text{C}$  – середня температура пара в нижній частині колони в залежності від концентрації  $y_{cp}''$  (визначається по діаграмі [3]).

$$\rho_y' = \frac{33,0 \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + 106)} = 1,06 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_y'' = \frac{51,14 \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + 112)} = 1,62 \text{ кг/м}^3$$

Середні густини рідини знаходяться за правилом адитивності:

– у верхній частині колони:

$$\rho_x' = x_{cp}' \cdot \rho_{ллк}' + (1 - x_{cp}') \cdot \rho_{тлк}'; \quad (2.24)$$

– у нижній частині колони:

$$\rho_x'' = x_{cp}'' \cdot \rho_{ллк}'' + (1 - x_{cp}'') \cdot \rho_{тлк}''; \quad (2.25)$$

де  $\rho_{ллк}'$ ,  $\rho_{ллк}''$ ,  $\rho_{тлк}'$ ,  $\rho_{тлк}''$  – густини рідини легколеткого і труднолеткого компонентів при температурах  $t_x'$ ,  $t_x''$ ;

$\rho_{ллк}' = 957 \text{ кг/м}^3$ ;  $\rho_{тлк}' = 971 \text{ кг/м}^3$  при температурі  $t_x' = 102^\circ\text{C}$  [10];

$t_x' = 102^\circ\text{C}$  – середня температура рідини у верхній частині колони в залежності від концентрації  $x_{cp}'$ ;

$\rho_{ллк}'' = 953 \text{ кг/м}^3$ ;  $\rho_{тлк}'' = 968 \text{ кг/м}^3$  при температурі  $t_x'' = 109^\circ\text{C}$  [10];

$t_x'' = 109^\circ\text{C}$  – середня температура рідини в нижній частині колони в залежності від концентрації  $x_{cp}''$ .

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24



$$\rho'_x = \rho'_x = 0,575 \cdot 957 + (1 - 0,575) \cdot 971 = 963 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho''_x = 0,143 \cdot 953 + (1 - 0,143) \cdot 968 = 966 \text{ кг/м}^3$$

## 2.2 Конструктивні розрахунки

Граничну і робочу швидкості парів у верхній і нижній частинах колони знаходимо за формулами [11]:

$$\omega' = (0,75 \div 0,9) \cdot \omega_{np}; \quad (2.26)$$

де  $\omega_{np}$  – швидкість газу, що відповідає точці захлинання.

$$\omega_{np} = c \cdot \sqrt{\frac{\rho_p - \rho_n}{\rho_n}}; \quad (2.27)$$

де  $c=0,041$  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

$$\omega'_{np} = 0,041 \cdot \sqrt{\frac{963 - 1,06}{1,06}} = 1,0 \text{ м/с}$$

– для нижньої частини колони

$$\omega''_{np} = 0,041 \cdot \sqrt{\frac{966 - 1,62}{1,62}} = 0,8 \text{ м/с}$$

Робоча швидкість парів:

– для верхньої частини колони

$$\omega' = 0,8 \cdot 1,0 = 0,8 \text{ м/с}$$

– для нижньої частини колони

$$\omega'' = 0,8 \cdot 0,8 = 0,64 \text{ м/с}$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

Відношення масових витрат рідкої і парової фаз дорівнює [11]:

– у верхній частині колони:

$$\left(\frac{L}{G}\right)' = \frac{G_R}{G_V} = \frac{R}{R+1}; \quad (2.28)$$

– у нижній частині колони:

$$\left(\frac{L}{G}\right)'' = \frac{G_R + G_f}{G_V} = \frac{R + F}{R + 1}; \quad (2.29)$$

$$\left(\frac{L}{G}\right)' = \frac{3,74}{3,74 + 1} = 0,79$$

$$\left(\frac{L}{G}\right)'' = \frac{3,74 + 4,0}{3,74 + 1} = 1,64$$

Об'ємна витрата парів дорівнює:

– у верхній частині колони

$$V' = \frac{G_V}{\rho_y'}; \quad (2.30)$$

– у нижній частині колони

$$V'' = \frac{G_V}{\rho_y''}; \quad (2.31)$$

$$V' = \frac{635}{3600 \cdot 1,06} = 0,166 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$V'' = \frac{635}{3600 \cdot 1,62} = 0,109 \text{ м}^3/\text{с}$$

Діаметр колони розраховується за формулою [12]:

$$D = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot \omega}}; \quad (2.32)$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

– для верхньої частини колони:

$$D' = \sqrt{\frac{0,166}{0,785 \cdot 0,8}} = 0,52 \text{ м}$$

– для нижньої частини колони:

$$D'' = \sqrt{\frac{0,109}{0,785 \cdot 0,64}} = 0,47 \text{ м}$$

Приймаємо найближчий більший діаметр колони зі стандартного ряду  $D_k = 600 \text{ мм}$ .

