

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАК	5
ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД	9
1.1 Вибір способу розділення суміші	9
1.2 Обґрунтування та вибір способу розділення рідких однорідних сумішей	13
1.3 Фізико – хімічні основи процесу ректифікації	14
1.4 Вибір та обґрунтування схеми установки	17
1.5 Принципова схема ректифікаційної установки безперервної дії	17
1.6 Теоретичні основи процесу ректифікації	20
1.7 Технологічна схема установки	21
1.8 Вибір конструкції ректифікаційної колони	23
1.9 Вибір робочих умов процесу	24
1.10 Теорія масштабного переходу	32
РОЗДІЛ 2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	34
2.1 Опис експериментальної установки для гідравлічних і кінетичних досліджень тарілок провального типу з колоною $D = 0,057$ м.	34
2.2 Схема лабораторної установки	35
2.3 Експериментальне дослідження	35
2.4 Пуск колони	36
2.5 Зупинка колони	36
2.6 Експериментальні дані	37
2.7 Розрахунок основних параметрів роботи колони	38
2.8 Матеріальний баланс колони	41
2.9 Визначення середніх значень параметрів по колоні, фізико-хімічних і термодинамічних констант фаз	42

	4
РОЗДІЛ 3 КОНСТРУКТИВНА ЧАСТИНА	49
3.1 Визначення основних геометричних параметрів колони	49
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ	51
ВИСНОВКИ	63
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	64

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАК

- $g$  – прискорення сили тяжіння, м/сек<sup>2</sup>
- $F_c$  – живе перетин, м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>
- $a$  – ширина щілини, м
- $\gamma_z$  і  $\gamma_{жс}$  – питома вага відповідно газу і рідини, кг/м<sup>3</sup>
- $\mu_{жс}$  – в'язкість рідини, спз
- $D$  – діаметр колони, м
- $\omega$  – швидкість пара для повного перерізу колони в точці Е, м/сек<sup>2</sup>
- $\gamma_z$  і  $\gamma_p$  – питомі ваги газу (пара) і рідини, кг/м<sup>3</sup>;
- $g$  – прискорення сили тяжіння, м/с<sup>2</sup>;
- $d_e$  – еквівалентний діаметр щілини (отвору в тарілці), м;
- $F_c$  – вільний переріз тарілки, м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>;
- $\mu_p$  – густина рідини, сп;
- $\mu_v$  – густина води при 20°, сп.
- $G_f$  – кількість флегми, кг/год;
- $G_f$  – кількість вихідної суміши, кг/год;
- $G_n$  – кількість рідини, що проходить крізь низ колони, кг/год;
- $\rho_{рід}$  і  $\rho_n$  – питомі ваги газу (пара) і рідини, кг/м<sup>3</sup>;
- $g$  – прискорення сили тяжіння, м/с<sup>2</sup>;
- $d_0$  – діаметр отворів в тарілці, м;
- $f$  – вільний переріз тарілки, м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>;
- $\mu_{рід}$  – в'язкість рідини, Па·с;
- $\mu_v$  – в'язкість води при, 20°, Па·с;
- $V$  – витрата пари, м<sup>3</sup>/с;
- $L$  – щільність зрошення, м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>год);

$S$  – площа колони, м<sup>2</sup>

$D$  – внутрішній діаметр колони, м;

$S_0$  – площа отвору, м<sup>2</sup>;

$N$  – кількість отворів, шт;

## ВСТУП

Ректифікація – це тепло- і масообмінний процес розділення на фракції багатокомпонентної рідкої суміші шляхом її нагріву і випарювання легкокипящих компонентів.

Для отримання чистих легкокипящих компонентів ректифікацію ведуть так, щоб вверху ректифікаційної колони підтримувалася температура, близька до температури кипіння випарювального компоненту. Для підвищення чистоти легкокипящих компонентів, що виділяються, на верх ректифікаційної колони подають флегму (частина сконденсованого легкокипячого компоненту).

Кількість флегми надзвичайно сильно залежить від температур кипіння близьких по складу компонентів і конструктивного оформлення внутрішніх пристроїв.

Чим більше абсолютна кількість флегми, тим більше вимагається енергії на процес ректифікації.

Інтенсивність процесу ректифікації залежить від інтенсивності тепло- і масообмінних процесів в одиниці об'єму апарату. А сама інтенсивність процесу ректифікації залежить від величини питомої поверхні масообміну і значень коефіцієнтів тепло- і масопередачі.

Питома поверхня масообміну і коефіцієнта тепло- і масопередачі залежать від конструкції колон (внутрішніх пристроїв).

По конструктивному оформленню ректифікаційні колони підрозділяються на тарільчасті і насадкові.

Всі існуючі тарільчасті колони працюють за принципом барботажу піднімаючої пари через шар сконденсованої рідини на тарілках різного конструктивного оформлення.

В зв'язку з цим всі тарільчасті ректифікаційні колони мають дуже малу питому поверхню масообміну і невисокий коефіцієнт тепло- і масопередачі.

Провальні тарілки широко застосовуються в хімічній, нафто-хімічній та харчовій промисловостях. [ 1 – 6 ]

Тарілки такого типу прості за конструкцією легкі у виготовленні, мають низьку металоємність, що дає можливість зменшити витрати на їх виготовлення. Вони зручні в експлуатації.

Їх доцільно застосовувати на виробництвах з забрудненими середовищами. Це обумовлено тим, що в апаратах можна застосовувати крупно-дірчасті тарілки з діаметром отворів до 120 мм, що дозволяє усунути проблему з можливим забрудненням отворів.

До недоліків тарілок провального типу відносять вузький діапазон їх роботи, однак цей недолік можна усунути, шляхом точної методики розрахунку.

Рішенням цієї задачі і присвячена дана робота.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

#### 1.1 Вибір способу розділення суміші

В різних галузях хімічної технології існують процеси, де необхідне виділення компонентів у чистому вигляді із суміші рідин (органічний синтез, нафтопереробка, коксохімічна, харчова та спиртова промисловість, виробництво полімерів, розділення технологічних газів при їх глибокому охолодженні). Найбільш поширенні способи розділення рідин це проста перегонка, ректифікація та екстракція.

Для вибору способу розділення суміші метилового спирту та води необхідно знати початковий склад, концентрацію дистиляту, кубового залишку та фізико-хімічні властивості компонентів.

Метиловий спирт (метанол, карбоніл, деревний спирт) найпростіший представник одноатомних спиртів. Вперше був виділений Ж.Дюма та Е. Пелі в 1834 р. при сухій перегонці деревини.. Являє собою безбарвну рідину із запахом подібним до етилового спирту. З повітрям пари метилового спирту утворюють вибухонебезпечну суміш в межах  $6,72 \div 36,5\%$  об. Змішується з водою в будь-яких співвідношеннях, бензолом, чотирьохлористим вуглецем утворює азеотропні суміші. Горить блакитним полум'ям [7].

При звичайних умовах стійкий, при  $300 \div 400^{\circ}\text{C}$  і атмосферному тиску розкладається на CO та  $\text{H}_2$ . Одержують із природного та коксового газів при тиску  $30 \div 50$  МПа і температурі  $300 \div 375^{\circ}\text{C}$  на каталізаторі.

Застосовують у виробництві формальдегіду, пластмас, уротропіну, мочевино-формальдегідних добрив, додають для збільшення октанового числа моторних палив та для приготування розчинників.

Сильна отрута. Діє на нервово-судинну систему. При вживанні 5-10мл призводить до тяжкого отруєння, а 30 мл і більше до смерті. В пароподібному

стані діє на дихальні шляхи та слизисті оболонки очей, проникає через шкіру, вражає зорові нерви. При дії на вуглецеву сталь не проявляє агресивності [6].

Інші фізичні властивості метанолу наведені в таблиці 1.1.

Фракційна перегонка - спосіб перегонки з розділенням суміші на декілька фракцій, в різному ступені збагачених летким компонентом.

Цей процес має велике значення в хімічній техніці. Як приклади досить вказати на розділення природних вуглеводнів нафти і синтетичних вуглеводнів з метою отримання моторних палив, на виділення індивідуальних газів з їх сумішей шляхом попереднього зрідження і подальшої ректифікації рідкої суміші.

Завдання розділення багатоконпонентних сумішей в практиці зустрічається набагато частіше, ніж двокомпонентних, тому ректифікація багатоконпонентних сумішей є основним процесом ректифікації у виробництвах.

Ректифікація - розділення рідких однорідних сумішей на речовини, що становлять, або групи складових в результаті протиточної взаємодії парової суміші і рідкої суміші. При цьому пара безперервно збагачується низькокиплячим компонентом, а рідина - висококиплячим компонентом. Ректифікацією може бути досягнутий будь-який заданий ступінь розділення рідких сумішей. Ректифікація є складним процесом дистиляції.

Суть процесу ректифікації можна охарактеризувати як розділення рідкої суміші на дистилят і залишок в результаті протиточної взаємодії рідини з парами.

Процеси ректифікації здійснюються періодично або безперервно при різному тиску: під атмосферним тиском, під вакуумом (для розділення сумішей висококиплячих речовин), а також під тиском більше атмосферного.

Можливість розділення рідкої суміші на складові її компоненти ректифікацією обумовлена тим, що склад пари, що утворюється над рідкою сумішшю, відрізняється від складу рідкої суміші в умовах рівноважного стану пари і рідини. Відомі рівноважні дані для конкретної суміші дозволяють



проаналізувати можливість розділення цієї суміші, знайти граничні концентрації розділення і розрахувати рушійну силу процесу.

Апарати, призначені для проведення процесів абсорбції і ректифікації, називають відповідно абсорберами і ректифікаційними колонами. Залежно від способу створення поверхні фазового контакту ці апарати можна підрозділити на три основні групи:

А) апарати, в яких поверхнею фазового контакту є поверхня рідини, що розтікається по спеціальній насадці;

Б) апарати, в яких поверхня фазового контакту створюється потоками газу (пари) і рідини;

В) апарати, в яких поверхня фазового контакту створюється шляхом розбризування рідини; Апарати, в яких поверхнею фазового контакту є поверхня рідини, що розтікається по насадці. До апаратів цього типу відносяться плівкові апарати і апарати із змоченою насадкою.

Плівкові апарати виконують переважно у вигляді листової (плоскопаралельної) насадки, а в деяких випадках у вигляді трубчастих теплообмінників.

Апарати із змоченою насадкою виконуються у вигляді циліндричної колони, заповненої тілами насадки (колони насадкові).

У промисловості застосовують ковпачкові, ситчасті і насадкові колони. Вони розрізняються в основному конструкцією внутрішнього устрою апарату, призначення якого — забезпечення взаємодії рідини і пари. Ця взаємодія відбувається при барботуванні пари через шар рідини на тарілках (ковпачкових або ситчастих) або при поверхневому контакті пари і рідини на насадці.

1.2 Апаратурне оформлення процесів перегонки рідини Процес перегонки рідини здійснюють в установці, що включає колону ректифікації, дефлегматор, холодильник-конденсатор, підігрівач початкової суміші, збірник дистилату і кубового залишку. Дефлегматор, холодильник-конденсатор і підігрівач є звичайними теплообмінниками. Основним апаратом установки є ректифікаційна колона, в якій пара рідини, що переганяється піднімається

знизу, а назустріч парі зверху стікає рідина, що подається у верхню частину апарату у вигляді флегми. В більшості випадків кінцевими продуктами є дистилат (сконденсована в дефлегматорі пара легколетучого компонента, що виходять з верхньої частини колони) і кубовий залишок (менш леткий компонент в рідкому вигляді, витікаючий з нижньої частини колони).

Вода – найпростіша стійка сполука водню з киснем. В звичайних умовах рідина без запаху, смаку та кольору. Входить до складу різних мінералів (глини, піску), знаходиться в рослинах та тваринах, присутня в землі та атмосфері.

Здатна розчиняти більшість неорганічних кислот, солі, газу ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_3$  та ін.). Із органічних речовин розчиняє лише ті, в молекулах яких присутні в значній мірі полярні групи (спирти, аміни, нітрили, органічні кислоти, цукор).

В природних умовах з вмістом до 0,1% розчинених в ній солей називається прісною, від 0,1 до 5% - мінералізованою.

Фізичні параметри води наведені в таблиці 1.1. при  $t=20^\circ\text{C}$ .

Таблиця 1.1.–Фізичні властивості метанолу та води

Компонент	Хімічна Формула	$T_{\text{кип.}}$ $^\circ\text{C}$	Молярна маса кг/к· моль	Тиск насиченої пари, мм рт.ст.	Густина, кг/м <sup>3</sup>	В'язкість , Па·с	Теплота паро- утворення, кДж/кг	Теплоємність, кДж/кг· К	Коефіцієнт тепло- провідності, Вт/м·К
Метил- вий спирт	$\text{CH}_3\text{O}$ Н	64,5	32	88,92	792	$0,584 \cdot 10^{-3}$	1173	2,658	0,212
Вода	$\text{H}_2\text{O}$	100	18	21,88	998	$1 \cdot 10^{-3}$	2493	4,19	0,599

Таким чином, компоненти суміші метанол-вода необмежено розчинні, термічно стійкі, мають значну різницю температур кипіння (метанол-низькокиплячий компонент, вода – висококиплячий).

Тому екстракцію, яку застосовують для розділення сильно розбавлених, термічно нестійких та близькокиплячих компонентів сумішей, приймати недоцільно.

## **1.2 Обґрунтування та вибір способу розділення рідких однорідних сумішей**

Одним з найбільш розповсюджених методів розділення рідких однорідних сумішей, які мають у своєму складі два, або більше компонентів, є перегонка (дистиляція і ректифікація). Перегонка включає часткове випарювання бінарної суміші з послідуною конденсацією утвореної пари.

За допомогою перегонки розділяють суміші, всі складові компоненти яких мають різну леткість при одній і тій же температурі. Якщо суміш в своєму складі має два компонента (бінарна), то при перегонці пар буде мати більше низькокиплячого компонента (Н.К.), в порівнянні з вихідною сумішшю. Таким чином, в процесі перегонки рідинна фаза збіднюється, а парова збагачується н.к. Рідина, яка не випарувалась, має склад більш багатий висококиплячим компонентом (В.К.). Ця рідина називається кубовим залишком, а рідина, що отримана в результаті конденсації пари – дистилятом, або ректифікатом. Степінь збагачення парової фази н.к. при рівних умовах залежить від виду перегонки. Існують два принципово відмінних виду перегонки: проста перегонка (дистиляція) та ректифікація.

