

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

Виконала:
студентка групи ХМдн-54р
Ведмідь Наталія Олексіївна

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 ХМдн-54р Семестр 6

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Студентка Ведмідь Наталія Олексіївна

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

2 Вихідні дані: Розробити тарілчасту ректифікаційну колону продуктивністю 1600 кг/год. Вміст ЛЛК (мол. частки): у початковій суміші – 0,25; у дистилляті – 0,9; у кубовому залишку – 0,035. Тип тарілок – ковпачкові. Тиск у колоні – атмосферний (0,1 МПа).

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

1. Технологічна схема ректифікаційної установки – 0,5 арк.
2. Складальний кресленик ректифікаційної колони – 1,0 арк.
3. Складальний кресленик ковпачкової тарілки – 1,0 арк.
4. Складальний кресленик циліндричної опори – 0,5 арк.

4 Рекомендована література: 1. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра / укладачі: Р. О. Острога, М. С. Скиданенко, Я. Е. Михайловський, А. В. Іванія. – Суми : СумДУ, 2019. – 32 с.; 2. Основные процессы и аппараты химической технологии : Пособие по проектированию / Под ред. Дытнерского Ю. И. – М. : Химия, 1983. – 272 с.

5 Етапи виконання кваліфікаційної роботи:

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

6 Дата видачі завдання

жовтень 2019 р.

Керівник

підпис

ст. викл. Острога Р.О.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 61 с., 7 рис., 1 табл., 3 додатки, 23 джерела.

Графічні матеріали: технологічна схема ректифікаційної установки, складальний кресленик ректифікаційної колони, складальний кресленик ковпачкової тарілки, складальний кресленик циліндричної опори – усього 4 аркуші графічної частини (3×А1).

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

У роботі наведено теоретичні основи та особливості процесу ректифікації для розділення бінарних сумішей на окремі компоненти, виконані технологічні розрахунки процесу, визначені габаритні розміри апарата, його гідравлічний опір, обґрунтований вибір матеріалу для виготовлення апарата, розраховане і вибране допоміжне обладнання. Розрахунками на міцність і герметичність показана надійність роботи проектного апарата. Окремим розділом представлено організацію монтажних і ремонтних робіт колонного обладнання. У розділі «Охорона праці» розглянуто характеристику та дію на організм людини, нормування та захист від іонізуючого випромінювання.

Ключові слова: ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА, РЕКТИФІКАЦІЯ, ОЦТОВА КИСЛОТА, КОЛОНА, КОВПАЧОК, ІОНІЗУЮЧЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ.

Зміст

	С.
Вступ	5
1 Технологічна частина	7
1.1 Опис технологічної схеми ректифікаційної установки	7
1.2 Теоретичні основи процесу	8
1.3 Опис об'єкта розроблення та вибір основних конструкційних матеріалів	13
2 Технологічні розрахунки процесу і апарата	17
2.1 Технологічні розрахунки	17
2.2 Конструктивні розрахунки	22
2.3 Гідравлічний опір апарата	27
2.4 Вибір допоміжного обладнання	32
3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність	37
3.1 Розрахунок товщини стінки корпусу апарата	37
3.2 Розрахунок товщини стінки кришки (днища)	39
3.3 Розрахунок опори апарата	40
4 Монтаж та ремонт апарата	42
4.1 Монтаж апарата	42
4.2 Ремонт апарата	44
5 Охорона праці	48
Література	59
Додаток А – Рівноважна і робоча лінії на діаграмі х – у для суміші вода – оцтова кислота	
Додаток Б – Крива рівноваги для суміші вода – оцтова кислота	
Додаток В – Специфікації до графічної частини проекту	

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Ведмідь</i>				Тарілчаста ректифікаційна колона Пояснювальна записка	<i>Лім.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Острога</i>						4	61
<i>Реценз.</i>						СумДУ, ХМдн-54р		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>	<i>Склабінський</i>							

Вступ

Оцтова кислота – це органічна сполука, одноосновна карбонова кислота складу CH_3COOH . За звичайних умов є безбарвною рідиною із різким запахом. Отримувати її можна двома способами [1]:

- 1) хімічним – із продуктів сухої перегонки деревини;
- 2) мікробіологічним – у результаті оцтового збродження спиртовмісних рідин, таких, як: виноградне вино, сидр, пивне сусло, зброджений мед та соки різних фруктів або водний розчин етилового спирту ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$).

Застосування оцтової кислоти досить 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 тканин. Також оцтова кислота має застосовується і як розчинник. У харчовій промисловості застосовується як консервувальний засіб та смакова приправа [1].

У харчовій та багатьох інших промисловостях дуже часто виникає потреба розділяти складні однорідні рідкі суміші на індивідуальні компоненти. Характерними прикладами таких процесів є розділення водно-спиртових розчинів, органічних сполук, нафти на окремі фракції, зрідженого повітря або зрідженого природного газу на окремі корисні компоненти тощо [2].

У даній кваліфікаційній роботі розглядається процес отримання оцтової кислоти методом ректифікації бінарної суміші (вода – оцтова кислота).

Ректифікацією називають процес розділення рідких сумішей на практично чисті компоненти шляхом застосування методу багаторазової (багатоступінчастої) протитечійної дистиляції, проведеної в ректифікаційній колоні. Застосування ректифікації 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) [2].

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

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

Кваліфікаційну роботу бакалавра виконано у відповідності до методичних вказівок [3]. Зміст і порядок розділів у даній пояснювальній записці також формувався відповідно цим вимогам.

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

1 Технологічна частина

1.1 Опис технологічної схеми ректифікаційної установки

Технологічна схема ректифікаційної установки у виробництві оцтової кислоти представлена на рис. 1.1.