Дійсні робочі швидкості пари в колоні дорівнюють:

$$w_s = 0,8 \cdot \left( \frac{0,52}{0,6} \right)^2 = 0,6 \text{ м/с}$$

$$w_n = 0,64 \cdot \left( \frac{0,47}{0,6} \right)^2 = 0,4 \text{ м/с}$$

У результаті побудови горизонтальних і вертикальних відрізків між робочою і рівноважною лініями (Додаток А) число теоретичних тарілок дорівнює: у нижній частині 2,5 шт., у верхній частині 5,5 шт.

Число дійсних тарілок можна визначити за допомогою середнього к.к.д. тарілки [11]:

$$N_d = N_T / \eta; \quad (2.33)$$

де  $\eta$  – к.к.д. тарілки.

За рекомендацією [11] для ковпачкових тарілок приймаємо  $\eta = 0,6$ .

Число дійсних тарілок складе:

– у верхній частині колони

$$N_d = 5,5 / 0,6 \approx 9 \text{ шт.}$$

– у нижній частині колони

$$N_d = 2,5 / 0,6 \approx 4 \text{ шт.}$$

					<i>ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		27

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

$$H_T = (N_d - 1) \cdot H, \quad (2.34)$$

де  $N_d = 13$  – загальна кількість тарілок;

$H = 500$  мм – відстань між тарілками.

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

На підставі практичних даних [11] 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).

#### **Визначення діаметра патрубків.**

Діаметр патрубка визначається за формулою [11]:

$$D = \sqrt{\frac{G}{\rho \cdot 3600 \cdot 0.785 \cdot \omega}}; \quad (2.35)$$

де  $\omega$  – швидкість пара або рідини, м/с.

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

Діаметри патрубків для входу і виходу парів:

$$d_v = \sqrt{\frac{635}{3600 \cdot 1.06 \cdot 0.785 \cdot 12}} = 0.133 \text{ м}$$

Приймаємо діаметри патрубків  $d_v = 150$  мм.

Діаметр патрубкa для входу флегми:

$$d_R = \sqrt{\frac{501}{3600 \cdot 963 \cdot 0,785 \cdot 0,5}} = 0,039 \text{ м}$$

Приймаємо діаметр патрубкa  $d_R=40$  мм.

Діаметр патрубкa для входу вихідної суміші:

$$d_f = \sqrt{\frac{1200}{3600 \cdot 965 \cdot 0,785 \cdot 0,5}} = 0,091 \text{ м}$$

Приймаємо діаметр патрубкa  $d_f=100$  мм.

Діаметр патрубкa для виходу кубового залишку:

$$d_w = \sqrt{\frac{1066}{3600 \cdot 966 \cdot 0,785 \cdot 0,5}} = 0,117 \text{ м}$$

Приймаємо діаметр патрубкa  $d_w=125$  мм.

### 2.3 Гідравлічний опір апарата

Визначаємо гідравлічний опір тарілки за методикою [11]. Відстань між тарілками  $H_T = 0,5$  м.

Визначаємо навантаження за парою і навантаження за рідиною тарілки:

$$G_n = 0,176 \text{ кг/с};$$

$$G_p = 0,139 \text{ кг/с}.$$

За даними табл. 8.6 [11] вибираємо тарілку типу ТСК-1 для колони діаметром  $D = 600$  мм. Ця тарілка має наступні параметри: 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  $\Pi = 0,480$  м; довжина шляху рідини по тарілці  $l_p = 0,37$  м; кількість ковпачків на тарілці  $m = 13$ ; діаметр ковпачка  $d_k = 80$  мм.

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

У завдання подальших гідравлічних розрахунків основних параметрів тарілки входить визначення висоти зливного порога  $h_{nop}$ , підпору рідини над зливним порогом  $h_{зл}$ , висоти прорізів ковпачка  $h_{np}$  і опору тарілки  $\Delta P$ .