Проста перегонка – це процес одноразового часткового випарювання рідкої однорідної суміші та конденсації утвореної пари.

Перегонка буває декілька видів: фракційна перегонка, перегонка з дефлегмацією, перегонка з водяною парою.

Просту перегонку застосовують тільки для розділення однорідних сумішей, леткості яких дуже різняться, тобто для попереднього грубого розділення.

Значно більш повне розділення рідких сумішей на компоненти досягається шляхом ректифікації.

### 1.3 Фізико – хімічні основи процесу ректифікації

Ректифікація – це процес розділення рідких однорідних сумішей на складові компоненти шляхом багаторазового часткового випаровування рідини з послідуною конденсацією утвореної пари, яке не знаходяться в термодинамічній рівновазі і рухаються протитечією. Контактуючі потоки рідини і пари мають різну температуру.

При ректифікації досягається достатньо висока степінь розділення. Суть процесів, з яких складається ректифікація і результати, отримані при цьому можна прослідкувати з допомогою  $t - x, y$  – діаграми (рис. 2.1.). Де  $x$  – мольна частка низькокиплячого компонента в рідинній фазі, а  $y$  – мольна частка низькокиплячого компонента в паровій фазі, рівноважної з рідинною при відповідній температурі  $t$ .

Нагриваючи вихідну суміш складу  $x_1$  до температури кипіння, отримуємо пару, що знаходиться в рівновазі з рідиною (точка  $b$ ). Відбір і конденсація цієї пари дають рідину складу  $x_2$ , збагачену Н.К. ( $x_2 > x_1$ ). Нагриваючи цю рідину до температури кипіння  $t_2$ , отримуємо пару (точка  $d$ ), конденсація якої дає рідину з ще більшим складом Н.К. ( $x_3$ ) і т.д. Проводячи таким чином послідовно ряд процесів випарювання рідини і конденсації пари, можна отримати в кінцевому результаті рідину (дистиллят), яка представляє собою практично чистий Н.К.

Зображення процесу розділення бінарної суміші шляхом ректифікації на діаграмі  $t - x, y$

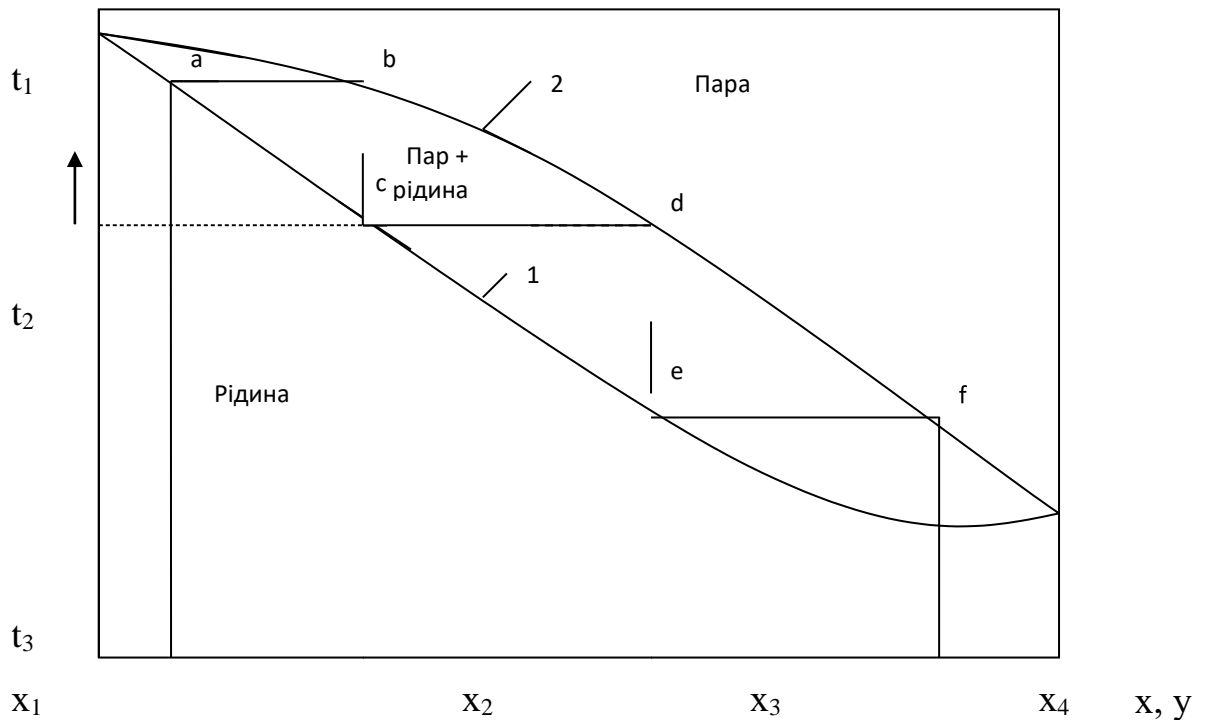


Рисунок 1.1 – 1 – ізобара кипіння (випаровування); 2 – ізобара конденсації

Аналогічно, виходячи із парової фази, яка відповідає складу рідини  $x_4$ , шляхом проведення ряду послідовних процесів конденсації та випаровування можна отримати рідину (кубовий залишок), що складається майже цілком із висококиплячого компонента.

При взаємодії фаз між ними протікає масо - і теплообмін. В результаті кожного контакту компоненти перерозподіляються між фазами: пара збагачується н.к., а рідина – в.к.

Шляхом ректифікації можна розділяти однорідні ідеальні рідинні суміші з необмеженою розчинністю. Ці суміші підлягають законам Рауля і Дальтона.

Закон Рауля – якщо суміші складаються з компонентів А і В, то парціальний тиск кожного компонента, наприклад А, буде прямопропорційно його мольній долі у рідинній фазі.

Закон Рауля для компоненту А:

$$P_a = P_a^* \cdot X_a,$$

де  $P_a$  – парціальний тиск компоненту А у паровій фазі;  $P_a^*$  – тиск насиченої пари над чистим компонентом А;  $X_a$  – мольна доля компоненту А у суміші.

Закон Рауля для компоненту В:

$$P_B = P_B^* \cdot X_B = P_B^* (1 - X_a)$$

Де  $P_B$  – парціальний тиск компоненту В у паровій фазі над сумішшю;

$P_B^*$  – тиск насиченої пари над чистим компонентом В – леткістю;  $X_B$  – мольна доля компоненту В в вихідній суміші.

Закон Дальтона – згідно закону загальний тиск пари над сумішшю дорівнює сумі парціальних тисків його компонентів:

$$P = P_a + P_B = P_a^* X_a + P_B^* (1 - X_a)$$

На підставі законів Рауля та Дальтона можна визначити рівноважний вміст рідинної та парової фаз.

Вміст компоненту А в рідинній фазі:

сумішшю.

$y_A^*$  - вміст компоненту А в паровій фазі рівноважного з вихідною

Неідеальні суміші (реальні) мають позитивне або негативне відхилення від закону Рауля. Для цілого ряду таких сумішей кількісні відхилення від закону Рауля настільки великі, що приводять до якісно нових властивостей сумішей. При деякому складі такі суміші мають постійну температуру кипіння, яка може бути мінімальною, або максимальною, а ці суміші мають назву азеотропних, або нероздільно киплячих. Для них склад рівноважної пари над сумішшю дорівнює складу рідини при постійній температурі кипіння ( $y = x$ ). Фазові діаграми азеотропних сумішей представлені на рис. 2.2.

Розділення азеотропних сумішей можливо лише з допомогою спеціальних видів перегонки, які реалізуються шляхом введення в систему допоміжного компонента.

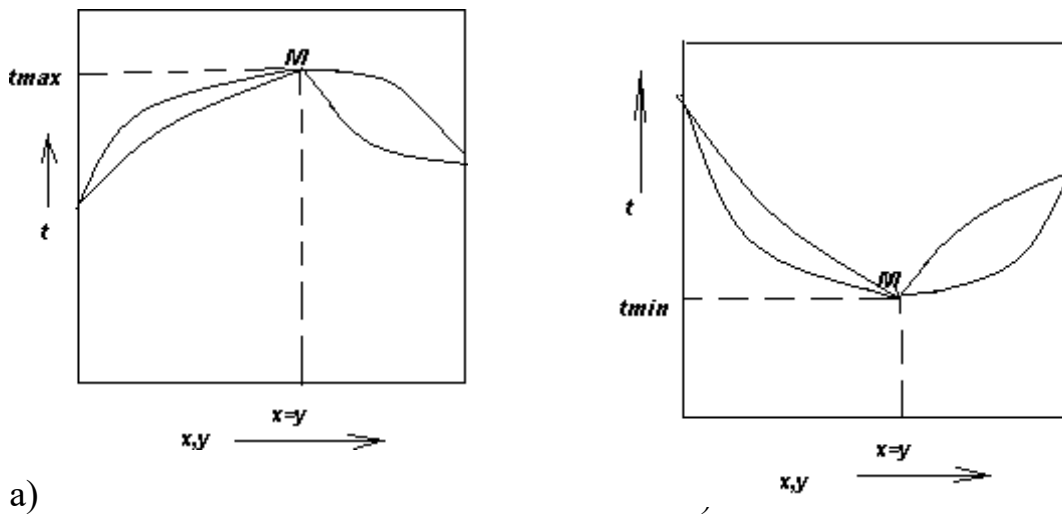


Рисунок 1.2 – Фазові діаграми азеотропних сумішей

а) – фазова діаграма азеотропної суміші з максимумом температури кипіння; б) – фазова діаграма азеотропної суміші з мінімумом температури кипіння

#### 1.4 Вибір та обґрунтування схеми установки

Обґрунтування прийнятої до проектування технологічної схеми ректифікаційної установки безперервної дії виконується на основі заданих показників для роботи ректифікаційної колони по продуктивності вихідної суміші, що розділяється, її складу, вмісту низькокиплячого та висококиплячого компоненту, їх фізичних властивостей, тиску в апараті та ступені розділення.

В хімічній, нафтохімічній та інших галузях використовують процеси ректифікації періодичні, або безперервні.

При безперервній ректифікації умови роботи установки, тобто витрата, склад початкової суміші, температурний режим, вихід цільових компонентів (дистиляту та кубового залишку), гріючої пари і охолоджуючої води не змінюються на протязі всього процесу. Це дає можливість встановити точний режим роботи установки, спростити обслуговування, проводити процес з

допомогою програмного управління в оптимальних умовах, полегшує автоматизацію процесу. Відсутність простоїв між операціями підвищує продуктивність установки та зменшує витрату теплоносія (гріючої пари) на процес ректифікації.

### **1.5 Принципова схема ректифікаційної установки безперервної дії**

Принципова схема ректифікаційної установки безперервної дії наведена на рис. 2.3. Вихідна суміш, яка містить низькокиплячий та висококиплячий компоненти із проміжної ємкості 11 насосом 10 подається в теплообмінник – підігрівач 5, в якому нагрівається до температури кипіння, а потім поступає в ректифікаційну колону 1 на так звану тарілку живлення, яка поділяє колону на верхню частину (укріплюючу) та нижню (вичерпну). На тарілці живлення рідина змішується з флегмою, яка знаходиться в укріплюючій частині колони і, стікаючи по тарілках або насадці, взаємодіє з парою, що підіймається назустріч. При цьому з рідини видаляється низькокиплячий (легколеткий) компонент. Таким чином у вичерпній частині колони відбувається процес ректифікації.

У куб колони 2 стікає рідина, яка складається майже повністю з висококиплячого компонента. Її частина, так званий кубовий залишок, безперервно відводиться та охолоджується в теплообміннику – холодильнику 7 і подається в ємкість 8. Решта рідини випаровується завдяки глухій парі, що підводиться до куба колони. Куб може бути виносним або вбудованим в колону.

Парова фаза підіймається по всій колоні знизу до верху, взаємодіє з флегмою в укріплюючій частині колони, насичується низькокиплячим компонентом і надходить до дефлегматора 3. Тут частина пари конденсується та, проходячи скрізь дільник 4, повертається до колони, в якій стікає у вигляді флегми зверху до низу. Друга частина пари надходить до холодильника – конденсатора 6, де відбувається її конденсація та охолодження отриманого дистилату. Охолоджений дистилат збирається в ємкості 9.



Ректифікаційна установка безпервної дії може працювати з повною або частковою конденсацією пари в дефлегматорі.