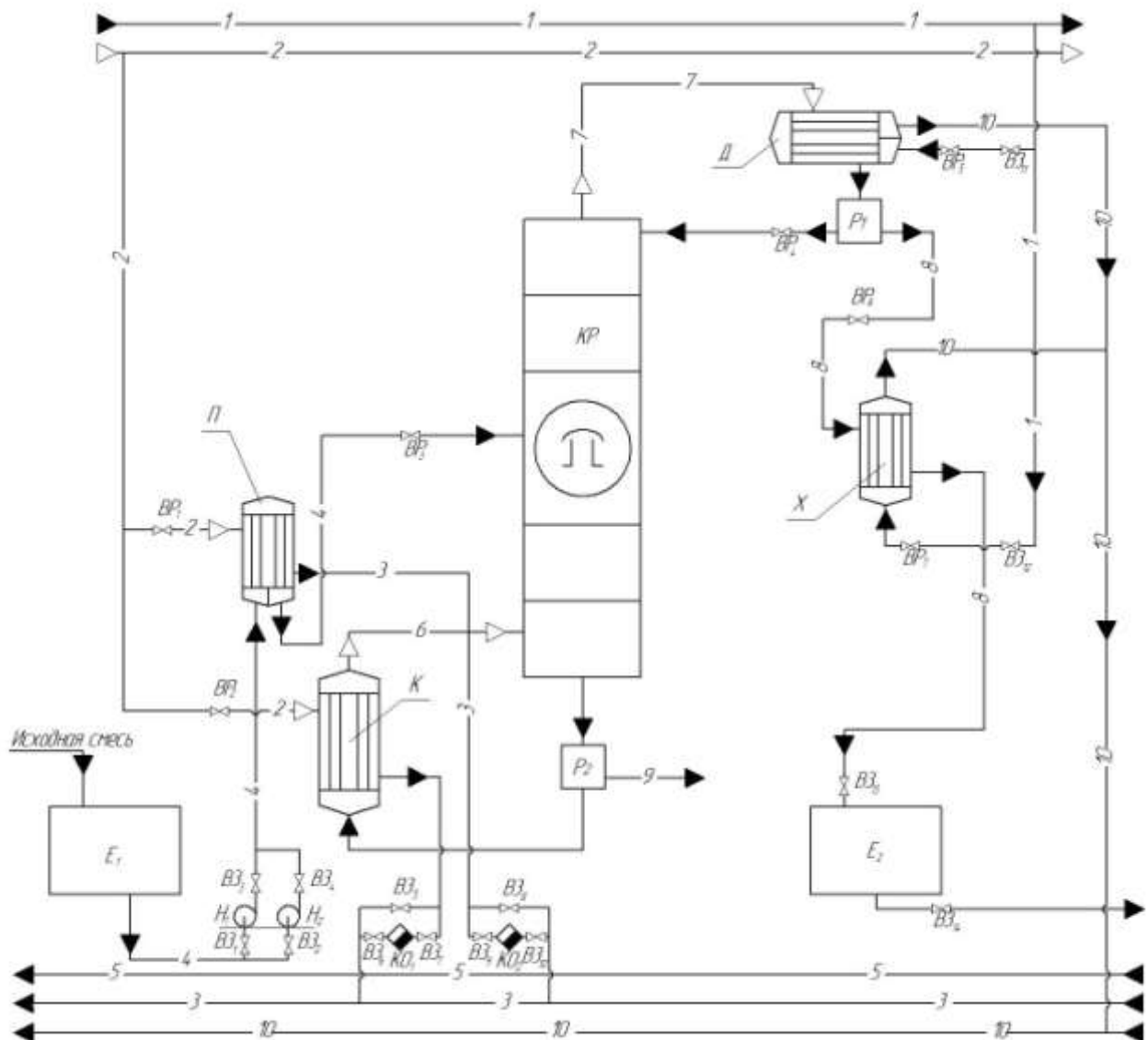


Рисунок 1.1 – Технологічна схема ректифікаційної установки:

E_1, E_2, E_3 – ємність; H_1, H_2 – відцентровий насос; Π – підігрівач;

K – кип'ятильник; KP – ректифікаційна колона; X_1, X_2 – холодильник;

D – дефлегматор; P_1, P_2 – розподільний стакан

Принцип роботи даної установки полягає у наступному. Спочатку вихідна бінарна суміш потрапляє до проміжної ємності E_1 , звідки відцентровими насосами H_1 і H_2 , які працюють незалежно один від одного, подається в підігрівач Π , де підігрівається до температури кипіння. Далі, уже підігріта суміш, потрапляє на розділення в ректифікаційну колону KP з ковпачковими тарілками.

Кубовий залишок колони потрапляє на розподільувач P_2 , де відбувається його розділення на два незалежні потоки. Перша частина охолоджується і відводиться у товарний парк. Друга частина потрапляє в кип'ятильник K , 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 D , де конденсується за рахунок холодного теплоносія. Витрата води вимірюється ротаметром, а температура її на вході і виході – термометрами. Рідина, що утворилась в дефлегматорі D 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 E_2 . Кількість флегми і дистилляту вимірюються ротаметрами.

1.2 Теоретичні основи процесу

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

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

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

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

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

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

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 дифузією.

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

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

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

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

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

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

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

де ν – кінематична в'язкість;

m – константа, яка визначається дослідним шляхом.

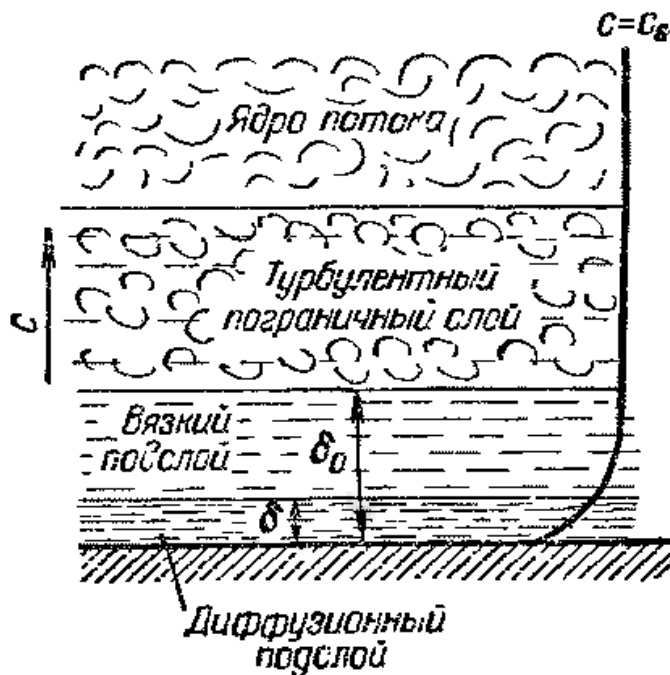


Рисунок 1.2 – Структура потоку і профіль концентрацій у фазі

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

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

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

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

фаза Φ_Y

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

фаза Φ_X

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

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

Коефіцієнти пропорційності β_x і β_y називають коефіцієнтами масовіддачі.