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

$$h_{зл} = 0,68 \cdot \left(\frac{V_p}{\Pi}\right)^{0,67}, \quad (2.36)$$

$$\text{де } V_p = \frac{G_p}{\rho_p} = \frac{0,139}{966} = 1,44 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}.$$

$$h_{зл} = 0,68 \cdot \left(\frac{1,44 \cdot 10^{-4}}{0,480}\right)^{0,67} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

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

$$h_{np} = 0,46 \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{V_n}{m \cdot z \cdot b}\right)^2 \cdot \frac{\rho_p}{\rho_p - \rho_p}}. \quad (2.37)$$

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

$$h_{np} = 0,46 \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{0,109}{13 \cdot 20 \cdot 0,004}\right)^2 \cdot \frac{1,62}{966 - 1,62}} = 0,012 \text{ м}.$$

Приймаємо за табл. 8.4 [11] 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 прийmemo висоту установки ковпачка  $h_y = 10$  мм.

Глибина барботажу при атмосферному тиску складе:

					<b>ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$h_{z.б.} = \left(\frac{0,7}{\rho_p}\right) \cdot P^{0,35}; \quad (2.38)$$

$$h_{z.б.} = \left(\frac{0,7}{966}\right) \cdot (0,1 \cdot 10^6)^{0,35} = 0,04 \text{ м.}$$

Знаходимо висоту зливного порога за рівнянням:

$$h_{нор} = h_{z.б.} - h_{зл} + h_{нр} + h_y, \quad (2.39)$$

$$h_{нор} = 0,04 - 0,003 + 0,02 + 0,01 = 0,067 \text{ м.}$$

Висота піни, що утворюється на тарілці, складе:

$$h_{нп} = \frac{k_2}{\sigma^{0,33}} \cdot (k_3 \cdot w'^2 \cdot \rho_n + k_4 \cdot h_{зл} + h_{нор}), \quad (2.40)$$

де  $\sigma$  – 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 табл. 8.3 [11] у залежності від типу тарілки. Для ковпачкової тарілки  $k_2 = 0,23$ ,  $k_3 = 4,4 \cdot 10^{-2}$ ,  $k_4 = 4,6$ .

$$h_{нп} = \frac{0,23}{0,02^{0,33}} \cdot (4,4 \cdot 10^{-2} \cdot 0,4^2 \cdot 1,62 + 4,6 \cdot 0,003 + 0,067) = 0,077 \text{ м.}$$

Величина відносного унесення рідини:

$$Y = \frac{k_1}{\sigma} \cdot \left(\frac{w'}{H_T - h_{нп}}\right)^{n_1}. \quad (2.41)$$

Значення коефіцієнта  $k_1$  і показника ступеня  $n_1$  також визначаємо за табл. 8.3 [11] у залежності від типу тарілки. Для ковпачкової тарілки  $k_1 = 23 \cdot 10^{-5}$ ,  $n_1 = 1,16$ .

$$Y = \frac{23 \cdot 10^{-5}}{0,02} \cdot \left(\frac{0,4}{0,5 - 0,077}\right)^{1,16} = 0,012 < 0,1.$$

Отже, відстань між тарілками вибрано правильно.

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						31
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Дійсне навантаження зливного пристрою за рідиною розраховуємо за рівнянням:

$$V_{p.д.} = V_p + \frac{G_n \cdot Y}{\rho_p}, \quad (2.42)$$

$$V_{p.д.} = 1,44 \cdot 10^{-4} + \frac{0,176 \cdot 0,012}{966} = 1,46 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Дійсна величина підпору рідини над зливним порогом:

$$h_{зл.д.} = 0,68 \cdot \left( \frac{1,46 \cdot 10^{-4}}{0,480} \right)^{0,67} = 3 \cdot 10^{-3}.$$

Отримана величина не відрізняється від раніше розрахованої.

Перевіримо працездатність зливного пристрою тарілки за умовами:

$$w_{p.зл} = \frac{V_{p.д.}}{F_{зл}} < k_5 \cdot H_T^{n_2}; \quad (2.43)$$

$$w_{p.з.} = \frac{V_{p.д.}}{\Pi \cdot a} < 0,45. \quad (2.44)$$

Значення коефіцієнта  $k_5$  і показника ступеня  $n_2$  визначаємо за табл. 8.5 [11] в 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:

$$w_{p.зл} = \frac{1,46 \cdot 10^{-4}}{0,12} = 1,22 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}.$$

Далі розраховуємо комплекс:

$$k_5 \cdot H_T^{n_2} = 0,250 \cdot 0,5^{0,65} = 0,159.$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32



Отже, умова (2.43) виконується і захлинання зливного пристрою не відбудеться.