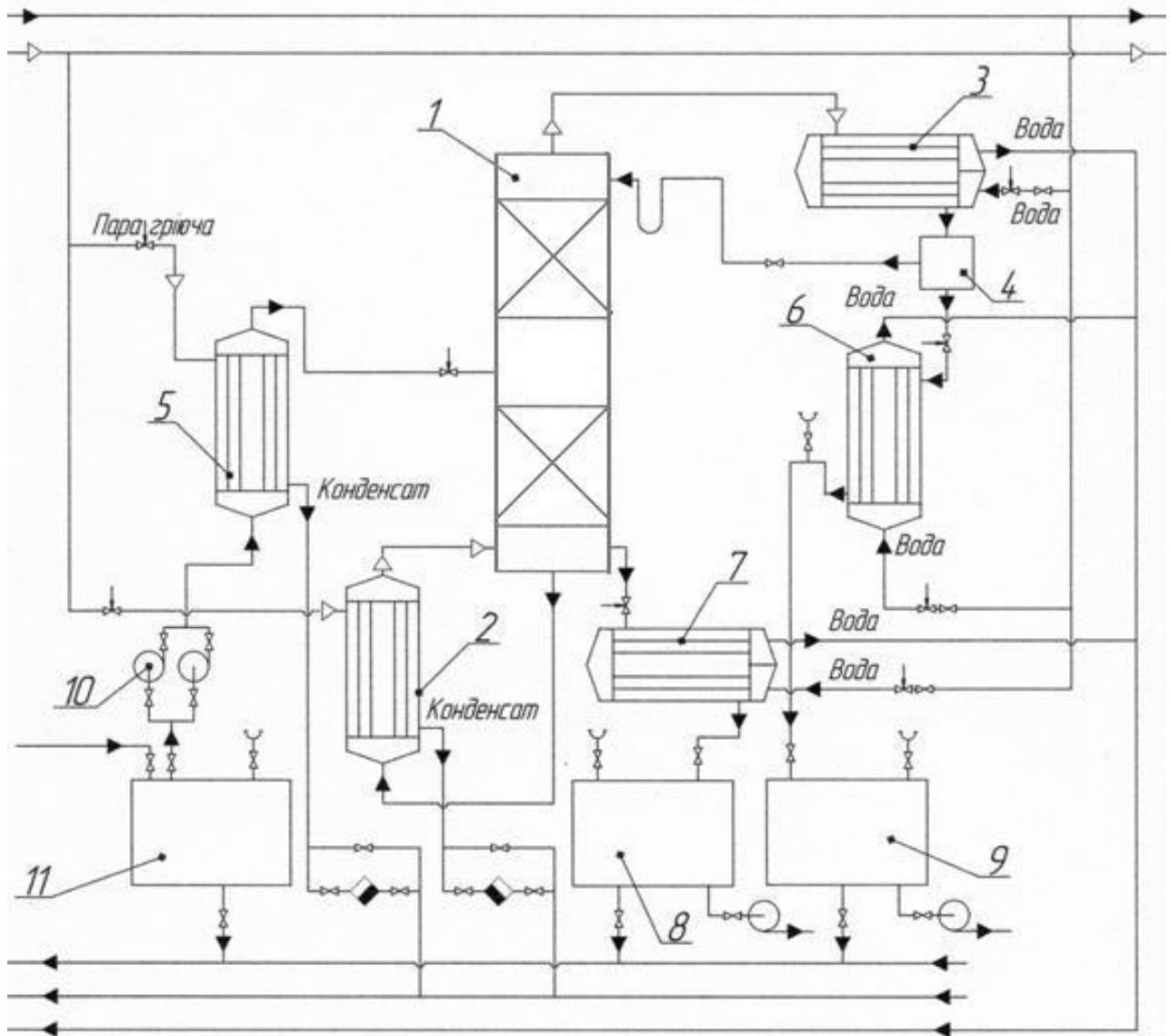


Рисунок 1.3 – Принципова схема ректифікаційної установки безпервної дії: 1 – ректифікаційна колона, 2 – кип'ятильник; 3 – дефлегматор; 4 – дільник флегми; 5 – підігрівач вихідної суміші; 6 – холодильник дистилляту (конденсатор-холодильник); 7 – холодильник кубового залишку; 8 – ємкість-збирач кубового залишку; 9 – ємкість-збирач дистилляту; 10 – насос; 11 – ємкість вихідної суміші.

## 1.6 Теоретичні основи процесу ректифікації

Для розділення однорідних сумішей рідин з одержанням продуктів будь-якої концентрації, з високим виходом, застосовують процес ректифікації.

Ректифікація являє собою процес багаторазового часткового випарювання рідини та конденсації утвореної пари. Процес здійснюється шляхом контакту потоків рідини та пари, які мають різну температуру та рухаються протитечією в спеціальних колонних апаратах. При кожному контакті із пари в рідині частково конденсується переважно висококиплячий компонент суміші (ВК), а із рідини, за рахунок теплоти конденсації, випаровується переважно низькокиплячий компонент (НК). Таким чином, піднімаючись вгору, пара збагачується НК, а стікаюча вниз рідина – ВК. Такий двосторонній обмін компонентами, який повторюється багаторазово, дозволяє одержати пару, яка складається з майже чистого НК. Ця пара після конденсації в окремому апараті ділиться на дистилат (ректифікат) і флегму – рідину, яку повертають назад для зрошення колони та взаємодії з параю, яка підіймається з нижньої частини колони (куба).

Рідина, яка накопичується внизу колони називається кубовим залишком і складається з майже чистого ВК [4].

Суть процесів, із яких складається ректифікація та одержані при цьому результати, можна прослідкувати за допомогою діаграми  $t - x, y$  (рис. 1.1).

Нагрівши вихідну суміш, вміст НК в якій  $x_1$ , до температури  $t_1$ , одержимо пару, яка знаходиться в рівновазі з рідиною (точка  $e$ ). Відбір і конденсація цієї пари дають рідину складу  $x_2$ , вміст НК в якій помітно вищий ( $x_2 > x_1$ ). Якщо цю рідину знову нагріти до температури кипіння  $t_2$ , одержимо пару (точка  $d$ ), конденсація якої дасть рідину з ще більшим вмістом НК, склад якої  $x_3$  і так далі.

Здійснюючи таким чином послідовно ряд процесів випарювання рідини та конденсації пари, можна одержати рідину (дистилат), яка являє собою практично чистий НК.

При взаємодії фаз між ними виникає тепло- і масообмін, причому стан рівноваги не досягається. У зв'язку з цим, процес контактування фаз слід здійснювати багаторазово.

Такий процес може бути реалізований у ректифікаційній колоні, яка являє собою вертикальний циліндричний апарат, заповнений всередині спеціальними розподільними пристроями, які служать для створення найбільш повного контакту між рідинною та паровою фазами.

### **1.7 Технологічна схема установки**

Ректифікація може здійснюватись на установках безперервної або періодичної дії. У порівнянні з періодичною, безперервна ректифікація має такі переваги:

- 1) умови роботи установки не змінюються в ході процесу, що дозволяє вести точний режим, спрощує обслуговування і полегшує автоматизацію операцій;
- 2) відсутність простоїв між операціями, що приводить до підвищення продуктивності установки;
- 3) менші теплові втрати, причому є можливість використання тепла кубового залишку на попередній підігрів суміші [4].

Завдяки переліченим перевагам, на виробництвах значного масштабу використовують, головним чином, безперервну ректифікацію.

Періодично працюючі ректифікаційні установки знаходять використання в невеликих, нерівномірно працюючих виробництвах.

За умовою, продуктивність установки незначна і складає 5000 кг за 3 години роботи або 0,462 кг/с, а ступінь розділення суміші досить висока, Тому приймаємо ректифікаційну установку періодичної дії, принципова схема роботи якої наведена на рис. 1.1.

Вихідну суміш завантажують у куб 1, який обладнаний нагрівальним пристроєм 2. Суміш підігрівається до кипіння і її пара надходить до нижньої частини колони, яка заповнена насадкою 3, на якій контактують пара та рідина. Піднімаючись вгору, пара збагачується НК (метанолом), яким збіднюється стікаюча вниз флегма, що надходить з дефлегматора 4 через розподільник 5 на верхню поверхню насадки 3.

У дефлегматорі 4 пара, яка надходить з колони 2, частково або повністю конденсується. У випадку повної конденсації вона за допомогою розподільника 5 ділиться на флегму та дистилат, який охолоджується в холодильнику 6 і направляється в збірник 7.

Після того, як досягнутий заданий склад залишку в кубі (про це судять за температурою кипіння), його зливають, завантажують в куб нову вихідну суміш і операцію повторюють.

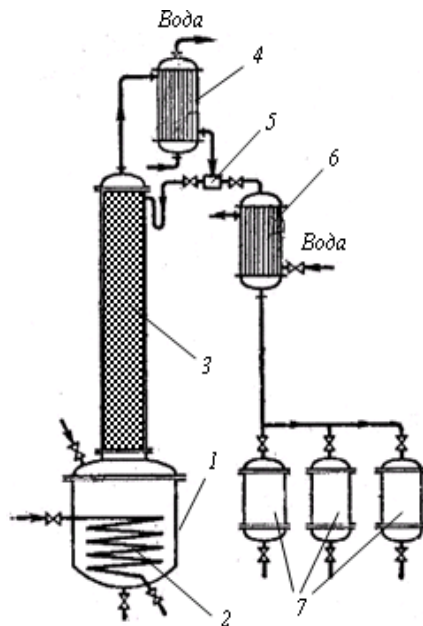


Рисунок 1.4 – Принципова технологічна схема ректифікаційної установки періодичної дії: 1 – куб; 2 – нагрівальний пристрій; 3 – насадка; 4 – дефлегматор; 5 – розподільник флегми; 6 – холодильник дистилату; 7 – збірник дистилату

## 1.8 Вибір конструкції ректифікаційної колони

При виборі ректифікаційної колони керуються вимогами, які пред'являються до будь-якого хімічного апарата: простота в обслуговуванні, висока продуктивність, міцність, корозійна стійкість, довговічність, невисока вартість та ін.

Для ректифікації застосовують виключно апарати колонного типу – барботажні (тарілчасті) та насадкові ректифікаційні колони [8]. В барботажних колонах пара та рідина стикаються на спеціальних пристроях – тарілках. Особливістю тарілчастих колон на відміну від насадкових є ступінчатий характер зміни концентрації процесу.

Найбільш розповсюджені в процесах ректифікації тарілчасті колони як більш продуктивні, можуть працювати в широкому діапазоні навантажень і забезпечувати достатньо чітке розділення сумішей. Конструкції тарілок різноманітні та досить складні, мають відносно високий гідравлічний опір, для подолання якого необхідно підвищувати тиск і

температуру кипіння в кип'ятильнику. Перевагою насадкових колон є простота устрою, можливість роботи з агресивними рідинами, більш низький, ніж в тарілчастих, гідравлічний опір. Вони заповнені насадкою – твердими тілами різної форми, які утворюють поверхню контакту між парою та рідиною та є більш дешевими в порівнянні з барботажними.

Рідина на кожному елементу насадки стікає у вигляді плівки, яка в деяких випадках не повністю її змочує. Внаслідок цього насадкові колони менш ефективні, ніж тарілчасті.

Не дивлячись на це, для невеликої продуктивності (0,462 кг/с вихідної суміші) приймаємо насадкову колону, ефект змочування в якій може бути поліпшений шляхом установки перерозподільних пристроїв.

Устрій насадкової ректифікаційної колони наведений на рис. 1.2. Насадка 1 вкладається на опорні решітки 2, які мають отвори або щілини для проходу пари та рідини. Насадка зрошується флегмою, яка за допомогою розподільної

тарілки зрівномірно по ній розподіляється. Із-за наявності пристіночного ефекту рідина розтікається від центру насадки до периферії. Тому для покращення змочування насадки її укладають шарами (секціями), між якими встановлюють перерозподільні пристрої 4 (тарілки).

## 1.9 Вибір робочих умов процесу

Процеси ректифікації здійснюють під атмосферним тиском, підвищеним або під вакуумом.

Тиск більший за атмосферний застосовують для сумішей, які є газоподібними при нормальних температурах. Ректифікацію під вакуумом доцільно застосовувати для суміші висококиплячих рідин.

Так, як температура кипіння висококиплячого компонента (вода) становить  $100^{\circ}\text{C}$ , то приймаємо тиск у колоні атмосферним.

В якості гріючого агента, який подаємо в куб-кип'ятильник установки, приймаємо насичену водяну пару, як більш доступну та дешеву за інші теплоносії (електронагрів, димові гази). Тиск і температура пари будуть уточнені нижче.

В дефлегматорі пара, яка надходить із колони, може бути сконденсованою частково або повністю. У першому випадку частина конденсату відповідає кількості флегми, яка повертається в колону, а несконденсована пара охолоджується і конденсується в холодильнику-конденсаторі. У другому випадку, частина конденсату, яка залишилась після відділення флегми, є дистиллятом і направляється в холодильник дистилляту. Дефлегматор при цьому може бути розміщений не на самій колоні, а за її межами, що більш економічно в умовах помірного клімату.

В якості охолоджуючого агента приймаємо технічну воду оборотного циклу підприємства. Початкова температура води  $t_{en}=20^{\circ}\text{C}$ . З умови запобігання утворення осаду або накипу кінцеву температуру води приймаємо  $t_{ек} = 45^{\circ}\text{C}$ .

### 1. Розрахунок режимів роботи тарілок

Критична точка переходу до хвильового режиму від режиму емульгування (рис 3), тобто точку Е, за посібником Ю. Р. Зелінського [16] пропонується знаходити по рівнянню:

$$\lg \left( \frac{\omega^2}{gF_c^2 a} \cdot \frac{\gamma_r}{\gamma_{ж}} \cdot \mu_{ж}^{0,16} \right) = 0,04 \frac{D}{a} - 1,75 \left( \frac{L}{G} \right)^{1/4} \cdot \left( \frac{\gamma_r}{\gamma_{ж}} \right)^{1/8} \quad (2)$$

де  $\omega$  – швидкість пара в точці Е, м/сек<sup>2</sup> для повного перерізу колони

$g$  – прискорення сили тяжіння, м/сек<sup>2</sup>

$F_c$  – перетин, м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>

$a$  – ширина щілини, м

$D$  – діаметр колони, м

$L$  і  $G$  – навантаження по рідині і газу, кг/м<sup>2</sup>сек

Для того, щоб визначити максимальну допустиму швидкість і вибрати робочу швидкість в колоні, використовуємо це рівняння.

Аналогічна формула запропонована А. Р. Касаткіним та ін [17] для точок В-С (підвисання).

$$\lg \left( \frac{\omega^2}{gF_c^2 a} \cdot \frac{\gamma_r}{\gamma_{ж}} \cdot \mu_{ж}^{0,16} \right) = 1 - 2,45 \left( \frac{L}{G} \right)^{1/4} \cdot \left( \frac{\gamma_r}{\gamma_{ж}} \right)^{1/8}$$

Останній метод базується на кореляції двох комплексних величин Х і У. До кожної з цих величин входять параметри, які визначають роботу провальної тарілки.

Для визначення залежності від різних чинників граничних швидкостей в колоні з тарілками провального типу, було побудовано графік (рис. 10.), який є аналогічним раніше запропонованому для визначення граничних швидкостей у колонах з масообмінними насадками.