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

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

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

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

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

у той же час згідно слідству закону Дальтона:

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

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

P – загальний тиск парів над розчином.

Вирішуючи рівняння щодо y_A отримуємо

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

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

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

Стосовно до двокомпонентних (бінарних) розчину отримаємо

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

Вирішивши це рівняння щодо x_A , знайшли

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

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

1.3 Опис об'єкта розроблення та вибір основних конструкційних матеріалів

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 [2].

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

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

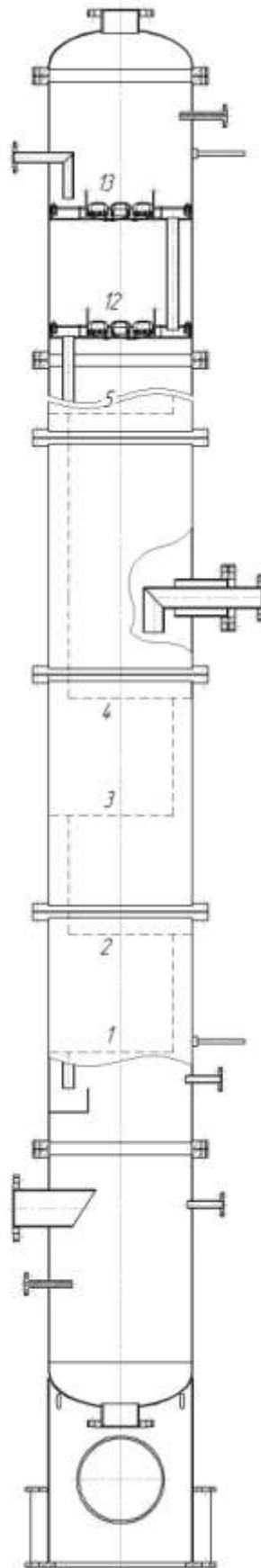


Рисунок 1.3 – Ескіз проектованого апарату

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		14

Ковпачкові капсульні тарілки (рис. 1.4) 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/м²). 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.

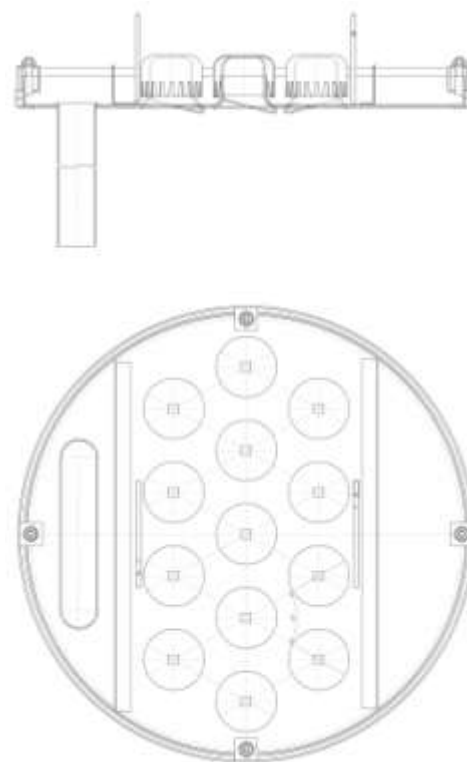


Рисунок 1.4 – Ескіз ковпачкової тарілки (D = 600 мм)

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.

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

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

Тому до конструкційних матеріалів проекрованої апаратури висувають наступні вимоги [9]:

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
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		16

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 [4]:

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

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

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

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

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

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

$$M_D = 18,02 \cdot 0,9 + 60,05 \cdot (1 - 0,9) = 22,22 \text{ кг/кмоль}$$

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

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

$M_{\text{ллк}}=18,02$ кг/кмоль, $M_{\text{млк}}= 60,05$ кг/кмоль – молярні маси води і оцтової кислоти відповідно [11].

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

$$\bar{x}_D = 0,9 \cdot \frac{18,02}{22,22} = 0,730 \text{ мас. частки}$$

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

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

Матеріальний баланс ректифікаційної колони складається з потоків [4]:

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

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 дистиляту і кубового залишку:

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

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

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

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

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

Далі визначаємо мінімальне флегмове число за рівнянням [6]:

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

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

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

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

Визначаємо оптимальне флегмовое число [4]:

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

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

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

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

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

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

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

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:

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

де F – число живлення, що визначається за формулою:

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

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

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

Ордината точки А (див. Додаток А), де перетинаються робочі лінії, визначається за рівнянням (2.13) і (2.14):

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

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

Рівність отриманих значень засвідчує правильність виконаних розрахунків.

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

– у верхній частині колони:

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

– у нижній частині колони:

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

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

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

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:

$$y_{cp}'' = \frac{F + R}{R + 1} \cdot x_{cp}'' - \frac{F - 1}{R + 1} \cdot x_w; \quad (2.19)$$

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

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

Середня молярна маса парів розраховується за формулами [2]:

– у верхній частині колони:

$$M_{cp}' = y_{cp}' \cdot M_{лк} + (1 - y_{cp}') \cdot M_{тлк}; \quad (2.20)$$

– у нижній частині колони:

$$M_{cp}'' = y_{cp}'' \cdot M_{лк} + (1 - y_{cp}'') \cdot M_{тлк}; \quad (2.21)$$

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

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

Середні густини парів визначаються за рівнянням Клайперона:

– у верхній частині колони [1]:

$$\rho_y' = \frac{M_{cp}' \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + t_y')}; \quad (2.22)$$

– у нижній частині колони:

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

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

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

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

Середні густини рідини знаходяться за правилом адитивності:

– у верхній частині колони:

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

– у нижній частині колони:

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

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

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

2.2 Конструктивні розрахунки

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

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

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

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

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

Гранична швидкість парів:

– для верхньої частини колони

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

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

– для нижньої частини колони

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

Робоча швидкість парів:

– для верхньої частини колони

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

– для нижньої частини колони

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

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

– 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:

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

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

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

Об'ємна витрата парів дорівнює:

– у верхній частині колони

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

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

– у нижній частині колони

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

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

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

Діаметр колони розраховується за формулою [13]:

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

– для верхньої частини колони:

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

– для нижньої частини колони:

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

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

Дійсні робочі швидкості пари в колоні будуть становити:

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

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

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

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		24

Таким чином, у нижній частині колоні $N_T = 2,5$ шт., а у верхній частині $N_T = 6$ шт.