Швидкість рідини в зазорі між підставою тарілки і нижньою кромкою зливного склянки:

$$w_{p.z.} = \frac{1,46 \cdot 10^{-4}}{0,480 \cdot 0,035} = 0,087 \frac{m}{c} < 0,45 \frac{m}{c}.$$

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

Опір сухий тарілки визначаємо за рівнянням:

$$\Delta P_c = \zeta_c \cdot \rho_n \cdot \frac{w_0^2}{2}, \quad (2.45)$$

де швидкість пара в парових патрубках дорівнює

$$w_0 = \frac{V_n}{F_0}; \quad (2.46)$$

$$w_0 = \frac{0,109}{0,027} = 4 \text{ м/с.}$$

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

$$\xi_c = 1,73 \cdot D^{-0,25}; \quad (2.47)$$

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

$$\Delta P_c = 3,25 \cdot 1,62 \cdot \frac{4^2}{2} = 42 \text{ Па.}$$

Величина перепаду рівня рідини на тарілці:

$$\Delta h = 0,1 \cdot \lambda_e \cdot \frac{l_p \cdot V_{p.d.}^2}{\Pi^2 \cdot (h_{nop} + h_{зл.д.})^3 \cdot g}, \quad (2.48)$$

					<b>ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

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

$$\Delta h = 0,1 \cdot 16 \cdot 0,37 \cdot \frac{0,37 \cdot (1,46 \cdot 10^{-4})^2}{0,480^2 \cdot (0,067 + 3 \cdot 10^{-3})^3 \cdot 9,81} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Опору шару рідини на тарілці розраховуємо за рівнянням:

$$\Delta P_p = \left( h_{\text{с.б.}} + \frac{h_{np} + \Delta h}{2} \right) \cdot \rho_p \cdot g; \quad (2.49)$$

$$\Delta P_p = \left( 0,04 + \frac{0,020 + 6 \cdot 10^{-3}}{2} \right) \cdot 966 \cdot 9,81 = 502 \text{ Па.}$$

Загальний опір тарілки дорівнює:

$$\Delta P = \Delta P_c + \Delta P_p; \quad (2.50)$$

$$\Delta P = 42 + 502 = 544 \text{ Па.}$$

Гідравлічний опір колони:

$$\Delta P_K = (N_{HP} + N_{BP}) \cdot \Delta P; \quad (2.51)$$

$$\Delta P = (4 + 9) \cdot 544 = 7072 \text{ Па.}$$

## 2.4 Вибір допоміжного обладнання

### Розрахунок і підбір насосу для подачі вихідної суміші [12].

Для всмоктуючого і напірного трубопроводів приймаємо однакову швидкість течіння рідини, як дорівнює  $w = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .

Діаметр трубопроводу визначаємо за рівнянням:

$$d = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot w}}, \quad (2.52)$$

					<b>ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

де  $V$  – об’ємна витрата суміші, що подається в колону.

$$V = \frac{1200}{3600 \cdot 960} = 3,47 \cdot 10^{-4} \frac{M^3}{c};$$

$$d = \sqrt{\frac{3,47 \cdot 10^{-4}}{0,785 \cdot 2}} = 0,015 \text{ м.}$$

Приймаємо стандартизований діаметр трубопроводу 16 мм.

Визначаємо критерій Рейнольдса для рідини у трубопроводі:

$$Re = \frac{w \cdot d \cdot \rho_p}{\mu}, \quad (2.53)$$

$$Re = \frac{2 \cdot 0,016 \cdot 960}{6,5 \cdot 10^{-4}} = 47262,$$

тобто режим турбулентний. Абсолютну шорсткість трубопроводу приймаємо

$$\Delta = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

$$e = \frac{\Delta}{d} = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{0,016} = 0,0125;$$

$$\frac{1}{e} = 80; \quad 560 \cdot \frac{1}{e} = 44800; \quad 10 \cdot \frac{1}{e} = 800;$$

$$Re > 560 \cdot \frac{1}{e}.$$

Для зони, що є автотурбулентною по відношенню до  $Re$ :

$$\lambda = 0,11 \cdot e^{0,25}, \quad (2.54)$$

$$\lambda = 0,11 \cdot 0,0125^{0,25} = 0,037.$$

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

Для всмоктуючої лінії:

1) вхід у трубу (приймаємо з гострими краями)  $\xi_1 = 0,5$ ;

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

2) 2 коліна з кутом  $90^\circ$   $\xi_2 = 2 \cdot 1,1 = 2,2$ .