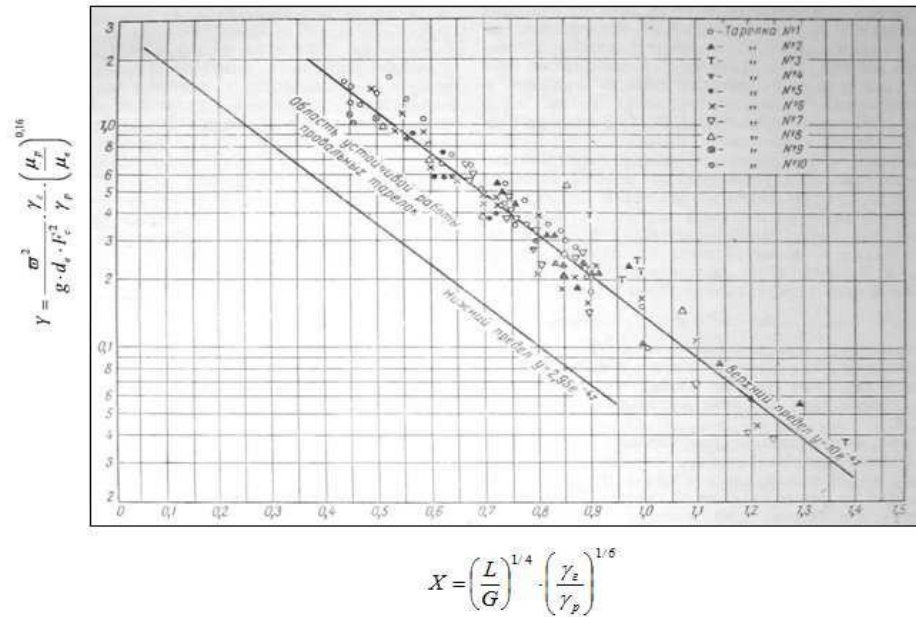


Рисунок 1.5 – Залежність відношення вагових швидкостей потоків від граничної швидкості газу (пара) (швидкості захлинання) у колонах з тарілками провального типу, їхні фізичні властивості і визначальні розміри тарілок ( $D_k = 0,075$  і  $0,240$  м,  $f = 0,13 - 0,4$ )

По осі абсцис нанесено комплекс

$$X = \left( \frac{G_p}{G_n} \right)^{1/4} \cdot \left( \frac{\rho_g}{\rho_p} \right)^{1/8} \quad (3)$$

а по осі ординат комплекс

$$Y = \frac{w^2}{g \cdot d_0 \cdot f^2} \cdot \frac{\rho_g}{\rho_p} \cdot \left( \frac{\mu_p}{\mu_w} \right)^{0,16} \quad (4)$$

де:  $L$  і  $G$  – вагові швидкості рідини і газу (пара),  $\text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{год}$ ;

$\gamma_g$  і  $\gamma_p$  – питомі ваги газу (пара) і рідини,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$g$  – прискорення сили тяжіння,  $\text{м}/\text{с}^2$ ;

$d_e$  – еквівалентний діаметр отвору в тарілці, м;

$F_c$  – вільний переріз тарілки,  $\text{м}^2/\text{м}^2$ ;

$\mu_p$  – густина рідини, сп;

$\mu_w$  – густина води при  $20^\circ$ , сп.



Досліджуючи тарілки з живим перерізом, рівним від 0,13 до 0,4 з діаметром отворів від 3 до 8,4 мм, автори [17, 18] знайшли те, що робоча зона тарілок знаходиться між двома прямими лініями.

Відношення  $L/G$  у дослідах змінювалося від 2,5 до 148, а швидкість – газу від 0,20 до 3,78 м/с. Швидкість захлинання або гранична швидкість газу  $U$ , м/с, визначалася візуально по різкому зростанню висоти шару піни на тарільці і по різкому збільшенню опору тарілки.

Для перевірки отриманих результатів на графіку були показані також дослідні дані інших авторів. З графіка випливає те, що точки, які відповідають отриманим даним про швидкості захлинання на тарілках провального типу, отримані на чотирьох системах газ – рідина, а також дані інших авторів для систем пар – рідина досить задовільно можна укласти на одну пряму (у напівлогарифмічних координатах), яку можна описати рівнянням:

$$Y = 10 \lg e^{1g4 x}, \quad (5)$$

де:  $e$  – основа натуральних логарифмів.

Отже, за рівнянням (5) можна визначити граничну швидкість газу (пари), але робоча швидкість має бути вибрана декілька більш нижчою за розраховану за рівнянням (5), оскільки у виробничих умовах можливе збільшення швидкості вище граничної, що призводить до порушення режиму роботи апарату. Нижня межа роботи тарілок провального типу обумовлюється повним зливом рідини з тарілок. Значення цієї швидкості можна визначити за допомогою дослідних даних, які представлені нижньою похилою прямою (рис. 10). Ця пряма має однаковий нахил із прямою верхньої межі роботи (захлинання) тарілок і відповідає рівнянню  $Y \approx 2,95 \cdot e^{-0,4x}$  (6)

У роботі [19] було проведено гідравлічні дослідження роботи тарілок провального типу в широкому діапазоні зміни вільного перерізу тарілок від  $f = 16$  до 36 % у колонах різного діаметру  $D = 0,057, 0,15, 0,4$  і  $0,5$  м. Діаметр

отворів тарілок в колоні  $D = 0,057$  м складав  $d_0 = 0,005$  м. В решті колон –  $d_0 = 0,008$  м. Навантаження за рідиною змінювалися в межах  $L = 4 - 150$  м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>год, швидкість газу в перерізі колони досягала  $w = 4$  м/с. Було також проведено гідравлічні та кінетичні дослідження тарілок провального типу на стенді з колоною  $D = 0,3$  м при ректифікації системи нітролеум-йод. На стенді з колоною  $D = 0,15$  м досліджували масообмін при десорбції двоокису вуглецю з води азотом. На стенді з колоною  $D = 0,057$  м вивчали теплообмін у барботажному шарі між нагрітим повітрям і водою.

У процесі досліджень вимірювали гідравлічний опір тарілок, висоту барботажного шару і ефективність тарілок за різними співвідношеннями між газовою і рідкою фазою.

Було встановлено три гідродинамічні режими роботи тарілок провального типу:

- режим однорідного барботажного шару;
- режим рухомого газорідинного шару;
- режим руйнування газорідинного шару.

Режим рівномірного барботажу характеризується однорідною за всіма напрямками структурою чарункуватої піни, горизонтальною вільною поверхнею барботажного шару, висота якої не змінюється з часом для одних і тих самих швидкостей газової і рідкої фаз. Це говорить про те, що у барботажному шарі сили тяжіння перевищують над силами інерції рідини.

За висотою барботажного шару  $H = 0,08 - 0,1$  мм починається режим рухомого барботажного шару, який характерний відсутністю структурованої чарункуватої піною та криволінійною вільною поверхнею барботажного шару. Локальні висоти вільної поверхні барботажного шару змінюються з часом, також мають амплітуду і частоту для одних і тих самих швидкостей газової і рідкої фази.

Режим руйнування газорідинного шару характеризується руйнуванням барботажного шару.

В роботі експериментально встановлено, що режим рухомого барботажного шару починається при висоті барботажного шару  $H = 0,08 - 0,1$  мм, при цьому рідинна фаза барботажного шару є суцільною, а газова (парова) – дисперсною. Перш за все це стосується тарілок провального типу звичайного вільного перерізу (до 25%).

У роботі зроблено наступні висновки:

- максимальна ефективність тарілок провального типу досягається при режимі рухомого барботажного шару;
- режим рухомого барботажного шару починається при висоті барботажного шару  $H = 0,08 - 0,1$  мм для всіх досліджених тарілок провального типу і навантажень за газом та рідиною, коли рідинна фаза барботажного шару є суцільною, а газова (парова) – дисперсною;
- початок максимально ефективної роботи тарілок провального типу необхідно вважати за настанням режиму рухомого барботажного шару.

Авторами було зроблено розрахунки з написаних вище рівнянь та отримано результати у вигляді графіків.

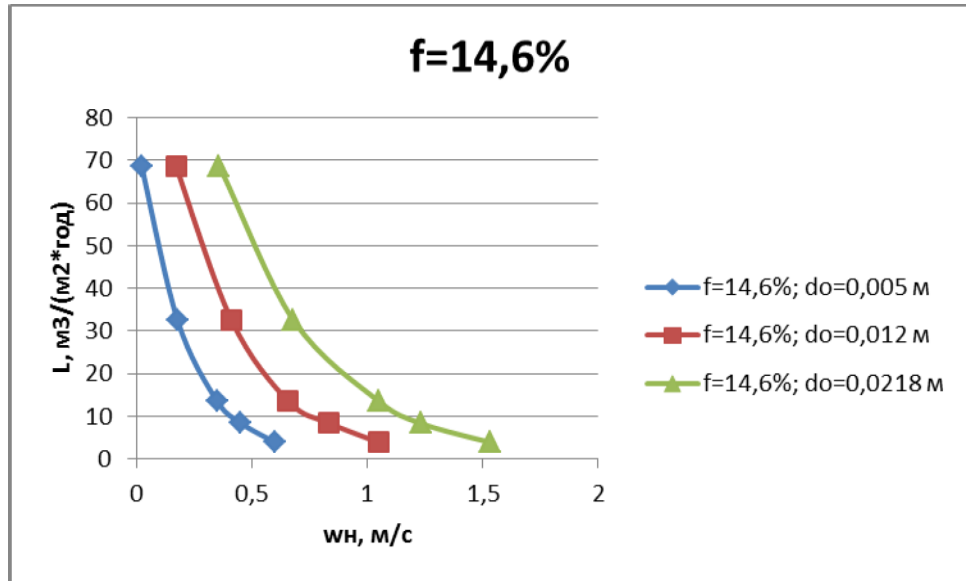


Рисунок 1.6 – Залежність  $w_n = f(L)$  для тарілок провального типу з вільним перерізом  $f = 14,6\%$  і різним діаметром отворів.

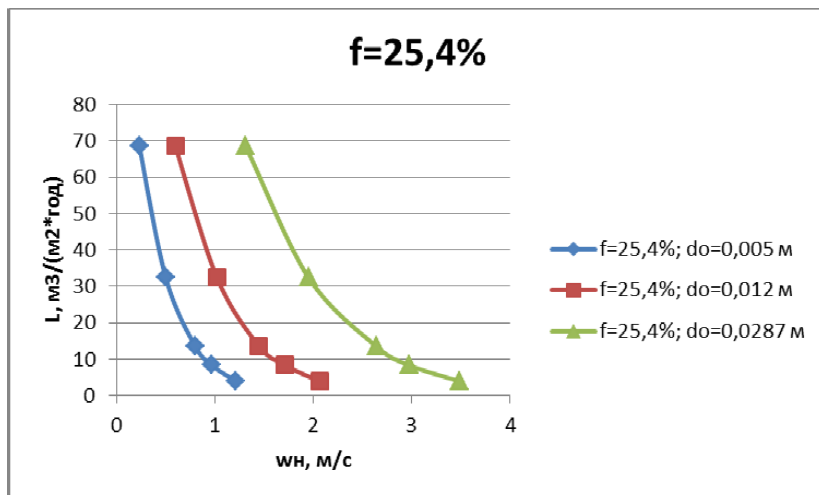


Рисунок 1.7 – Залежність  $w_n = f(L)$  для тарілок провального типу з вільним перерізом  $f = 25,4\%$  і різним діаметром отворів

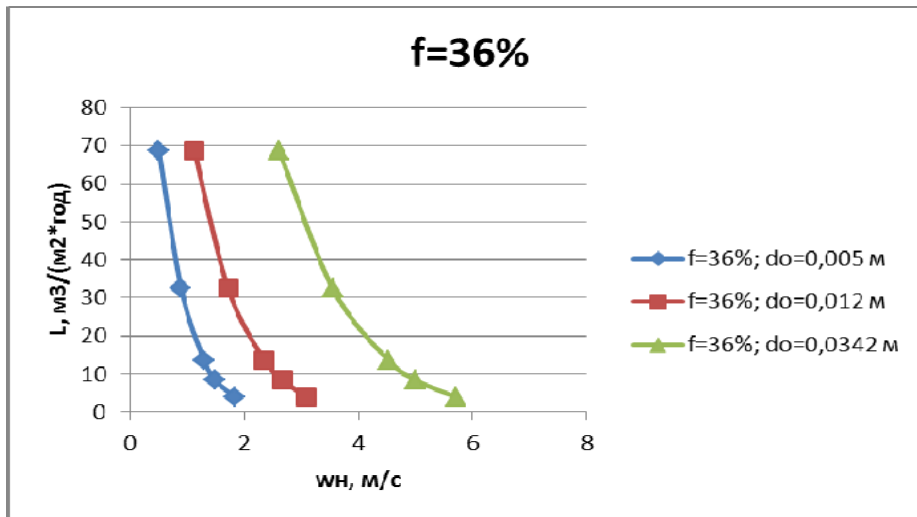


Рисунок 1.8 – Залежність  $w_n = f(L)$  для тарілок провального типу з вільним перерізом  $f = 36\%$  і різним діаметром отворів

Нижню межу роботи тарілок провального типу, на підставі літературних даних [19], приймемо швидкість газу у перерізі колони, яка відповідає початку режиму рухомого барботажного шару на дірчастих тарілках провального типу (точці біфуркації).

- $L$  – щільність зрошення, м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·год);
- $w_n$  – швидкість газу в повному перерізі колони, що відповідає нижній межі роботи дірчастих тарілок провального типу, м/с.

З отриманих графіків, авторами зроблено такі висновки:

1. Існуючі у літературних джерелах рівняння для розрахунку діапазону стійкої роботи тарілок провального типу не можуть бути застосовані для тарілок діаметром  $D = 0,057$  м.
2. Нижня межа роботи дірчастих тарілок провального типу суттєво залежить від діаметра отворів в плато тарілки для одного і того самого вільного перерізу.
3. Для розрахунку  $w_n = f(L)$  можна використовувати рівняння (8) з середньою відносною похибкою  $A = 9\%$ , яка є нормальною.
4. Отримані експериментальні дані не підтвердилися розрахунковими даними з цієї роботи. Вони показали лише значно меншу залежність меж роботи від діаметрів отворів.