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

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

де η – к.к.д. тарілки.

Для ковпачкових тарілок приймаємо $\eta = 0,65$ [12].

Число дійсних тарілок складе:

– у верхній частині колоні

$$N_d = 6 / 0,65 \approx 9 \text{ шт.}$$

– у нижній частині колоні

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

Висота тарільчастої частини колоні 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 [12] відстань між верхньою кришкою колоні 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 колоні складе 8200 мм (без урахування опори).

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

Діаметр патрубкa визначається за формулою [12]:

$$D = \sqrt{\frac{G}{\rho \cdot 3600 \cdot 0,785 \cdot \omega}}; \quad (2.35)$$

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

Швидкість пари приймається в межах 10–15 м/с, швидкість рідини 0,2–1,5 м/с.

Діаметри патрубків для входу і виходу парів:

$$d_v = \sqrt{\frac{761}{3600 \cdot 1,05 \cdot 0,785 \cdot 15}} = 0,131 \text{ м.}$$

Приймаємо діаметри патрубків $d_v=150$ мм.

Діаметр патрубкa для входу флегми:

$$d_R = \sqrt{\frac{583}{3600 \cdot 961 \cdot 0,785 \cdot 0,2}} = 0,033 \text{ м.}$$

Приймаємо діаметр патрубкa $d_R=40$ мм.

Діаметр патрубкa для входу вихідної суміші:

$$d_f = \sqrt{\frac{1600}{3600 \cdot 965 \cdot 0,785 \cdot 0,2}} = 0,094 \text{ м.}$$

Приймаємо діаметр патрубкa $d_f=100$ мм.

Діаметр патрубкa для виходу кубового залишку:

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

Приймаємо діаметр патрубкa $d_w=125$ мм.

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		26

2.3 Гідравлічний опір апарата

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

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

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

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

Визначаємо навантаження за парою і навантаження за рідиною тарілки:

$$G_n = 0,211 \text{ кг/с};$$

$$G_p = 0,606 \text{ кг/с}.$$

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

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

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

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

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

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

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

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

Приймемо 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

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

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

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

Глибина барботажу при атмосферному тиску складе:

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

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

Знаходимо висоту зливного порога за рівнянням:

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

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						28
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Висота піни, що утворюється на тарілці, складе:

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

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

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

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

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

Величина відносного унесення рідини:

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

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

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

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

Отже, відстань між тарілками вибрана правильно.

Дійсне навантаження зливного пристрою за рідиною розраховуємо за рівнянням:

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

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

Дійсна величина підпору рідини над зливним порогом:

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						29
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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 [12] у залежності від фактору піноутворення рідини: $k_5 = 0,250$, $n_2 = 0,65$.

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

Розрахуємо швидкість рідини в зливному пристрої:

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

Далі розраховуємо комплекс:

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

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

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

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

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

Опір сухий тарілки визначаємо за рівнянням [12]:

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

де швидкість пара в парових патрубках дорівнює

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

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

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

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

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

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

Величина перепаду рівня рідини на тарілці:

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

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

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

Опір шару рідини на тарілці розраховуємо за рівнянням:

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

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

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

Загальний опір тарілки дорівнює:

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

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

Гідравлічний опір колони:

$$\Delta P_k = N_d \cdot \Delta P; \quad (2.51)$$

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

2.4 Вибір допоміжного обладнання

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

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

Діаметр трубопроводу визначаємо за рівнянням:

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

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

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

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

Приймаємо стандартизований діаметр трубопроводу 18 мм.

Визначаємо критерій Рейнольдса для рідини у трубопроводі:

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

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

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

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

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

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

Для зони, що є автомодельною по відношенню до Re:

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

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

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

Для всмоктуючої лінії:

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

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

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

Для напірної лінії:

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

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

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

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.

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

Втрата напору в напірній лінії:

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

Загальні втрати напору:

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

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

Знаходимо напір насосу за рівнянням:

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

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;

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

$$H = 5 + 6,82 = 11,82 \text{ м.}$$

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

Корисну потужність насосу визначаємо за рівнянням:

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

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

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

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

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

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

Розрахунковий об'єм ємності:

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

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

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

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

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

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

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

3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність

3.1 Розрахунок товщини стінки корпусу апарата

Для подальших розрахунків приймаємо робочу температуру середовища 110°C. За рекомендацією [14] робочу температуру стінки приймаємо на 5°C меншою, тобто 105°C. Робочий тиск в апараті, згідно завдання, становить 0,1 МПа.

Розрахунковий тиск для апаратів з робочим надлишковим тиском $P > 0,07$ МПа, відповідно до рекомендацій наведених у [14], складе:

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

Приймаємо стандартне значення 0,25 МПа.

Пробний при гідравлічному випробуванні тиск згідно [14] складе:

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

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

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

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

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

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

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

Товщина стінки циліндричної обичайки, навантаженої внутрішнім надлишковим тиском:

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

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

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

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

Допустимий внутрішній надлишковий тиск:

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

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

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

Умова міцності має вигляд:

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

Умова міцності виконується.

3.2 Розрахунок товщини стінки кришки (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 $S = 0,004 \text{ м} = 4 \text{ мм}$.

Допустимий внутрішній надлишковий тиск:

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

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

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

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						39
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

3.3 Розрахунок опори апарата

Визначимо навантаження порожнього апарату на опору по формулі:

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

де M_{an} – маса порожнього апарату;

$$M_{an} = M_{\kappa} + M_{\partial n} + M_{\kappa p} + M_m + M_{\phi л} , \quad (3.10)$$

де M_{κ} , $M_{\partial n}$, $M_{\kappa p}$, M_m , $M_{\phi л}$ – відповідно маси корпусу, днища, кришки, тарілок, фланців і арматури

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

де $\rho=7800$ кг/м³ – щільність матеріалу корпусу;

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

$$M_{\partial n} = M_{\kappa p} = 20 \text{ кг.}$$

Маса тарілок:

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

де $m_m = 36,5$ кг – маса однієї тарілки.

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

Масу фланців і арматури приймемо рівною $M_{\phi л}=300$ кг.

Маса порожнього апарату:

$$M_{an} = 482 + 20 + 20 + 474,5 + 300 = 1496,5 \text{ кг;}$$

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

Навантаження апарату на опору під час гідравлічних випробувань:

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

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

де M_B – маса залитої в апарат води.