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

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

Для напірної лінії:

1) вентиль прямоточний  $\xi_1 = 0,65$ ;

2) 3 коліна з кутом  $90^\circ$   $\xi_2 = 3 \cdot 1,1 = 3,3$ ;

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:

$$h_{П.ВС.} = \left( \lambda \cdot \frac{l}{d_E} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g}, \quad (2.55)$$

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

$$h_{П.ВС.} = \left( 0,037 \cdot \frac{4}{0,016} + 2,7 \right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 2,44 \text{ м.}$$

Втрата напору в напірній лінії:

$$h_{П.НАП.} = \left( 0,037 \cdot \frac{7,5}{0,016} + 8 \right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 5,17 \text{ м.}$$

Загальні втрати напору:

$$h_{П.} = h_{П.ВС.} + h_{П.НАП.}; \quad (2.56)$$

$$h_{П.} = 2,44 + 5,17 = 7,61 \text{ м.}$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

Знаходимо напір насосу за рівнянням:

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho_{ж} \cdot g} + H_G + h_{II}, \quad (2.57)$$

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;

$H_G$  – геометрична висота піднімання рідини.

$$H = 4,5 + 7,61 = 12,11 \text{ м.}$$

Корисну потужність насосу визначаємо за рівнянням:

$$N_{II} = \rho_p \cdot g \cdot V \cdot H, \quad (2.58)$$

$$N_{II} = 960 \cdot 9,81 \cdot 3,47 \cdot 10^{-4} \cdot 12,11 = 40 \text{ Вт.}$$

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

$$N = \frac{N_{II}}{\eta_{пер} \cdot \eta_n}, \quad (2.59)$$

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

$$N = \frac{40}{1 \cdot 0,6} = 67 \text{ Вт.}$$

Вибираємо відцентровий насос марки НМШ 8-3,5/18-5 із наступними параметрами: об'ємна подача насосу 3,5 м<sup>3</sup>/год.; напір насосу 18 м; потужність, яку потребує насосом 5,25 кВт; частота обертів 1050 об/хв.

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

**Розрахунок і вибір ємності для вихідної суміші [11].** Ємність для зберігання вихідної суміші розраховуємо, виходячи з 6–8 годинного резерву робочого часу, а також з урахуванням коефіцієнту заповнення  $\psi = 0,8 \dots 0,85$ .  
Приймаємо  $\psi = 0,82$ .

Розрахунковий об'єм ємності:

$$V_{EP} = \frac{G \cdot \tau}{\psi \cdot \rho}; \quad (2.60)$$

$$V_{EP} = \frac{1200 \cdot 7}{0,82 \cdot 960} = 10,7 \text{ м}^3.$$

Задамося діаметром ємності  $D = 2,0 \text{ м}$ , тоді її висота буде становити:

$$H = \frac{V_{EP}}{0,785 \cdot D^2}, \quad (2.61)$$

$$H = \frac{10,7}{0,785 \cdot 2,0^2} = 3,4 \text{ м}.$$

					<b>ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		38

### 3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність

#### 3.1 Визначення товщини стінки апарата, кришки

Розрахункові дані наведено нижче.

Робоча температура середовища 112°C. За рекомендацією [13] робочу температуру стінки приймаємо 105°C.

Робочий тиск в апараті 0,1 МПа.

Розрахунковий тиск для апаратів з робочим надлишковим тиском  $P > 0,07$  МПа відповідно до рекомендацій наведених у [13] 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 [13] 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 [13]:

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

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

Розрахункове значення для модуля поздовжньої пружності для матеріалу корпусу, згідно [13]:

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

Коефіцієнт проточності зварного шва, згідно [13], складе:  $\varphi = 0,9$ .

					<i>ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		39

### Розрахунок товщини стінки обичайки корпусу.

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.

$$C = 1,5 + 0 + 0 = 1,5 \text{ мм.}$$

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

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

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40



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.

### Розрахунок товщини стінки 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.

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

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 м = 4 мм.

Допустимий внутрішній надлишковий тиск:

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

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

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

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

### 3.2 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;

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

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

$$M_{\kappa} = H \cdot \pi \cdot D \cdot s \cdot \rho, \quad (3.11)$$

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

$$M_{\kappa} = 8,5 \cdot 3,14 \cdot 0,6 \cdot 0,004 \cdot 7800 = 500 \text{ кг.}$$

$$M_{\text{дн}} = M_{\text{кр}} = 20 \text{ кг.}$$

Маса тарілок:

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

де  $m_m = 36,3 \text{ кг}$  – маса однієї тарілки.

$$M_m = 13 \cdot 36,3 = 472 \text{ кг.}$$

Масу фланців і арматури прийmemo рівною  $M_{\text{фл}} = 500 \text{ кг}$ .