### 1.10 Теорія масштабного переходу

Останніми роками було сформульовано нову теорію масштабного переходу [24]. Вона виявилася гідродинамічною, зумовлена нерівномірністю розподілу потоків і співвідношенням фаз по перерізу промислових апаратів, посиленням поздовжнього перемішування при збільшенні розмірів, що визначають масштаб турбулентності або виникнення циркулюючих контурів. Ці ефекти характеризують структуру потоків, у більшості випадків вони не моделюються на малих апаратах та при сучасному рівні розвитку гідродинаміки потоків не можуть бути передбачені методом математичного моделювання. Однак через те, що масштабний ефект має гідродинамічну природу, то його можна усувати на гідродинамічних стендах без необхідності технологічних випробувань, забезпечивши за допомогою конструктивних заходів зменшення гідродинамічних неоднорідностей та необхідну структуру потоків у великому апараті. Такий спосіб розробки промислових апаратів назвали гідромодельюванням, він дозволяє значно прискорити і удешевити перехід до промислових установок від лабораторних.

У цей час розроблена наближена теорія масштабного ефекту, яка полегшує пошук конструктивних заходів для усунення, а також залишкових неоднорідностей з метою визначення ефективності промислових апаратів, без технологічних випробувань.

Спостерігалось зменшення ККД і для провальних барботажних тарілок (майже в 3 рази, коли збільшували діаметр від 0,8 до 5 м.)

В гідродинамічних характеристиках колони зв'язок між параметрами колон різного діаметра, як малого, так і великого діаметру, встановлює теорія масштабного переходу.

Встановлюють зв'язок між гідравлічними параметрами колон малого і великого діаметру за допомогою експерименту. Далі проводять технологічні випробування масо- та теплообміну. Технологічні параметри, за даними

гідродинамічного моделювання, отримані в колонах малого діаметру, переносять на колони великого діаметру з дослідницьких установок.

Вельми важливим висновком є те, що низька ефективність багатьох промислових апаратів є наслідком дефектів конструкції апаратів, які можуть бути усунені, а КМП при цьому може бути наближений до одиниці. Також теорія масштабного переходу ґрунтується на тому, що при розрахунку колонного апарату потрібно обов'язково використовувати експериментальні установки з колонами невеликого діаметру та результати досліджень цих установок потрібно використовувати при розрахунку промислових апаратів.

Для розрахунку точки біфуркації барботажного слою на тарілках провального типу у роботі [8] запропоновано рівняння (7).

$$\lg\left(\frac{Y}{T^{0.5}}\right) = 0,0751 - 1,68 \cdot X \quad (7)$$

У рівняння (1) входить коефіцієнт  $T$ , який є відношенням суми периметрів усіх отворів плато тарілки до її діаметру [6]. Отже параметр  $T$  є функцією таких геометричних параметрів тарілки провального типу, як її діаметр, вільний перетин і діаметр отворів плато тарілки. За допомогою цього можна розраховувати за рівнянням [8] вільний перетин тарілок провального типу по заданій швидкості, розрахованої на повний переріз колони, для різних діаметрів колони.

Це уможлиблює гідродинамічного моделювання тарілок провального типу з різними геометричними характеристиками [8].

## РОЗДІЛ 2

### ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

#### 2.1 Опис експериментальної установки для гідравлічних і кінетичних досліджень тарілок провального типу з колоною $D = 0,057$ м.

Для дослідження дірчатих тарілок провального типу було використано експеримент з колоною діаметру:  $D = 0,057$  м.

Опис експериментальної установки з колоною  $D = 0,057$  м:

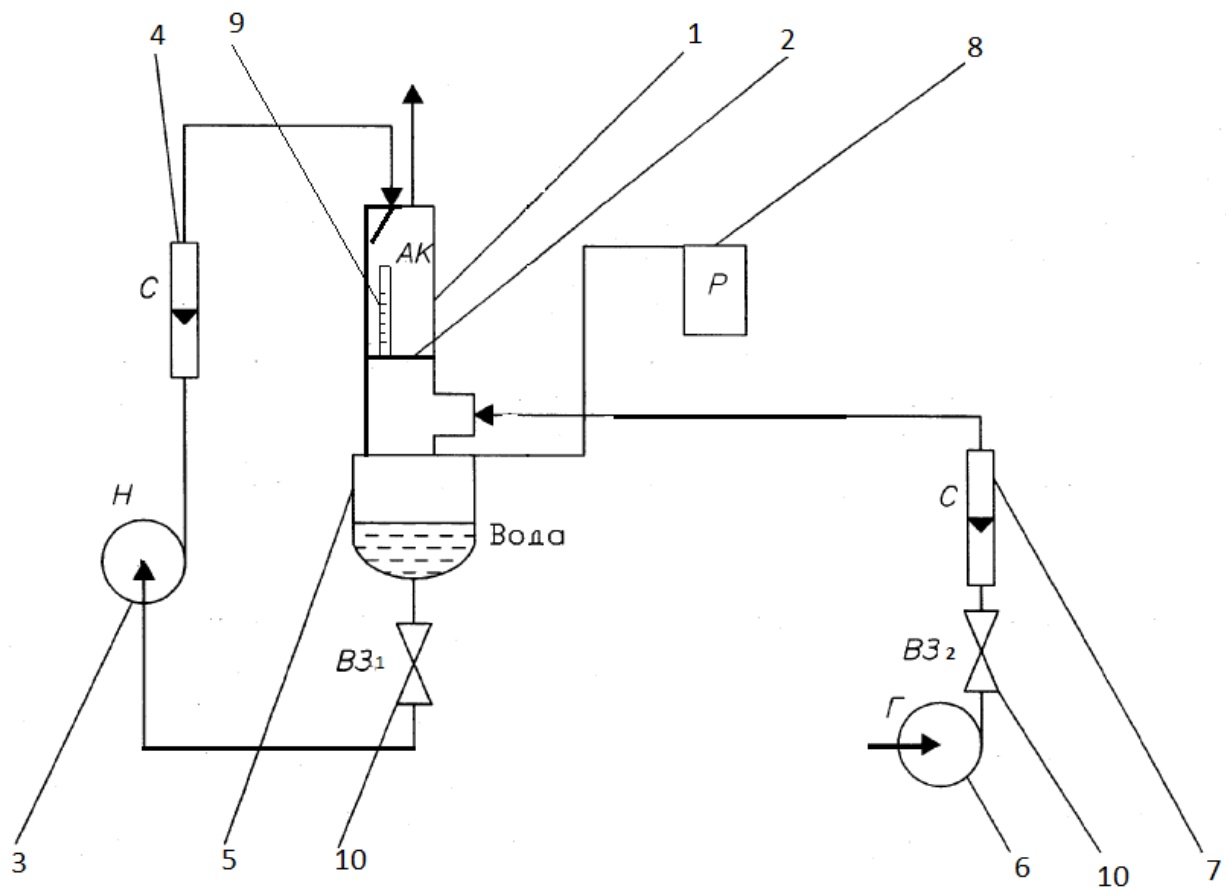


Рисунок 2.1 – Схема експериментальної установки для гідравлічних та кінетичних досліджень тарілок провального типу з колоною  $D = 0,057$  м:

1 – колона; 2 – тарілка; 3 – насос; 4 – ротаметр; 5 – куб колони; 6 – газодувки; 7 – ротаметр; 8 – манометр; 9 – лінійка; 10 – вентелі.



## 2.2 Схема лабораторної установки

Установка являє собою колону 1, з установленою в ній дірчатою тарілкою провального типу 2. За допомогою насосу 3 вода подається через вентиль ВЗ<sub>1</sub> та ротаметр 4 (РСПЗ СК №134) у верхню частину колони на внутрішню стінку. Пройшовши через тарілку, вода потрапляє до куба колони 5. Повітря за допомогою газодувки 6 через вентиль ВЗ<sub>2</sub> і ротаметр 7 (ТЛП №9101) подається до колони до місця, що розташоване нижче тарілки для забезпечення протитоку і тим самим утворення барботажного шару. Гідравлічний опір вимірюється манометром 8. Лінійкою 9, вимірюється висота піни. Витрати рідини і повітря регулюються вентилями 10.

## 2.3 Експериментальне дослідження

Рідина за допомогою насосу 3 подається у верхню частину, по перерізу колони 1, для того, щоб досягти більш рівномірного розподілу рідини й тим самим зменшити гідравлічний опір газу після тарілки, рідину подають на стінку колони. Установлюємо за ротаметром 4 витрату рідини, котрій відповідає певна щільність зрошування.

Знизу під тарілку 2 за допомогою газодувки 6 подаємо повітря. Його витрату встановлюємо по ротаметру 7, й для певної щільності зрошування змінюємо витрату повітря від початку роботи тарілки до її верхньої межі.

Для кожного співвідношення навантажень по газу та рідині вимірюємо гідравлічний опір дифманометром 8 і висоту піни лінійкою 9. Особлива увага приділяється зміні режимів на тарільці: від режиму рівномірного барботажу до режиму нерівномірного газо-рідинного шару (точка біфуркації).

Гідравлічний опір тарілки вимірюється за допомогою манометра, вхід якого з'єднаний з точкою відбору гідравлічного тиску, що розташовується під масообмінною тарілкою. Вихід манометру з'єднаний з атмосферою.

Висоту піни вимірюємо за допомогою сантиметрової лінійки.

Для отримання більш точніших дослідних даних для кожного співвідношення навантажень по газу й рідині проводиться декілька експериментів, після чого підраховується середня величина для гідравлічного опору та висоти піни.

#### **2.4 Пуск колони**

Подається напруга в мережі, після чого включається насос 1, відкривається кульовий кран 9, встановлюється по ротаметру витрата рідини, котра відповідає певній щільності зрошення. Потім включається газодувка 6. За допомогою рідинного дифманометра 3 виставляється витрата газу. Витрати рідини й повітря регулюються вентилями 6 і 19

#### **2.5 Зупинка колони**

Відключається насос 1, відключається газодувки 2, закривається вентиль 6, вентиль 19 і шаровий кран 9.

## 2.6 Експериментальні дані

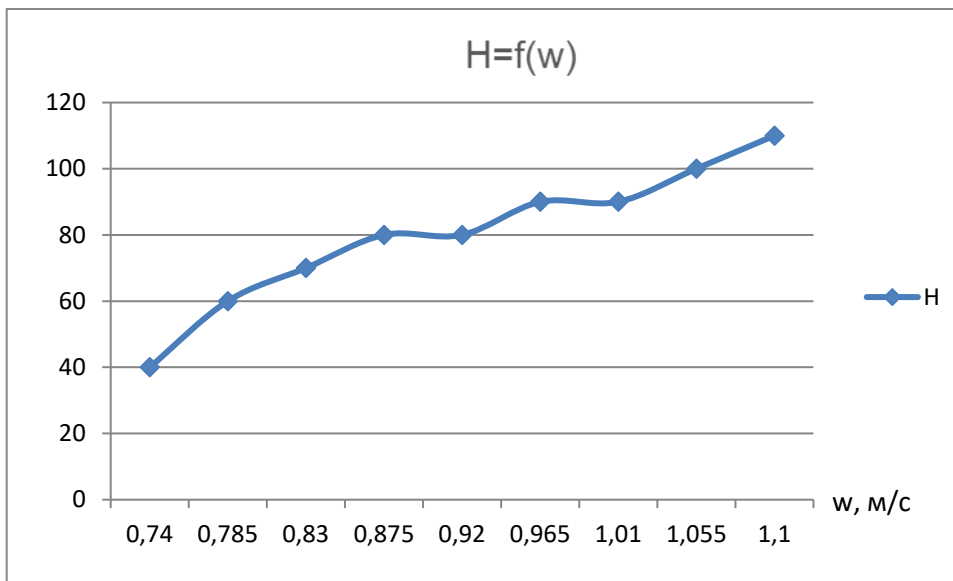


Рисунок 2.2 – Залежність висоти газорідного шару від швидкості пари

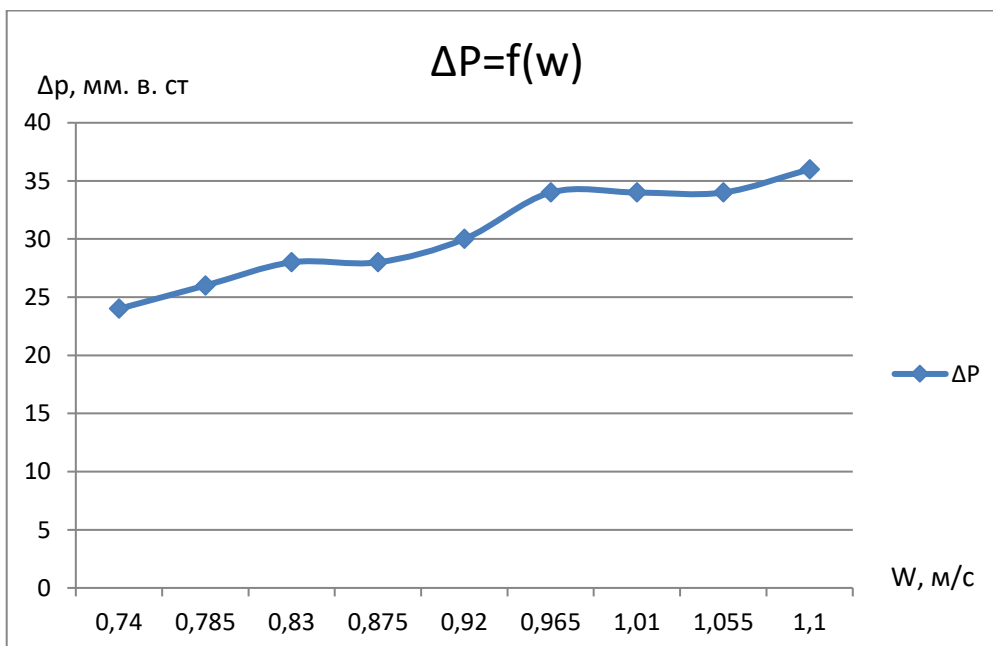


Рисунок 2.3 – Залежність гідравлічного опору газорідного шару від швидкості пари

Були проведені дослід на тарілках провального типу  $D=0.057$  м, вільний перетин склав  $f=16\%$ . За допомогою розрахунку було виявлено, що з графіку залежності висоти від швидкості точки біфуркації при висоті газорідного

шару 100 мм швидкість газу дорівнює 0,9 м/с. Розрахунком було встановлено що точка біфуркації в промисловій колоні досягається при швидкості пари 1 м/с. Отримали співпадіння експериментальних і розрахункових значень в точці біфуркації, коли режим роботи тарілки провального типу досягає максимальної ефективності. В експериментальній колоні гідравлічний опір тарілки в режимі рухомого барботажного шару відповідає гідравлічному опору, який наглядно ілюструється на графіку: 34 мм в. ст. На основі гідравлічного моделювання допускаємо, що гідравлічний опір тарілки провального типу в промисловій колоні в режимі рухомого барботажного шару буде складати 34 мм в. ст.