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

де V – об'єм апарату

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

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

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

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

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

4 Монтаж та ремонт апарата

4.1 Монтаж апарата [15, 16]

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

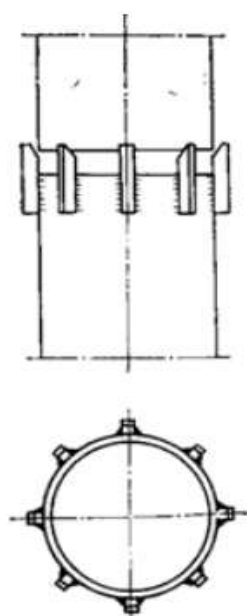


Рисунок 4.1 – Стиковка обичайок

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

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

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

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
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		43

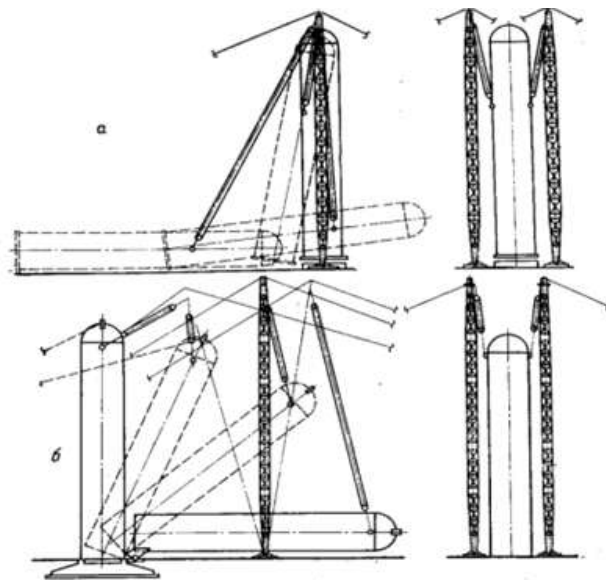


Рисунок 4.2 – Способи підйому колонного апарата:

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

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

4.2 Ремонт апарата [15, 16]

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

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		44

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
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		45

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
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		46

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.

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

5 Охорона праці

Характеристика та дія на організм людини, нормування та захист від іонізуючого випромінювання.

Іонізуюче випромінювання, або іонізуюча радіація, – потоки електромагнітних хвиль або частинок речовини, що здатні при взаємодії з речовиною утворювати в ній іони. До іонізаційного випромінювання відносять альфа-, бета-, гамма-промені, рентгенівське випромінювання, а також інші високоенергетичні заряджені частинки на кшталт протонів та іонів, отриманих у прискорювачах. При проходженні через речовину нейтрони не іонізують її атомів, однак іонізація відбувається внаслідок вторинних процесів при поглинанні нейтронів ядрами, вибиванні протонів або при розпаді нейтронів на протон та електрон чи на антипротон та позитрон.

Іонізуюче випромінювання надходить із радіоактивних матеріалів, рентгенівських трубок, прискорювачів частинок і присутнє у навколишньому середовищі. Це проміння невидиме, і його неможливо безпосередньо виявити за допомогою людських відчуттів, тому використовуються такі інструменти як лічильник Гейгера, іонізаційний детектор. У деяких випадках іонізуюче випромінювання може призвести до вторинної емісії видимого світла при взаємодії з речовиною.

Іонізуюче випромінювання має багато практичних застосувань у медицині, наукових дослідженнях, будівництві та інших галузях, проте є небезпечною для здоров'я при неправильному використанні. Вплив радіації призводить до пошкодження живих тканин, внаслідок яких бувають опіки, променева хвороба, смерть при високих дозах і рак, пухлини та генетичні мутації при низьких дозах [17].

Відомі дві групи іонізуючих випромінювань [18]:

1. Корпускулярні:

- α -частинки – важки частки, які складені з двох нейтронів і двох протонів;

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		48

- β -частинки – електрони або позитрони;
- протони – позитивно заряджені елементарні частки;
- нейтрони – нейтральні елементарні частки з масою як у протона;
- мезони – елементарні частки з негативним зарядом і енергією 25 – 100 MeV та масою у 300 разів більше маси електрона.

2. Хвильові (електромагнітні):

- γ -випромінювання – електромагнітне випромінювання з довжиною хвилі менше 0,05 н/м;
- рентгенівське випромінювання – електромагнітне випромінювання з довжиною хвилі 0,05 – 10 н/м, що отримують у рентгенівських трубках, в результаті впливу енергії електронів з розжареного катоду, які потрапляють на анод;
- короткохвильове ультрафіолетове випромінювання – електромагнітне випромінювання з довжиною хвилі 10 – 110 н/м (вакуумний ультрафіолет).

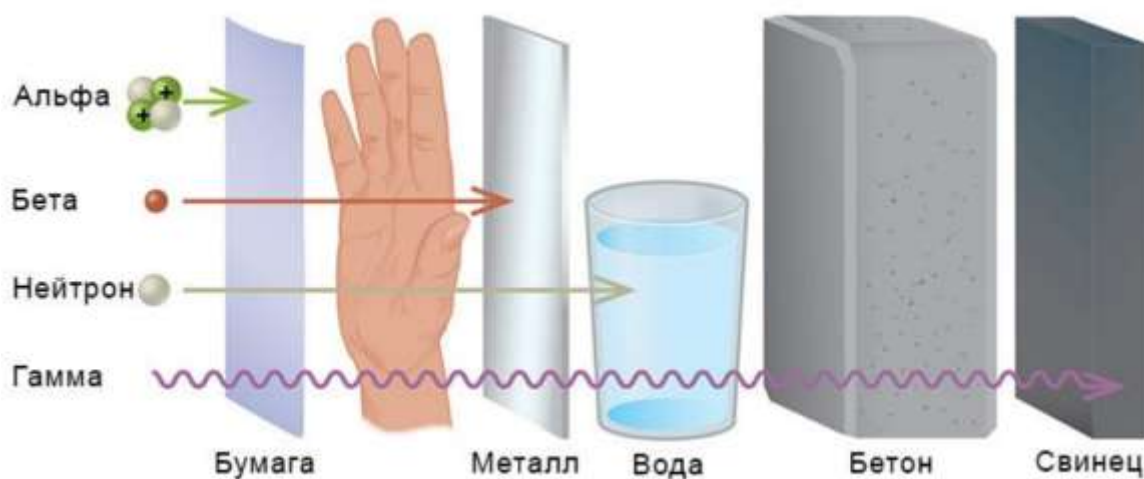


Рисунок 5.1 – Види випромінювання

Альфа (α) – це випромінювання важких частинок, що складаються з двох протонів і двох нейтронів та мають найменшу проникаючу здатність. Наприклад, альфа-частинки, що випромінюються під час розпаду Радію-226, у

повітрі можуть проходити тільки 4 см. Їх легко зупинити будь-яким матеріалом, навіть звичайним папером.