Маса порожнього апарату:

$$M_{an} = 500 + 20 + 20 + 472 + 500 = 1512 \text{ кг;}$$

					<b>ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

$$Q_{an} = 1512 \cdot 9,81 = 14833 \text{ Н.}$$

Навантаження апарату на опору під час гідравлічних випробувань:

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

де  $M_g$  – маса залитої в апарат води.

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

де  $V$  – об'єм апарату

$$V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H = \frac{3,14 \cdot 0,6^2}{4} \cdot 8,5 = 2,4 \text{ м}^3;$$

$$M_g = 2,4 \cdot 1000 = 2400 \text{ кг};$$

$$Q_{an}^u = (1512 + 2400) \cdot 9,81 = 38377 \text{ Н.}$$

За таблицею [13] вибираємо циліндричну опору типу: 2-600-30-50.

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

## 4 Монтаж та ремонт апарата

### 4.1 Монтаж апарата [14]

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.

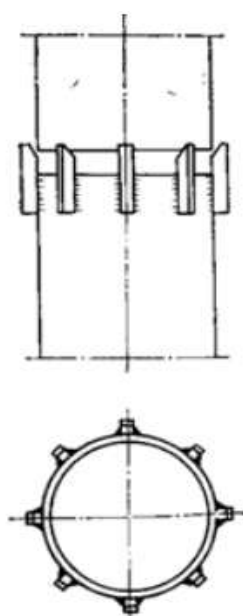


Рисунок 4.1 – Стиковка обичайок

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

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

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.

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

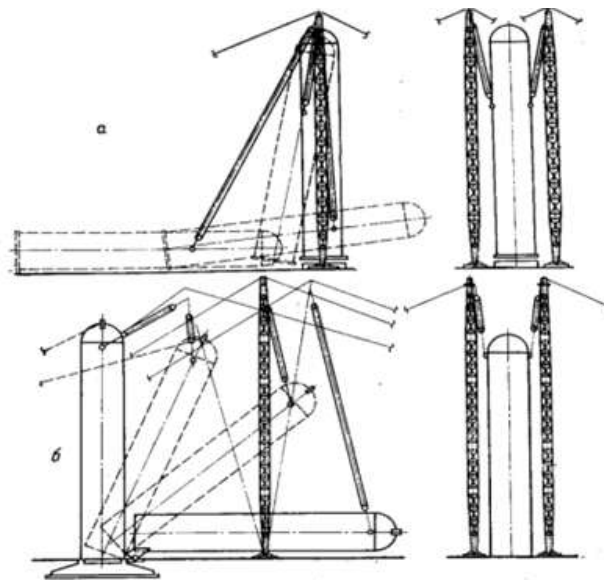


Рисунок 4.2 – Способи підйому колонного апарата:

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 [14, 15]

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

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

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.

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

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

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48



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>ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		49

## 5 Охорона праці

### **Нещасні випадки, пов'язані з виробництвом. Порядок їх розслідування, спеціальне розслідування.**

Особи, які працюють на умовах трудового договору (контракту), підлягають загальнообов'язковому державному соціальному страхуванню від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності (далі – страхування від нещасного випадку). Порядок такого страхування передбачено Законом про соцстрах. Та для того, аби застрахована особа могла отримати відповідну допомогу в разі настання страхового випадку, роботодавець-страхувальник зобов'язаний забезпечити проведення розслідування нещасного випадку.

У ст.36 Закону про соцстрах зазначено, що у разі настання страхового випадку Фонд соцстраху виплачує застрахованій особі (або особам, які мають на це право) страхові виплати.

**Страховими випадками** за соціальним страхуванням від нещасних випадків відповідно до п.10 ч.1 ст.1 Закону про соцстрах є:

- нещасний випадок на виробництві або професійне захворювання (у тому числі встановлене чи виявлене в період, коли потерпілий не перебував у трудових відносинах з підприємством, на якому він захворів), що спричинили застрахованому професійно зумовлену фізичну чи психічну травму;
- нещасний випадок або професійне захворювання, яке сталося внаслідок порушення застрахованим нормативних актів про охорону праці.