## 2.7 Розрахунок основних параметрів роботи колони

У ректифікаційній колоні з дірчатими тарілками передбачається поділ суміші нітролеум-йод при надлишковому тиску 10000 мм вод. ст.

Характеристика нітролеуму (низько киплячий компонент):

$M_a = 71,7$  - молекулярна маса нітролеуму;

$T_a = 45$  °С - температура кипіння;

$\rho_a = 1630$  кг/м<sup>3</sup> - густина нітролеуму при 20°С.

Характеристика 70% азотної кислоти (висококиплячий компонент):

$M_b = 49,5$  - молекулярна маса 70% азотної кислоти;

$T_b = 122$  °С - температура кипіння 70% азотної кислоти;

$\rho_b = 1413$  кг/м<sup>3</sup> - густина 70% азотної кислоти при 20°С.

Кількість одержуваного дистилляту, кг/с:

$$G_p = \frac{G}{T \cdot 24 \cdot 3600} \quad (8)$$

де  $G = 10000000$  кг/рік - необхідна продуктивність колони по нітролеуму;

$T = 335$  днів - ефективний фонд робочого часу за рік.

$$G_p = \frac{10000000}{335 \cdot 24 \cdot 3600} = 0,267 \text{ кг/сек} = 1033 \text{ кг/год}$$

Кількості вихідної суміші й кубового залишку визначається шляхом рішення рівняння матеріального балансу для низькокиплячого компоненту

$$G_f = G_p + G_w \quad (9)$$

$$G_f a_f = G_p a_p + G_w a_w \quad (10)$$

Кількість вихідної суміші

$$G_f = \frac{G_p (a_p - a_w)}{a_f - a_w} \quad (11)$$

$a_f=93,3\%$  - масовий склад вихідної суміші;

$a_p=100\%$ - масовий склад дистиляту;

$a_w=76,2\%$ - масовий склад кубового залишку.

$$G_f = \frac{0,267 \cdot (1 - 0,762)}{0,933 - 0,762} = 0,47948 \text{ кг/с}$$

Кількість кубового залишку

$$G_w = G_f - G_p \quad (12)$$

$$G_w = 0,47948 - 0,267 = 0,13498 \text{ кг/с}$$

Перевірка матеріального балансу за рівнянням

$$G_f a_f = G_p a_p + G_w a_w \quad (13)$$

$$0,479 \cdot 0,933 = 0,267 \cdot 1 + 0,13498 \cdot 0,762$$

$$0,44691 = 0,44735$$

Розходження:

$$0,44735 - 0,44691 = 0,000443$$

Помилка:

$$\frac{0,000443}{0,44691} \cdot 100\% = 0,099125\%$$

Таблиця 2.1 – Параметри колони

№ потоку	1	2	3
Температура, °С	50	45	122
Тиск			
в верху колони, МПа (надп.)			
в низу колони, МПа (надп.)			0,1
Витрати пари			
Витрати рідини, кг/сек	0,479	0,344	0,134
Витрати газу			
Масовий склад ваговий, %			
HNO <sub>3</sub> +N <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	93,3%	100%	76,2%
	6,7%	0%	23,8%
Склад потоку:			
Вихідна суміш, кг/сек	0,479		
Кількість дистилляту, кг/сек		0,344	
Кубовий залишок, кг/сек			0,134

Примітка:

Поток №1 – потік вихідна суміш

Поток №2 – потік вихіду дисцилята суміш

Поток №3 – потік кубовий залишок

## 2.8 Матеріальний баланс колони

Потужність виробництва 10000 т/рік;  $10000:8000=1250$  кг/год.

Вміст суміші нітролеум-йод:

$N_2O_4$  – 25%

$HNO_3$  – 69,85%

$H_2O$  – 5%

$I_2$  – 0,15%

Вихідна суміш 1250 кг/год:

$N_2O_4$  – 312кг/год

$HNO_3$  – 873 кг/год

$H_2O$  – 63 кг/год

$I_2$  – 2 кг/год

Дистилят 1033 кг:

$N_2O_4$  – 312 кг/год

$HNO_3$  – 721 кг/год

Кубовий залишок 217 кг/год:

$HNO_3$  – 152 кг/год

$H_2O$  – 63 кг/год

$I_2$  – 2 кг/год

Перевірка матеріального балансу:

$1250$  кг/год =  $1033$  кг/год +  $217$  кг/год;

$1250$  кг/год =  $1250$  кг/год - Вірно.

Оптимальне флегмове число повинно бути втричі більше за кількість відбираємого дистиляту.  $R_{opt}=3,1$ .

## 2.9 Визначення середніх значень параметрів по колоні, фізико-хімічних і термодинамічних констант фаз

По рідкій фазі

Середня мольна концентрація в нижній частині колони

$$X_{cp^H} = \frac{X_W + X_F}{2} \quad (21)$$

$$X_{cp^H} = \frac{0.688 + 0.906}{2} = 0,797$$

Середня мольна концентрація у верхній частині колони

$$X_{cp}^B = \frac{X_F + X_P}{2} \quad (22)$$

$$X_{cp}^B = \frac{0.906 + 1}{2} = 0,953$$

Середня мольна концентрація по колоні

$$X_{cp} = \frac{X_{cp}^H + X_{cp}^B}{2} \quad (23)$$

$$X_{cp} = \frac{0.797 + 0.953}{2} = 0,875$$

Середня масова концентрація по колоні

$$a_{cp} = \frac{X_{cp} \cdot M_a}{X_{cp} \cdot M_a + (1 - X_{cp}) \cdot M_b} \quad (24)$$

$$a_{cp} = \frac{0,875 \cdot 71.7}{0,875 \cdot 71.7 + (1 - 0,875) \cdot 49.5} = 0.91$$



Для визначення значень  $t_{xw}$ ,  $t_{xF}$ ,  $t_{xP}$  будується діаграма рівноважного складу рідини (X) і пари (Y) в мол.% і температури кипіння подвійної суміші «нітролеум-йод» при 10000 Па (абс.) за даними таблиці 1.

Мольні концентрації

$$x_w = 0,688(\text{мол.})$$

$$x_f = 0,906(\text{мол.})$$

$$x_p = 1(\text{мол.})$$

$$y_w = 0,016824(\text{мол.})$$

$$y_f^* = 0,999(\text{мол.})$$

$$y_p = 0,999(\text{мол.})$$

Таблиця 2.2 – Залежність складу суміші (нітролеум-йод) від температури

X	Y	°C
4	59	77
8	80	68
12	88	62
16	92	54
20	93	51
24	95	46
28	96	42
32	97	37
36	98	33
40	98	29
44	99	25
49	99	24,5

Температура подачі вихідної суміші, °C

при  $X_F = 0,906$   $t_{XF} = 50$  °C

Температура виходу дистилляту, °C

при  $X_P = 1$   $t_{XP} = 45$  °C

Температура виходу кубового залишку, °C

при  $X_W = 0,688$   $t_{XW} = 122$  °C

Середня температура в нижній частині колони, °C

$$t_{Xcp}^H = \frac{t_{XW} + t_{XF}}{2} \quad (25)$$

$$t_{Xcp}^H = \frac{122 + 50}{2} = 86 \text{ °C}$$

Середня температура у верхній частині колони, °C

$$t_{Xcp}^B = \frac{t_{XF} + t_{XP}}{2} \quad (26)$$

$$t_{Xcp}^B = \frac{50 + 45}{2} = 47,5 \text{ °C}$$

Середня температура по колоні, °C

$$t_{Xcp}^B = \frac{t_{Xcp}^H + t_{Xcp}^B}{2} \quad (27)$$

$$t_{Xcp}^B = \frac{86 + 47,5}{2} = 66,75 \text{ °C}$$

Середня молекулярна маса

$$M_{Xcp} = M_a \cdot X_{cp} + M_s \cdot (1 - X_{cp}) \quad (28)$$

$$M_{Xcp} = 71,7 \cdot 0,875 + 49,5 \cdot (1 - 0,875) = 68,925$$

Середня густина, кг/м<sup>3</sup>

$$\rho_{X_{cp}} = \frac{\rho_a \cdot \rho_b}{\rho_b \cdot a_{cp} + \rho_a \cdot (1 - a_{cp})} \quad (29)$$

де  $\rho_a = 1520$  кг/м<sup>3</sup> - густина нітролеуму, при  $t_{X_{cp}} = 66,75$  °С;

$\rho_b = 1301$  кг/м<sup>3</sup> - густина 70% азотної кислоти, при  $t_{X_{cp}} = 66,75$ °С

$$\rho_{X_{cp}} = \frac{1520 \cdot 1301}{1301 \cdot 0,91 + 1520 \cdot (1 - 0,91)} = 1497 \text{ кг/м}^3 \quad [14]$$

Середня в'язкість

$$\lg \mu_{X_{cp}} = X_{cp} \cdot \lg \mu_a + (1 - X_{cp}) \cdot \lg \mu_b \quad (30)$$

де  $t_{X_{cp}} = 66,75$ °С

$$X_{cp} = 0,875$$

$\mu_a = 0,39$  спз – в'язкість низькокиплячого компонента при середній температурі  $t_{X_{cp}} = 66,75$ °С

$\mu_b = 0,5$  спз – в'язкість висококиплячого компонента при середній температурі  $t_{X_{cp}} = 66,75$ °С [14]

$$\text{Lg} \mu_{X_{cp}} = 0,875 \cdot \text{Lg} 0,39 + (1 - 0,875) \cdot \text{Lg} 0,5 = -0,398$$

$$\mu_{X_{cp}} = 0,4023 \text{ спз} = 0,4023 \text{ мПа} \cdot \text{с} = 0,4023 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Середня поверхня натягу, дин/см

$$\sigma_{cp} = \sigma_a \cdot X_{cp} + \sigma_b \cdot (1 - X_{cp}) \quad (31)$$

$\sigma_a = 1,46$  дин/см - поверхневий натяг низькокиплячого компоненту при температурі  $t_{X_{cp}} = 66,75$  °С

$\sigma_b = 18 \cdot 10^3$  н/м дин/см - поверхневий натяг висококиплячого компоненту при температурі  $t_{X_{cp}} = 66,75$  °С

$$\sigma_{cp} = 1,46 \cdot 0,875 + 18 \cdot (1 - 0,875) = 3,49 \text{ дин/см} \quad (3,49 \cdot 10^3 \text{ Н/м})$$

70% азотної кислоти –  $\sigma = 1,46 \cdot 10^3$  Н/м

Нітролеума –  $\sigma = 18 \cdot 10^3$  Н/м

По газовій фазі

Середня мольна концентрація в нижній частині колони, мол.

$$Y_{cp}^H = \frac{Y_W + Y_F}{2} \quad (32)$$

$$Y_{cp}^H = \frac{0,017 + 0,999}{2} = 0,5081 \text{ мол.}$$

Середня мольна концентрація у верхній частині колони, мол.

$$Y_{cp}^B = \frac{Y_F + Y_P}{2} \quad (33)$$

$$Y_{cp}^B = \frac{0,999 + 0,999}{2} = 0,9991, \text{ мол.}$$

Середня мольна концентрація по колоні, мол.

$$Y_{cp} = \frac{Y_{cp}^H + Y_{cp}^B}{2} \quad (34)$$

$$Y_{cp} = \frac{0,5081 + 0,9991}{2} = 0,7536, \text{ мол.}$$

Температура подачі вихідної суміші, при

$$Y_F = 0,999; \quad t_{YF} = 54^{\circ}\text{C};$$

Температура виходу дистилляту:

$$Y_P = 0,999; \quad t_{YP} = 45^{\circ}\text{C};$$

Температура подачі кубового залишку:

$$Y_W = 0,017; \quad t_{YW} = 122^{\circ}\text{C};$$

Середня температура в нижній частині колони,  $^{\circ}\text{C}$

$$t_{Ycp}^H = \frac{t_{YW} + t_{YF}}{2} \quad (35)$$

$$t_{Ycp}^H = \frac{122 + 54}{2} = 88, ^{\circ}\text{C}$$

Середня температура у верхній частині колони, °С

$$t_{Ycp}^B = \frac{t_{YF} + t_{YP}}{2} \quad (36)$$

$$t_{Ycp}^B = \frac{54 + 45}{2} = 49,5, ^\circ\text{C}$$

Середня температура по колоні, °С

$$t_{Ycp} = \frac{t_{Ycp}^H + t_{Ycp}^B}{2} \quad (37)$$

$$t_{Ycp} = \frac{88 + 49,5}{2} = 68,75, ^\circ\text{C}$$

*Середня молекулярна маса*

$$M_{Ycp} = M_a \cdot Y_{cp} + M_s \cdot (1 - Y_{cp}) \quad (38)$$

$$M_{Ycp} = 71,7 \cdot 0,7536 + 49,5 \cdot (1 - 0,7536) = 66,23$$

Середня густина, кг/м<sup>3</sup>

$$\rho_{Ycp} = \frac{M_{Ycp} \cdot p \cdot T_o}{22,4 \cdot p_o \cdot T} \quad (39)$$

де  $T$  - середня температура по колоні, °К

$$F = \frac{V}{w} \quad (40)$$

$$T = t_{Ycp} + T_o \quad (41)$$

де  $T_o = 273^{\circ}\text{K}$  - точка плавлення льоду;

$P_o = 1 \text{ кгс/см}^2$  - нормальний атмосферний тиск;

$P = 4,1 \text{ кгс/см}^2$  - абсолютний робочий тиск у колоні

$$T = 68,75 + 273 = 341,75^\circ K$$

$$\rho_{\text{гсп}} = \frac{66,23 \cdot 10100 \cdot 273}{22,4 \cdot 1 \cdot 10100 \cdot 341,75} = 2,361 \text{ кг/м}^3$$

## РОЗДІЛ 3

### КОНСТРУКТИВНА ЧАСТИНА

#### 3.1 Визначення основних геометричних параметрів колони

Діаметр колони

$$D_K = \sqrt{\frac{V_Y}{0,785 \cdot \omega_Y}} \quad (42)$$

де  $V_Y$  - об'ємна витрата пари, м<sup>3</sup>/сек

$\omega_Y$  - швидкість пари, віднесена до повного перерізу колони, м/сек

$$V_Y = \frac{G_Y}{\rho_{Ycp}} \quad (43)$$

де  $G_Y$  - кількість пари, що піднімається по колоні, кг/сек

$$G_Y = G_P (R_{omn} + 1) \quad (44)$$

де  $G_Y = 0,345 \cdot (3,099 + 1)$

$G_Y = 1,104$  кг/сек

$V_{Ycp} = \frac{1,104}{2,361} = 0,48$  м<sup>3</sup>/сек

Рекомендована швидкість пари у колоні

$w = 1,5$  м/с

$$0,785 D^2 = \frac{V}{w} \quad (45)$$

$$D = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot w}} \quad (46)$$

$$D = \sqrt{\frac{0,483}{0,785 \cdot 1,5}} = 0,64 \text{ м}$$

Приймаємо діаметр колони  $D = 0,8 \text{ м}$ ,

тоді швидкість пари, що розраховується на повний переріз колони, буде складати

$$w = \frac{V}{0,785 \cdot D^2} = \frac{0,483}{0,785 \cdot 0,8^2} = 0,9609 \text{ м/с}$$

Приймаємо  $w = 1,0 \text{ м/с}$



## РОЗДІЛ 4

### ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

Хімічні виробництва характеризуються підвищеною небезпекою праці робітників, несуть потенційну небезпеку професійних отруєнь і захворювань, травматизму, забруднення довкілля та ін. Тому питанням охорони праці приділяється велика увага, вони спрямовані на забезпечення безпечних та здорових умов праці, безаварійної роботи устаткування, пожежної безпеки, тощо.