З альфа-частинками, які випромінюють радіонукліди, зараз все набагато простіше. Навіть якщо людина спеціально буде їх споживати з їжею, лише дуже незначна частка перейде в тканини з кишечника. Зовнішнє опромінення організму альфа-частками втратило свою важливість, оскільки:

1) альфа-випромінюючі радіонукліди міцно утримуються у верхньому шарі ґрунту,

2) пробіг альфа-частинок навіть в повітрі - міліметри, а в тканинах вони практично відразу «гаснуть».

Зараз куди більшу роль - як альфа-випромінювач - грає природний радіонуклід - радон, який є у всіх підвальних приміщеннях, печерах і погано провітрюваних кімнатах, а також широко використовується при лікуванні на грязьових курортах.

Бета (β) – це випромінювання електрона. Бета-частинки також мають порівняно невелику відстань проходження крізь речовину. Воно виникає в результаті розпаду і цезію-137, і стронцію-90 і дочірнього продукту останнього – ітрію-90. Пробіг електронів в речовині значно коротше пробігу гамма-частинок. У повітрі - це десятки сантиметрів, а в тканинах – міліметри.

Якщо джерело випромінювання зовні, то велика частина бета частинок «гасне» в наших покривних тканинах (і в одязі), а це як правило щільні і відносно стійкі до радіаційного впливу тканини. Але якщо джерело всередині організму (а ^{90}Sr і ^{137}Cs легко потрапляють туди з їжею), то бета-частинки поглинаються практично повністю, а отже викликають небажані пошкодження наших молекул. Особливо це істотно для тканин прилеглих до кістки, оскільки кістка є природним акумулятором стронцію.

Гамма (γ) – це електромагнітні хвилі із довжиною, меншою за розміри атома. Гамма-випромінювання має найбільшу проникаючу здатність. Його

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		50

можна лише послабити за допомогою товстого шару речовини. Зазвичай, під рівнем радіації («фоном») розуміють потужність саме гамма-випромінювання.

Від гамма-випромінювання, яке формують продукти розпаду цезію-137, складно сховатися. Але і наслідки його не так істотні. Через низьку щільності наших тканин велика частина гамма-частинок проходить крізь тіло, не завдаючи йому шкоди. Хоча, звичайно, ті, що «погасли» в клітинах, викликають появу вільних радикалів або руйнування молекул. Причому, щодо гамма-випромінювання, не має значення де знаходиться джерело: зовні або всередині організму – ефект, майже, один [19].

Рентгенівське випромінювання – електромагнітне випромінювання високої частоти та з короткою довжиною хвилі, яке виникає при бомбардуванні речовини потоком електронів. Важлива властивість рентгенівського випромінювання – його велика проникаюча здатність. Рентгенівські промені можуть виникати в рентгенівських трубках, електронних мікроскопах, потужних генераторах, випрямляючих лампах, електронно-променевих трубках тощо.

Нейтронне випромінювання – потік нейтральних часток, які вилітають з ядер атомів при деяких ядерних реакціях як правило при поділенні ядер Урана та Плутонію. Відмінна риса нейтронного випромінювання – здатність перетворювати атоми стабільних елементів в радіоактивні ізотопи, що різко підвищує небезпеку нейтронного опромінення [20].

Штучними джерелами іонізуючих випромінювань є ядерні вибухи, ядерні установки для виробництва енергії, ядерні реактори, прискорювачі заряджених частинок, рентгенівські апарати, прилади апаратури засобів зв'язку високої напруги тощо.

За декілька останніх десятиліть людство створило сотні штучних радіонуклідів і навчилося використовувати енергію атома як у військових цілях – для виробництва зброї масового ураження, так і в мирних — для виробництва енергії, у медицині, пошуку корисних копалин, діагностичному устаткуванні й ін.

Усе це призводить до збільшення дози опромінення як окремих людей, так і населення Землі загалом. Індивідуальні дози, які одержують різні люди від штучних джерел іонізуючих випромінювань, сильно відрізняються. У більшості випадків ці дози незначні, але іноді опромінення за рахунок техногенних джерел у багато тисяч разів інтенсивніші, ніж за рахунок природних. Проте слід зазначити, що породжені техногенними джерелами випромінювання звичайно легше контролювати, ніж опромінення, пов'язані з радіоактивними опадами від ядерних вибухів і аварій на АЕС, так само як і опромінення, зумовлені космічними і наземними природними джерелами.

Опромінення населення України за останні роки за рахунок штучних джерел радіації, в основному пов'язане з наслідками аварії на Чорнобильській АЕС, а також експлуатацією і «дрібними» аваріями на інших АЕС.

Техногенні джерела іонізуючого опромінення. На сьогодні людина найбільш опромінюється під час медичних процедур і лікування, пов'язаного із застосуванням радіоактивності, джерел радіації.

Радіація використовується в медицині як у діагностичних цілях, так і для лікування. Одним із найпоширеніших медичних приладів є рентгенівський апарат.

Також все більше поширюються і нові складні діагностичні методи, що спираються на використання радіоіотопів. Одним із засобів боротьби з раком, як відомо, є променева терапія. В розвинених країнах річна колективна ефективна еквівалентна доза від рентгенівських досліджень становить приблизно 1000 Зв на 1 млн. жителів.

Під дією іонізуючого випромінювання на організм людини у тканинах можуть відбуватися складні фізичні та біологічні процеси. В результаті іонізації живої тканини відбувається розрив молекулярних зв'язків і зміна хімічної структури різних сполук, що в свою чергу призводить до загибелі клітин.

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		52

Ще більш суттєву роль у формуванні біологічних наслідків відіграють продукти радіолізу води, яка складає 60-70 % маси біологічної тканини. Під дією іонізуючого випромінювання на воду утворюються вільні радикали Н та ОН, а у присутності кисню також вільний радикал гідропероксиду (HO_2) та пероксиду водню (H_2O_2), що є сильними окисниками. Продукти радіолізу вступають у хімічні реакції з молекулами тканин, утворюючи сполуки, не властиві здоровому організму. Це призводить до порушення окремих функцій або систем, а також життєдіяльності організму взагалі.