При цьому підставою для оплати потерпілому витрат на медичну допомогу, проведення медичної, професійної та соціальної реабілітації, а також страхових виплат є акт розслідування нещасного випадку або акт розслідування професійного захворювання (отруєння) [16].

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

З 01 липня 2019р. введено в дію новий «Порядок розслідування та обліку нещасних випадків, професійних захворювань та аварій на виробництві», затверджений Постановою Кабінету міністрів України від 17.04.2019р. № 337.

Порядок визначає процедуру проведення розслідування та обліку нещасних випадків, професійних захворювань та аварій на виробництві, що сталися з особами, визначеними частиною першою статті 35 Закону України «Про загальнообов’язкове державне соціальне страхування».

Вимоги цього Порядку поширюються на всіх юридичних і фізичних осіб, які відповідно до законодавства використовують найману працю, та осіб, зазначених у пункті 1 цього Порядку.

У разі отримання інформації про нещасний випадок та/або гостре професійне захворювання (отруєння) від безпосереднього керівника робіт, повідомлення від закладу охорони здоров’я, заяви потерпілого, членів його сім’ї чи уповноваженої ним особи тощо роботодавець зобов’язаний протягом двох годин повідомити підприємствам (установам, організаціям), зазначеним в абзацах четвертому - дев’ятому п.8 Порядку, з використанням засобів зв’язку та не пізніше наступного робочого дня надати на паперовому носії повідомлення згідно з додатком 2 Порядку.

Повідомлення про нещасний випадок надається за місцем настання нещасного випадку та/або гострого професійного захворювання (отруєння), а у разі настання нещасного випадку внаслідок події (аварії, катастрофи тощо) під час руху транспортних засобів усіх видів – за місцем реєстрації підприємства (установи, організації):

- територіальному органу Держпраці;
- робочому органу Фонду;
- керівникові підприємства (установи, організації), на території якого сталися нещасний випадок та/або гостре професійне захворювання (отруєння), якщо потерпілий є працівником іншого підприємства (установи, організації);

- керівникові первинної організації профспілки незалежно від членства потерпілого в профспілці (у разі наявності на підприємстві (в установі, організації) кількох профспілок

- керівникові профспілки, членом якої є потерпілий), а у разі відсутності профспілки – уповноваженій найманими працівниками особі з питань охорони праці;

- уповноваженому органів чи наглядовій раді підприємства (у разі її утворення);

- органів ДСНС у разі, коли нещасний випадок стався внаслідок пожежі.

Для випадків, що підлягають спеціальному розслідуванню, у повідомленні про нещасний випадок, що надається територіальному органів Держпраці, роботодавцем зазначаються кандидатури представників підприємства (установи, організації) та уповноваженого органу чи наглядової ради підприємства (у разі її утворення) (із зазначенням їх прізвища, імені, по батькові, посади, контактних телефонів) для включення їх до складу спеціальної комісії.

Строк давності для розслідування нещасних випадків та/або гострих професійних захворювань (отруень) на виробництві становить три роки з дня їх настання.

Спеціальному розслідуванню підлягають:

- нещасні випадки із смертельними наслідками;
- групові нещасні випадки;
- випадки смерті працівників під час виконання ними трудових (посадових) обов'язків;
- гострі професійні захворювання (отруєння), що призвели до тяжких чи смертельних наслідків;
- нещасні випадки, факт настання яких встановлено у судовому порядку, а підприємство (установа, організація), на якому вони сталися, ліквідовано без правонаступника;

					<i>ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		52

- нещасні випадки, що спричинили тяжкі наслідки, у тому числі з можливою інвалідністю потерпілого;

- випадки зникнення працівника під час виконання трудових (посадових) обов'язків;

- нещасні випадки з особами, які працюють на умовах цивільно-правового договору, на інших підставах, передбачених законом, фізичними особами – підприємцями, особами, які провадять незалежну професійну діяльність, членами фермерського господарства;

- нещасні випадки, що сталися з особами, фактично допущеними до роботи без оформлення трудового договору (контракту).

На підприємстві (в установі, організації), не пізніше наступного робочого дня після отримання інформації про нещасний випадок та/або гостре професійне захворювання (отруєння), наказом роботодавця утворюється комісія з розслідування нещасних випадків та/або гострих професійних захворювань (отруєнь), що не підлягають спеціальному розслідуванню (далі – комісія).

Розслідування нещасного випадку та/або гострого професійного захворювання (отруєння) комісією підприємства (установи, організації) проводиться протягом п'яти робочих днів з дня утворення комісії.