Для запобігання аваріям, неполадкам, нещасним випадкам і забезпечення нормальних умов праці необхідно дотримувати норми і вимоги технологічного регламенту, інструкцій по робочих місцях, інструкцій по охороні праці. Небезпечні чинники виробничих процесів:

1 Прорив горючого газу або легкозаймистої рідини через нещільність, що утворилася, в апаратах комунікаціях з подальшим загоянням або вибухом.

2 Утворення вибухонебезпечної газової суміші в апаратах і трубопроводах при попаданні кисню, повітря в систему при незадовільному продуванні комунікацій і апаратів азотом, а також при пропуску газу або пари легкозаймистої рідини в приміщення.

3 Отруєння тих, що працюють при контакті з токсичними речовинами, вживаними у виробничих процесах.

4 Хімічні опіки при попаданні агресивних речовин на шкіру.

5 Термічні опіки при попаданні пари, гарячого конденсату на шкіру, при зіткненні з гарячими поверхнями апаратів або трубопроводів, загорянні газу, що прорвався, або легкозаймистої рідини.

6 Обмороження при зіткненні із зрідженими газами.

7 Поразка електричним струмом при несправності електроустаткування.

8 Механічні травми при обслуговуванні і ремонті устаткування і трубопроводів з порушенням техніки безпеки.

9 Задуха від недоліку кисню при виконанні робіт в кабельних тунелях,

колодязях, пріямках.

10 Шкідливі викиди в робочу зону та водоймища

### **Ремонтно – монтажні роботи**

Виведення в ремонт устаткування (або демонтаж при виключенні з схеми) здійснюється по письмовому розпорядженню начальника цеху. На підставі письмового розпорядження заступник начальника цеху встановлює і підписує порядок виведення устаткування в ремонт або посилається на відповідні розділи інструкції.

У об'єм робіт з підготовки устаткування до ремонту входить:

- зупинка об'єкту (устаткування, машин, комунікацій), відключення системи, замочною арматурою;
- скидання тиску, звільнення об'єкту від продукту, сировини;
- відключення електроенергії, зняття напруги на щитах, вивішування заборонних і попереджувальних плакатів, установка огороджувальних;
- від'єднання ремонтного об'єкту від комунікацій за допомогою заглушок;
- пропарювання, продування, провітрювання об'єкту і відповідне прибирання від продукту і сировини приміщення.

Якість підготовчих робіт визначається виконанням аналізу на вміст палих, отруйної, вибухонебезпечної пари або газів, яких повинно бути не більш за ГДК по санітарних нормах.

На арматурі, що відсікає ремонтне устаткування від того, що діє, вивішуються таблички, що забороняють її розтин, а арматуру що підлягає ремонту, позначають крейдою або фарбою.

Установка заглушок повинна проводитися силами ремонтної служби цеху, під керівництвом механіка або майстра цієї служби.

При установці заглушок ремонтною службою цеху механік (майстер) несе відповідальність за дотримання ремонтною службою правил техніки безпеки і пожежної безпеки при виконанні цієї роботи і за якість установки заглушок.

Перед проведенням ремонтних робіт, механік або майстер цеху проводить виконавцям інструктаж про порядок ведення робіт, дотриманням правил протипожежною і техніці безпеки, потім допускає до виконання ремонтних робіт по оформленому разом із застосуванням засобів захисту, вказаних в наряді.

Інструктаж робітником підрядних організацій про основні небезпеки і шкідливі виробничі чинники в даному цеху в об'ємі першого інструктажа проводить начальник зміни перед початком робіт.

Весь персонал має бути ознайомлений про місце і час проведення ремонтних робіт сторонньою організацією.

При виникненні пожежі або аварії, а так само в разі порушення технологічного режиму і появи небезпеки для оточуючого персоналу цеху повинен дати вказівку про припинення робіт підрядчиком і видалити їх з цеху або небезпечної зони.

### **Організація робочого місця**

Кожне робоче місце при проведенні ремонтно-монтажних робіт повинно відповідати вимогам техніки безпеки: захищені зони робіт, вільні проходи і шляхи доставки деталей і інструментів, працівники мають бути забезпечені індивідуальними засобами захисту, тобто протигазами, що фільтрують, марки «М», для захисту голови від травм – каски марки «Праця» або «Дружба» з підшоломниками.

### **Проведення робіт на висоті**

Роботи на висоті вище 1,5м повинні виконуватися із застосуванням приставних сходів, драбин, подмостей, лісів, що мають обгороджування або при обов'язковому застосуванні перевірених або випробуваних запобіжних поясів, якщо роботи проводяться з необгороджених поверхонь.

Роботи, які виконуються на висоті більш 5м від поверхні землі, перекриття або робочого настилу, безпосередньо з конструкції, устаткування, машин і механізмів при їх монтажі і ремонті мають проводитися із застосуванням запобіжного поясу (поясу верхолаза).

До роботи на висоті допускаються особи не молодше 18 років, що пройшли медичний огляд, ввідний і первинний інструктаж по техніці безпеки і перевірку знань інструкції згідно переліку обов'язкових інструкцій для даної професії.

Ліси, підмости, і інші пристосування для виконання будівельно – монтажних і ремонтних робіт на висоті мають бути інвентарними, виготовлятися по типових проектах і відповідати ГОСТ 12.2.003 – 74.

Навантаження на настили лісів, подмостей і вантажопідйомних майданчиків не повинні перевищувати встановлених проектом величин. Скупчення на настилах людей в одному місці не допускається.

При проведенні ремонтно – монтажних робіт робітник зобов'язаний бути одягнений в спецодяг, мати при собі сумку для інструментів і працювати з надітою на голову каскою.

При роботі на висоті більш 5м, працівник повинен користуватися ременем безпеки, а так само не допускається розміщення працівників на різних відмітках по одній вертикалі.

Техніка безпеки при ремонті обладнання забезпечується, насамперед, підготовкою робочого місця: будь те централізована, змішана організація ремонтної служби на підприємстві або ремонт по місці установки обладнання. Для цього повинні бути передбачені вільні проходи, шляхи доставки деталей, інструментів і пристосувань, огороження робочої зони, запобіжні й попереджуючі пристрої.

Під час роботи на висоті зазвичай слід використовувати будівельні ліси. У виняткових випадках з дозволу головного інженера це обладнання може виготовлятися індивідуально відповідно до затвердженої конструкції. Навантаження на них не повинно перевищувати проектну. Настил повинен бути забезпечений висотою рейки не менше 1 м, мати поручні, висоту бічної дошки не менше 0,15 м та проміжну горизонтальну планку. До стійких

конструкцій кріпляться рами, стелажі, драбини. Сходи повинні мати нахил не більше 60 °.

Особливо високі вимоги пред'являються до підвісних і підйомних лісів: вони повинні бути випробувані під навантаженням, що перевищує розрахункове в 5 разів; опорні та робочі канати повинні мати дев'ятикратний запас міцності.

Земляні роботи (особливо машинами) проводяться тільки з письмового дозволу керівництва підприємства за встановленою формою. Ця форма передбачає узгодження зі службами: електроцеху, пожежної охорони, зв'язки, транспорту й водопостачання. Район проведення земляних робіт позначається знаками й вказівниками.

При ремонті обладнання електрозварювальні роботи повинні бути організовані відповідно до ГОСТ 12.3.003-75

«Електрозварювальні роботи. Загальні вимоги безпеки »та Правила пожежної безпеки для зварювання та інших феєрверків на національних об'єктах. Зварювання та інші вогневі дії допускаються фахівцями, які мають сертифікат на перевірку знань вимог пожежної безпеки. Зварювачі проходять навчання з техніки безпеки кожні три місяці. Електрозварювальні роботи у вибухозахищених та вогнезахисних приміщеннях повинні проводитися відповідно до вимог Типової інструкції щодо організації безпечної пожежної безпеки, затверджений Державним наглядом. Не проводити зварювальні роботи на відкритому повітрі під час дощу та снігопаду.

Місця проведення постійних пожежних робіт затверджуються наказом керівника підприємства, а тимчасові - письмово за спеціальною формою, підписаною особою, відповідальною за пожежну безпеку даного виробництва. Слід зазначити, що дозвіл на роботу видається лише. У разі аварії зварювальні роботи проводяться без письмового дозволу, але під наглядом начальника підрозділу. Місця пожежі повинні бути забезпечені вогнегасниками. Після

проведення пожежних робіт керівник об'єкта чи особа, відповідальна за пожежну безпеку, повинні забезпечити огляд робочого місця протягом 3-5 годин після їх закінчення.

Кисневі або горючі газові балони для газозварювальних робіт повинні мати закріплені на ший гвинтові ковпачки. Балони для транспортування, як заповнені, так і порожні, не повинні піддаватися ударам або ударам. Вони також повинні бути захищені від сонячного світла та інших джерел тепла та віддалені від пальників на відстань не менше 5 м.

Місце, де встановлені ацетиленові генератори, слід закрити. Карбідні барабани слід відкривати латунним зубилом і молотком або спеціальним ножом, змащеним товстим шаром солідолу. Використання мідних інструментів для відкривання барабанів заборонено. Твердосплавні барабани повинні бути захищені від води.

Контейнерне обладнання, яке слід відкрити для ремонту, повинно бути охолоджене, вилучене з виробу, відключене від експлуатаційного обладнання та трубопроводів. Потім це обладнання миється, пропарюється гарячою парою, продувається інертним газом і повітрям. Обладнання розкривається лише у присутності начальника зміни та особи, відповідальної за виконання робіт особи, яка перевіряє готовність цього обладнання до розкриття.

Після розкриття в пристроях та резервуарах ви можете працювати лише з письмового дозволу керівника цеху. Цей дозвіл видається механіку цеху або особі, відповідальній за виконання робіт. Дозвіл містить інформацію про готовність обладнання до ремонту, особливі заходи безпеки під час проведення робіт, групу підрядників, термін дії цього дозволу, ім'я та посаду особи, відповідальної за проведення робіт. У дозволі також вказується тривалість безперервної роботи в апараті та порядок зміни працівників. Огляд, очищення та ремонт всередині обладнання проводяться особами чоловічої статі не менше 20 років, які пройшли медичне обстеження та проходять інструктаж щодо безпечної роботи в цьому закладі. Обладнання ремонтує команда, що складається з щонайменше двох людей: одна працює, а друга дивиться. У разі

небезпечної роботи повинні бути дві операції спостереження. Повітря в обладнанні перед входом працівника всередину перевіряють за допомогою відбору проб та аналізу проб на вміст токсичних і вибухонебезпечних речовин.

Робота всередині обладнання проводиться в ретельно встановленому шлангу з регульованою подачею свіжого повітря. Перед тим, як заходити в машину, працівник повинен надіти ремінь із хрестовими ремінцями та сигнально-рятувальну мотузку (довжиною не менше 10 м), прикріплену до них поверх одягу, який закріплений на вільному кінці поза обладнанням. Ця мотузка також служить для найпростішого зв'язку між працівником і спостерігачем (резервне копіювання).

Якщо температура в апараті перевищує 50 °С, то працювати в ньому *забороняється*. Дублер завжди перебуває біля люка апарата й спостерігає за працюючим, тримаючи в руці сигнально-рятувальну мотузку. Спостерігач повинен бути споряджений так, щоб у будь-який момент він міг надати працюючу допомогу і якщо буде потреба витягти його з апарату. У період роботи усередині обладнання необхідно систематично робити аналіз повітря в ньому. У випадку збільшення концентрації небезпечних газів в апараті роботи повинні бути припинені, а працюючі вилучені з нього.

Виконувати ремонтні роботи усередині обладнання слід проводити неіскристим інструментом. Якщо потрібно при ремонті усередині апарата застосування відкритого вогню, то такі роботи можна виконувати тільки з письмового дозволу головного інженера підприємства. Цей дозвіл повинний бути погоджене з місцевими органами пожежного нагляду. Роботи при цьому виконуються строго по спеціально розробленій інструкції й при наявності акту огляду обладнання на відсутність небезпечних речовин у ньому. Вогневі ремонтні операції проводяться при повністю відкритих люках і кришках. Обладнання повинне бути заземлене до початку зварювальних робіт, а електродотримач заблоковано з пускачем так, щоб заміна електрода могла проводитися тільки при відключеному струмі. Зварник повинен працювати

усередині обладнання в діелектричних рукавичках, калошах шоломі, що ізолює, касці, підлокітниках і наколінниках.