Інтенсивність хімічних реакцій, індукованих вільними радикалами, підвищується і в них залучаються багато сотень і тисяч молекул, що не зазнали опромінювання. В цьому полягає специфіка дії іонізуючого випромінювання на біологічні об'єкти, тобто ефект, створюваний випромінюванням обумовлений не стільки кількістю поглинутої енергії в опромінену об'єкті, скільки тою формою, в якій ця енергія передається. Ніякий інший вид енергії (теплової, електричної тощо), поглинутої біологічним об'єктом у тій самій кількості, не призводить до таких змін, які викликають іонізуючі випромінювання.

Порушення біологічних процесів можуть бути або оборотними, коли нормальна робота клітин опроміненої тканини повністю відновлюється, або необоротними, що ведуть до ураження окремих органів або всього організму та виникнення променевої хвороби.

Розрізняють дві форми променевої хвороби – гостру та хронічну.

Гостра форма виникає в результаті опромінення великими дозами за короткий інтервал часу. При дозах близько порядку тисяч рад ураження організму може бути миттєвим «смерть під променем». Гостра променева хвороба може виникнути і під час надходження усередину організму великих кількостей радіонуклідів.

Хронічні ураження розвиваються в результаті систематичного опромінення дозами, що перевищують гранично допустимі (ГДД). Зміни у стані здоров'я називаються соматичними ефектами, якщо вони проявляються

безпосередньо в опроміненій людині, та спадковими, якщо вони проявляються у його потомства.

Для вирішення питань радіаційної безпеки у першу чергу становлять інтерес ефекти, що спостерігаються при «малих дозах» – порядку кількох сантизивертів на годину та нижче, які реально зустрічаються під час практичного використання атомної енергії. У нормах радіаційної безпеки, за одиницю часу, як правило, використовується рік, і як наслідок цього, поняття річної дози випромінювання.

Дуже важливим тут є те, що згідно сучасним уявленням вихід несприятливих ефектів у діапазоні «малих доз», що зустрічаються у звичайних умовах, мало залежить від потужності дози. Це означає, що ефект визначається передусім сумарною накопиченою дозою незалежно від того, отримана вона за 1 день, за 1міс або за 50 років. Таким чином, оцінюючи ефекти хронічного опромінювання, потрібно мати на увазі, що ці ефекти накопичуються в організмі протягом тривалого часу.

Дослідники випромінювань першими стикнулися з їх небезпечними властивостями. А. Беккерель отримав опік шкіри. Марія Кюрі, як припускають, померла від раку крові. Не менше ніж 336 осіб, що працювали з радіоактивними матеріалами, померли від переопромінення.

Відмовитися від застосування радіоактивних речовин у науці, медицині, техніці, сільському господарстві неможливо через об'єктивні причини. Зостається один шлях – забезпечити радіаційну безпеку, тобто такий стан середовища життя, за якого з певною імовірністю виключене радіаційне ураження людини.

Вплив радіоактивного випромінювання на організм людини можна уявити в дуже спрощеному вигляді таким чином. Припустімо, що в організмі людини відбувається нормальний процес травлення. їжа, що надходить, розкладається на більш прості сполуки, які потім надходять через мембрану усередину кожної клітини і будуть використані як будівельний матеріал для

відтворення собі подібних, для відшкодування енергетичних витрат на транспортування речовин і їхню переробку. Під час потрапляння випромінювання на мембрану відразу ж порушуються молекулярні зв'язки, атоми перетворюються в іони. Крізь зруйновану мембрану в клітину починають надходити сторонні (токсичні) речовини, робота її порушується. Якщо доза випромінювання невелика, відбувається рекомбінація електронів, тобто повернення їх на свої місця. Молекулярні зв'язки відновлюються, і клітина продовжує виконувати свої функції. Якщо ж доза опромінення висока або дуже багато разів повторюється, то електрони не встигають рекомбінувати; молекулярні зв'язки не відновлюються; виходить з ладу велика кількість клітин; робота органів розладнується; нормальна життєдіяльність організму стає неможливою.

Особливості дії іонізуючого випромінювання на організм людини:

- ◆ органи чуття не реагують на випромінювання;
- ◆ малі дози випромінювання можуть підсумовуватися і накопичуватися в організмі (кумулятивний ефект);
- ◆ випромінювання діє не тільки на даний живий організм, але і на його спадкоємців (генетичний ефект);
- ◆ різні органи організму мають різну чутливість до випромінювання.

Найсильнішого впливу зазнають клітини червоного кісткового мозку, щитовидна залоза, легені, внутрішні органи, тобто органи, клітини яких мають високий рівень поділу. При одній і тій самій дозі випромінювання у дітей вражається більше клітин, ніж у дорослих, тому що у дітей всі клітини перебувають у стадії поділу [21].

Допустимі рівні іонізуючого випромінювання регламентується «Нормами радіаційної безпеки України НРБУ-97», які є основним документом, що встановлює радіаційно-гігієнічні регламенти для забезпечення прийнятих рівнів опромінення як для окремої людини, так і суспільства взагалі. НРБУ-97

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		55

поширюються на ситуації опромінення людини джерелами іонізуючого випромінювання в умовах:

- нормальної експлуатації індустриальних джерел іонізуючого випромінювання;
- медичної практики;
- радіаційних аварій;
- опромінення техногенно-підсиленими джерелами природного походження.

Згідно з цими нормативними документами опромінювані особи поділяються на такі категорії:

А-персонал - особи, які постійно або тимчасово безпосередньо працюють з джерелами іонізуючого випромінювання;

Б-персонал - особи, які безпосередньо не зайняті роботою з джерелами іонізуючих випромінювань, але у зв'язку з розміщенням робочих місць у приміщеннях і на промислових площадках об'єктів з радіаційно-ядерними технологіями можуть одержувати додаткове опромінення;

В - все населення.

НРБУ-97 включають такі регламентовані величини: ліміт дози, допустимі рівні, контрольні рівні, рекомендовані рівні та ін. Для контролю за практичною діяльністю, а також підтримання радіаційного стану навколишнього середовища найбільш значимою регламентованою величиною є ліміт ефективної дози опромінення за рік (мЗв/рік). Також встановлюють ліміт річної еквівалентної дози зовнішнього опромінювання окремих органів і тканин (табл. 5.1).