Держпраці та/або її територіальним органом утворюється комісія із спеціального розслідування (далі — спеціальна комісія) протягом одного робочого дня після отримання від роботодавця письмового повідомлення про нещасний випадок

Спеціальне розслідування нещасного випадку та/або гострого професійного захворювання (отруєння) проводиться протягом 15 робочих днів.

Комісія (спеціальна комісія) зобов'язана:

- обстежити місце, де сталися нещасний випадок та/або гостре професійне захворювання (отруєння), аварія,

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

- вивчити наявні на підприємстві документи та матеріали стосовно нещасного випадку та/або гострого професійного захворювання (отруєння)
- визначити вид події, що призвела до нещасного випадку та/або гострого професійного захворювання (отруєння)
- з'ясувати обставини та причини настання нещасного випадку та/або гострого професійного захворювання (отруєння);
- визначити, пов'язані чи не пов'язані нещасний випадок та/або гостре професійне захворювання (отруєння) з виробництвом;
- скласти акт за формою Н-1 згідно з додатком 11 у кількості, визначеній рішенням комісії (спеціальної комісії); у разі настання групових нещасного випадку та/або гострого професійного захворювання (отруєння) скласти акти за формою Н-1 на кожного потерпілого;
- розглянути та підписати примірники актів за формою Н-1 (тимчасові акти за формою Н-1 у разі їх складення), а у разі незгоди члена комісії (спеціальної комісії) із змістом розділів 5, 6, 7, 8 такого акта – обов'язково підписати ці акти з відміткою про наявність окремої думки, яка викладається членом комісії письмово, в якій він обґрунтовано викладає пропозиції до змісту розділів 5, 6, 7, 8 акта (окрема думка додається до цих актів та є їх невід'ємною частиною);
- передати не пізніше наступного робочого дня після підписання актів за формою Н-1 матеріали розслідування та примірники таких актів керівнику підприємства (установи, організації) або органу, що утворив комісію (спеціальну комісію), для їх розгляду та затвердження;

Рішення щодо визнання нещасного випадку та/або гострого професійного захворювання (отруєння) пов'язаними чи не пов'язаними з виробництвом приймається комісією (спеціальною комісією) шляхом голосування простою більшістю голосів. У разі рівної кількості голосів членів комісії (спеціальної комісії) голос голови комісії (спеціальної комісії) є вирішальним [17].

					<i>ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		54

Стосовно здійснення контролю за своєчасністю і об'єктивністю розслідування нещасних випадків, їх документальним оформленням та обліком, виконанням заходів щодо усунення причин нещасних випадків, слід відзначити, що такий контроль покладено на органи державного управління, органи державного нагляду за охороною праці, виконавчу дирекцію Фонду соціального страхування від нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань, та її робочі органи, відповідно до компетенції.

Громадський контроль, в свою чергу, здійснюють профспілки через свої виборні органи і представників, а також уповноважені найманими працівниками особи з питань охорони праці [18].

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

## Список літератури

1. Дистанційний курс «Процеси та апарати хімічних виробництв». Тема 24. Дистиляція і ректифікація однорідних бінарних розчинів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://dl.sumdu.edu.ua/textbooks/22852/266144/index.html>.

2. 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.

3. Иоффе И.Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии / И.Л. Иоффе. – Л. : Химия, 1991. – 352 с.

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. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М. : Химия, 1973. – 752 с.

6. 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.

7. Лазинский А. А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / А. А. Лазинский, А. Р. Толчинский. – Л. : Машиностроение, 1970. – 752 с.

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

9. 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.

10. Врагов А. П. Матеріали до розрахунків процесів та обладнання хімічних і газонафтопереробних виробництв: Навчальний посібник / А. П.

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56



Врагов, Я. Е. Михайловський, С. І. Якушко. – За ред. А. П. Врагова. – Суми : Вид-во СумДУ, 2008. – 170 с.

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

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

13. 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.

14. 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.

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

16. Нещасний випадок на виробництві: порядок розслідування [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ibuh.info/neshhasnij-vipadok-na-virobnictvi-poryadok-rozsliduvannya>.

17. Фонд соціального страхування України. Узагальнена інформація з питань розслідування та ведення обліку нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на виробництві [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.fssu.gov.ua/fse/control/kiev/uk/publish/article/89164>.

18. Розслідування нещасних випадків на виробництві [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://minjust.gov.ua/m/str\\_6680](https://minjust.gov.ua/m/str_6680).

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		57