Значний обсяг робіт при ремонті припадає на такелажні операції. Тому необхідно знати основні правила безпечного виконання цих робіт. Перед підйомом і транспортуванням вузлів і обладнання необхідно перевірити справність вантажопідйомних механізмів. Крім того, до ручного транспортування вузлів і деталей устаткування допускаються особи, що досягли вісімнадцятирічного віку й минулі медичний огляд. Слід пам'ятати, що одна людина може піднімати вантаж вагою не більш 500 Н.

Підйомних механізмів: перебувати під вантажопідйомним вантажем; відірвати обладнання від бетонної підливи, яка замерзла до землі; дозволяють розгойдувати вантаж; залишати навантаження на піднятому стані на тривалий час; виправити обмотку кабелю під час роботи лебідки; допускати повне розмотування кабелю (на барабані повинно бути як мінімум півтора витка кабелю). Якщо обладнання експлуатується з використанням електроенергії, перед його ремонтом необхідно вимкнути енергію та повісити на вимикач плакат "Не включати - люди працюють".

Велика кількість ремонтних робіт пов'язана з металоконструкціями, тому слід враховувати правила безпечного виконання. Стенди та слюсарі збоку, що виходять на інші робочі місця та проходи, повинні мати корпус висотою 600 мм. Перед виконанням ремонтних робіт необхідно перевірити роботу ручного інструменту та його кріплення на ручках. Подовження ключів трубами для збільшення крутного моменту заборонено. Машини для заточування повинні мати захисні захисні кришки та прозорий екран для захисту очей від абразивних та металевих частинок. Також забороняється повертати і накручувати гайки молотком і зубилом.

Під час ремонту деталей на бурових машинах необхідно дотримуватися наступних правил:

а) деталь повинна бути надійно закріплена на столі в лещатах або пристрої;



б) чіпси не можна видаляти зі столу вручну;

в) забороняється подавати теплоносії з змоченими протиральними кінцями.

Під час ремонту обладнання в зонах низького ризику можна використовувати електроінструмент напругою 127 або 220 В, а в зонах підвищеного ризику напруга не повинна перевищувати 36 В. Для цього пневматичний інструмент є більш надійним і може бути застосовується у вологих приміщеннях, під дощем. Необхідно працювати з пневматичним інструментом у захисних окулярах та з встановленням екранів для захисту від польотів. Працювати з енергетичним та пневматичним інструментом на сходах заборонено.

Під час ремонту та випробування обладнання необхідно вживати заходів для усунення пошкоджень експлуатаційного обладнання. Крім того, забороняється проводити пневматичні випробування обладнання та трубопроводів без вивезення працівників із небезпечної зони; вогонь та / або роботи, які можуть спричинити вибухонебезпечні або горючі гази, не можна одночасно запалювати. Під час гідравлічних та пневматичних випробувань не слід допускати жодного персоналу поблизу пристрою. Пневматичні випробування не можна проводити в експлуатаційних майстернях, на шляхопроводах і в каналах, де працюють трубопроводи. Підвищення і зниження тиску під час випробування здійснюється плавно і повільно. Забороняється проводити огляд також під час підвищення та зниження тиску.

Випробування приладів та машин проводяться відповідно до технічних умов, правил та правил для кожного виду обладнання. Перш ніж випробувати обладнання, відбирайте допоміжні засоби, підйомні механізми, матеріали та інструменти, а також сторонні предмети з обертових деталей та з внутрішніх порожнин апарату. Особлива увага приділяється підводному та техніці безпеки, стану заземлення, кріпленню базових болтів.

Закачування обладнання приводами здійснюється на холостому ході і під навантаженням. Усунути дефекти ходу машини заборонено. У перервах

випробування автомобіль відключається від джерел живлення та виводяться попереджувальні знаки зі словами "Несправність машини", "Не допускати в'їзд".

Для ремонту неметалічних частин обладнання часто застосовують токсичні речовини - ацетон, малеїновий ангідрид, бензин, чотирихлористий вуглець та ін. Токсичні речовини виділяються під час ремонтної обробки пластмас.

Ремонтні роботи з такими матеріалами повинні проводитися в ізольованих приміщеннях або в загальних, але на спеціальних виділених і обладнаних витяжною вентиляцією місцях. Для ремонту слід брати мінімально необхідну кількість токсичних матеріалів, а робітники повинні бути в спецодязі, окулярах і респіраторях.

### **Проведення зварювальних і вогневих робіт**

До вогневих робіт відносять виробничі операції, зв'язані із застосуванням відкритого вогню, нагріванням до температур, здатних викликати займання матеріалів.

На проведення вогневих робіт оформляється наряд-допуск, що передбачає розробку і подальше здійснення комплексу заходів щодо підготовки і безпечного проведення робіт, вказаний термін його дії, і тривалість проведення робіт, склад бригади, вимоги до робітників.

Кожна вогнева робота, що проводиться в плановому порядку, складається з двох етапів: підготовка об'єкту до проведення вогневої роботи безпосереднє проведення вогневої роботи.

Відповідальним за підготовку об'єкту до проведення вогневої роботи призначається інженерний – технічний працівник цеху (як правило, начальник зміни), у веденні якого знаходиться експлуатаційний персонал даного об'єкту.

Відповідальний за проведення вогневих робіт зобов'язаний:

- перевірити у виконавців наявність і справність засобів індивідуального захисту, інструменту і пристосувань, їх відповідність виконуваній роботі, наявність посвідчень і талонів – попереджень;

- проводити інструктаж виконавців про правила безпечного ведення робіт; - забезпечити місце проведення робіт первинними засобами пожежогасінні.

Виконавці вогневих робіт несуть відповідальність за виконання всіх мерів безпеки, передбачених в наряді – допуску.

Якщо вогневі роботи проводяться усередині ємкості, то вони вимагають письмового дозволу головного інженера, узгодженого з органами пожежної охорони, наявність акту огляду ємності і дотримання особливих заходів безпеки згідно спеціальної інструкції. До таких заходів відносять забезпечення максимального повітрообміну, якщо потрібно – примусового, обов'язкове заземлення ємності, цілісність ізоляції токопроводов, наявність повного комплекту захисного одягу (діелектричні рукавички, калоші, шлем або каска), неможливість зміни електродів при включеній напрузі.

Для проведення робіт усередині ємкостей повинна призначатися бригада в складі не менш 2-х чоловік (працівник, спостережник). Газонебезпечні роботи усередині ємкостей проводяться при постійній присутності газорятівного. Перебування усередині ємкостей допускається, як правило, одній людині. При необхідності перебування в ємності більшого числа працівників мають бути розроблені, внесені до наряду-допуску і додатково здійснені заходи безпеки, що передбачають призначення що не менш одного спостерігаючого персонально на того, що одного працює в апараті, порядок входу і евакуації працівників, порядок розміщення шлангів, забірних патрубків протигазів, сигнально-рятувальних вірвовок, наявність засобів зв'язку і сигналізації на місці проведення робіт.

У всіх випадках на працівника, що спускається в ємність, має бути надітий рятувальний пояс з сигнально-рятувальним мотузком. Пояс, карабін і сигнально-рятувальний мотузок мають бути випробувані в установленому порядку.

### **Експлуатація технологічного устаткування**

Основною умовою безпечної експлуатації є дотримання обслуговуючим

персоналом норм технологічного режиму, робочих інструкцій по охороні праці.

Перед пуском необхідно:

- перевірити стан фланцевих з'єднань і арматури;
- зняти всі заглушки, встановлені для ремонту з відповідним записом в журнал обліку зняття і установки заглушок;
- провести заповненні систем захолодженої водою;
- включити в роботу всі стадії технологічного процесу відповідно до інструкцій по робочих місцях.

До експлуатації апарата повинен допускатися тільки кваліфікований обслуговуючий персонал, що здав іспит на право обслуговування даного встаткування. Експлуатацію апарата робити відповідно до робочої інструкції по експлуатації. Пуск апарата в роботу проводити по технологічному регламенті на ведення процесу. Під час роботи апарата повинен підтримуватися заданий технологічний режим, при цьому робочі параметри не повинні бути вище передбачених технічною характеристикою апарата. Для захисту апарата від перевищення тиску на лінії встановлений запобіжний клапан.

Апарат повинен бути зупинений у наступних аварійних випадках:

- 1) При підвищенні тиску або температурі вище величини, зазначеної в технічній характеристиці апарата.
- 2) При несправності приладів
- 3) При виявленні в основних елементах апарата тріщин, пропусків, выпучин, розриву прокладок.

## ВИСНОВКИ

В даній дипломній роботі розглянуто холодильник дистиляту установки ректифікації суміші

а) На основі аналітичного огляду вибрана конструкція холодильника дистиляту, розміри якого отримані з технологічного розрахунку.

б) Виходячи з умов роботи і характеристик робочого середовища підібрані конструкційні матеріали;

в) Роботоспроможність апарата підтверджена розрахунками на міцність, які виконані згідно з діючою в хімічному машинобудуванні нормативнотехнічною документацією;

г) Висвітлені питання техніки безпеки.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Зайцев И.Д. Производство соды / Зайцев И.Д Ткач Г.А., Строев Н.Д.; М.: Химия, 1986. 312 с.
2. Стабников В. Н. Провальные тарелки ректификационных аппаратов и их применение на предприятиях спиртовой промышленности : обзор / Стабников В. Н., Штромило М. И. – М. : ЦНИИТЭИ - пищепром, 1971. - 20 с.
3. Стабников В. Н. Применение решетчатых провальных тарелок в процессе перегонки ацетоно-бутиловых бражек / Стабников В.Н., Штромило М. И., Н. Г. Бойченко [и др.] // Пищевая промышленность. - 1972. - Вып. 6. - 38-39. - (Реферативная информация о законченных научно- исследовательских работах в вузах УССР).
4. Опыт внедрения на предприятиях ацетоно- бутиловой и спиртовой промышленности ректификационных колонн с решетчатыми провальными тарелками / Стабников В. Н., Штромило М. И., Сергеев А. Д., Беспалько А. П., Бойченко Н. Г. // III Всесоюзная конференция по теории и практике ректификации. - Северодонецк, 1973.- Ч. II. - С. 99 – 100.
5. Интенсификация процесса перегонки в аппаратах с решетчатыми провальными тарелками / Стабников В. Н., Штромило М. И., Сергеев А. Д. // V Всесоюзная конференция по теории и практике ректификации. - Северодонецк, 1984. - Ч. II. - С. 49 - 50.
6. Опыт использования тарельчатого абсорбера для улавливания бензольных углеводородов из коксового газа / Кузнецов В. Я., Шебастюк И. М., Большакова Л. Н., Конкина И. Н. – Кокс и Химия. -2005. - № 2. - С. 22-23.
7. Стабников В.Н. «Расчет и конструирование контактных устройств ректификационных и абсорбционных колонн» «Техника», 1970, 208 стр.

8. Зайцев И.Д. Производство соды / Зайцев И.Д Ткач Г.А., Строев Н.Д.; М.: Химия, 1986. 312 с.
9. Тарат Э. Я. О гидравлическом сопротивлении «провальных» решеток при пенном режиме / Тарат Э. Я., Вальберг А. Ю. – Журнал прикладной химии. - 1970. - Т. 43, №8. - С. 1706 – 1711.
10. Вальберг А. Ю. К вопросу о предельных параметрах пенного режима в аппаратах с полным протеканием жидкости через отверстия решеток / Вальберг А. Ю., Тарат Э. Я. – Журнал прикладной химии. - 1970. - Т. 43, №8.- С. 1712 – 1715.
11. Пенный режим и пенные аппараты / Тарат Э. Я, Мухленов И. П., Туболкин А. Ф. [и др.] ; под ред. И. П. Мухленова, Э. Я. Тарата. - Л. : Химия, 1977. – 303 с.
12. Ткач Г. А. Моделирование десорбционных процессов содового производства / Ткач Г. А., Смоляк В. Д. - Л. : Химия, 1973.
13. Рамм В. М. Абсорбция газов / Рамм В. М. - Изд. 2-е. - М. : Химия, 1976. - 655 с.
14. Лоскутов А. Ю. Введение в синергетику: учеб. рук. / Лоскутов А. Ю., Михайлов А .С. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. 272 с.
15. Металлы и сплавы: марки и химический состав. Составитель Беккерев Игорь Васильевич, Редактор И. В. Беккерев, Корректор Д. С. Терехов, Ульяновск: УлГТУ, 2007. - с. ISBN 978-59795-0042-3 Дополненное издание
16. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: учеб. для машиностроит. вузов/ Т. М. Башта, С. С. Руднев, Б. Б. Некрасов [и др.] - 2-е изд., перераб. - М.: Машиностроение, 1982. – 423 с. : ил.
17. Зелинский Ю.Г. Кафаров В.В., «Химическая промышленность», 1961, №2.
18. Касаткина А. Г., Дытнерский Ю. И. и др., «Химическая промышленность», 1958, № 3.

19. Касаткин А.Г., Дытнерский Ю. И. и др., Труды МХТИ им. Д. И. Менделеева, вып. XXXIII, 1961.
20. Тараненко Г. В. Гидравлические и массообменные характеристики тарелок провального типа с различным диаметром отверстий: монография. - Луганск: изд-во ВНУ им. В. Даля, 2013. – 174 с.
21. Александров И.А. Ректификационные и абсорбционные аппараты, «Химия», М.— Л., 1965.
22. Касаткин А. Г. К расчету колонн с провальными тарелками // Касаткин А. Г., Дытнерский Ю. И., Умаров С. У. – Химическая промышленность. - №3. – 1958. - С. 38 – 45.
23. Взаимодействие газов с жидкостями в пенном режиме / [И.П. Мухленов, Г.А. Ткач, И. Д. Зайцев и др.];– Химическая промышленность. 1983. № 3 С. 38-41.
24. Рузинов Л. П. Статистические методы оптимизации химических процессов – М. Химия, 1972, 200 с.
25. Масштабный переход в химической технологии: разработка промышленных аппаратов методом гидродинамического моделирования / Розен А. М., Мартюшин Е. И., Олевский В. М. [и др.] ; под ред. А. М. Розена. - М. : Химия, 1980. - 320 с. : ил.
26. Taranenko, G. V. Calculation of the lower operating limit of dual-flow plates with different geometrical characteristics [Text] / G. V. Taranenko // ScienceRise. – 2015. – Vol. 3, Issue 2 (8). – P. 67–73. doi: 10.15587/2313-8416.2015.39196