З метою зниження рівнів опромінювання населення Міністерство охорони здоров'я України запроваджує рекомендовані рівні медичного опромінювання. При проведенні профілактичного обстеження населення, річна ефективна доза не повинна перевищувати 1 мЗв.

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		56

Таблиця 5.1 – Ліміти дози опромінювання (мЗв/рік)

Органи і тканини людини	Категорія осіб, які зазнають опромінювання		
	А	Б	В
ЛД _Е (ліміт ефективної дози)	20	2	1
Ліміти еквівалентної дози зовнішнього опромінювання:			
- ЛД _{lens} (для кришталика ока)	150	15	15
- ЛД _{skin} (для шкіри)	500	50	50
- ЛД _{extrim} (для кистей та стоп)	500	50	-

НРБУ-97 також регламентує ефективну питому активність природних радіонуклідів у будівельних матеріалах (за зваженою сумою активності радію-226, торію-232 і калію-40). Всередині приміщень з постійним перебуванням людей потужність поглиненої в повітрі дози гамма-випромінювання не повинна перевищувати 30 мкР/рік [22].

Захист від іонізуючих випромінювань може здійснюватись шляхом використання наступних принципів:

- використання джерел з мінімальним випромінюванням шляхом переходу на менш активні джерела, зменшення кількості ізотопу;
- скорочення часу роботи з джерелом іонізуючого випромінювання;
- віддалення робочого місця від джерела іонізуючого випромінювання;
- екранування джерела іонізуючого випромінювання.

Екрани можуть бути пересувні або стаціонарні, призначені для поглинання або послаблення іонізуючого випромінювання. Екранами можуть бути стінки контейнерів для перевезення радіоактивних ізотопів, стінки сейфів для їх зберігання.

Альфа-частинки екрануються шаром повітря товщиною декілька сантиметрів, шаром скла товщиною декілька міліметрів.

З метою захисту від бета-випромінювання використовуються матеріали з малою атомною масою. Для цього використовують комбіновані екрани, у котрих

з боку джерела розташовується матеріал з малою атомною масою товщиною, що дорівнює довжині пробігу бета-частинок, а за ним – з великою масою.

З метою захисту від рентгенівського та гамма-випромінювання застосовуються матеріали з великою атомною масою та з високою щільністю (свинець, вольфрам).

Для захисту від нейтронного випромінювання використовують матеріали, котрі містять водень (вода, парафін), а також бор, берилій, кадмій, графіт. Враховуючи те, що нейтронні потоки супроводжуються гамма-випромінюванням, слід використовувати комбінований захист у вигляді шаруватих екранів з важких та легких матеріалів (свинець-поліетилен).

Дієвим захисним засобом є використання дистанційного керування, маніпуляторів, роботизованих комплексів.

В залежності від характеру виконуваних робіт вибирають засоби індивідуального захисту: халати та шапочки з бавовняної тканини захисні фартухи, гумові рукавиці, щитки, засоби захисту органів дихання (респіратор «Лепесток»), комбінезони, пневмокостюми, гумові чоботи.

Дієвим чинником забезпечення радіаційної безпеки є дозиметричний контроль за рівнями опромінення персоналу та за рівнем радіації в навколишньому середовищі.

Оцінка радіаційного стану здійснюється за допомогою приладів, принцип дії котрих базується на наступних методах:

- іонізаційний (вимірювання ступеня іонізації середовища);
- сцинтиляційний (вимірювання інтенсивності світлових спалахів, котрі виникають в речовинах, що люмінесціюють при проходженні через них іонізуючих випромінювань);
- фотографічний (вимірювання оптичної щільності почорніння фотопластинки під дією випромінювання);
- калориметричні методи (вимірювання кількості тепла, що виділяється в поглинальній речовині) [23].

Література

1. Бондар І.В. Промислова мікробіологія. Харчова і агробіотехнологія: Навчальний посібник для студентів спеціальності 7.092901 – «Промислова біотехнологія» / І.В. Бондар, В.М. Гуляєв. – Дніпродзержинськ : вид-во ДДТУ, 2004. – 280 с.
2. 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>.
3. 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.
4. Иоффе И.Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии / И.Л. Иоффе. – Л. : Химия, 1991. – 352 с.
5. 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.
6. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М. : Химия, 1973. – 752 с.
7. 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.
8. Лазинский А. А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / А. А. Лазинский, А. Р. Толчинский. – Л. : Машиностроение, 1970. – 752 с.
9. Лазинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов : Справочник / А. А. Лазинский. – Л. : Машиностроение, 1981. – 382 с.

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		59

10. 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.

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

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

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

14. 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.

15. 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.

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

17. Іонізуюче випромінювання [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Іонізуюче_випромінювання#:~:text=Іонізуюче%20випромінювання%2C%20або%20іонізуюча%20радіація,речовиною%20утворювати%20в%20ній%20іони

18. Методи та засоби радіаційного контролю і протирадіаційного захисту працюючих з джерелами іонізуючих випромінювань та населення в місцях його проживання. Біоетичні засади радіаційної безпеки населення [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.umsa.edu.ua/storage/kf_gigien_ekologii/docs/2HHQHVVWZFe0TaGp8G03eKBV9bs0MzqZalQ2XTi0d.pdf

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		60

19. Чи знаєте Ви, що радіація, радіаційний фон та іонізуюче випромінювання супроводжують нас кожен день протягом усього життя? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://dazv.gov.ua/tsikavo-znaty/chi-znaete-vi-shcho-radiatsiya-radiatsijnij-fon-ta-ionizuyuche-viprominyuvannya-suprovodzhuyut-nas-kozhen-den-protyagom-usogo-zhittya.html>

20. Методичні вказівки до лабораторного заняття «Дослідження захисних властивостей різних матеріалів, що використовуються для захисту від дії іонізуючого випромінювання» з дисципліни «Цивільний захист і охорона праці в галузі» : для усіх спеціальностей та форм навчання / Укл. : О. Б. Курков, С. М. Журавель – Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2019. – 25 с.

21. Безпека працівників під час радіаційних аварій і радіаційного забруднення місцевості. Режим радіаційного захисту [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P_Tender/Admin_diyalnist/Tema_1.3_CZ.pdf

22. Виробничі випромінювання [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fmbt/kobilyanskij_ohorona_praci/4-1.html

23. Захист від іонізуючих випромінювань [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://buklib.net/books/29927/>

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		61