

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: Блок отримання технічного пропан-бутану  
установки переробки нестабільної нафти. Розробити  
етанову ректифікаційну колону

Виконала:

студентка групи ХМдн-54чк

Костюк Наталія Володимирівна

\_\_\_\_\_   
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-54чк Семестр 6

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

Студентка Костюк Наталія Володимирівна

1 Тема проекту: Блок отримання технічного пропан-бутану установки переробки нестабільної нафти. Розробити етанову ректифікаційну колону

2 Вихідні дані: Розробити насадковий деетанізатор продуктивністю 1300 кг/год. за широкою фракцією легких вуглеводнів (ШФЛВ). Склад сировини (мас. частки):  $CH_4 = 0,058$ ;  $C_2H_6 = 0,052$ ;  $C_3H_8 = 0,275$ ;  $i-C_4H_{10} = 0,130$ ;  $n-C_4H_{10} = 0,248$ ;  $i-C_5H_{12} = 0,132$ ;  $n-C_5H_{12} = 0,090$ ;  $C_6H_{14} = 0,015$ . Тиск у колоні 3,6 МПа.

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

- |  |            |
|--|------------|
| 1. <u>Технологічна схема установки</u> | – 1,0 арк. |
| 2. <u>Складальне креслення апарата</u> | – 1,0 арк. |
| 3. <u>Складальне креслення опори</u>   | – 1,0 арк. |

4 Рекомендована література: 1. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра / укладачі: Р.О. Острога, М.С. Скиданенко, Я.Е. Михайловський, А.В. Іванія. – Суми : СумДУ, 2019. – 32 с.; 2. Кузнецов А.А. Расчеты процессов и аппаратов нефтеперерабатывающей промышленности / А.А. Кузнецов, С.М. Кагерманов, Е.Н. Судаков. – Л. : Химия, 1974 – 344 с.

5 Етапи виконання кваліфікаційної роботи:

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

6 Дата видачі завдання

жовтень 2019 р.

Керівник

\_\_\_\_\_

підпис

ст. викл. Острога Р.О.

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 50 с., 9 рис., 5 табл., 2 додатки, 20 джерел.

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

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра «Блок отримання технічного пропан-бутану установки переробки нестабільної нафти. Розробити етанову ректифікаційну колону».

У роботі наведено теоретичні основи та особливості процесу ректифікації для розділення багатокомпонентних вуглеводневих сумішей на окремі фракції, виконані технологічні розрахунки процесу, визначені габаритні розміри апарата, розраховано його гідравлічний опір, обґрунтований вибір матеріалу для виготовлення основних деталей і вузлів апарата, розраховане і вибране допоміжне обладнання. Розрахунками на міцність і герметичність показана надійність роботи спроектованого апарата. У додатках представлені комп'ютерні розрахунки проектного апарата на міцність із застосуванням ЕОМ (програма Passat).

У розділі «Охорона праці» розглянуті характеристика та дія на організм людини іонізуючого випромінювання, а також нормування та захист від нього.

Ключові слова: УСТАНОВКА, НАСАДКОВА КОЛОНА, ЕТАН, ПРОПАН, БУТАН, РЕКТИФІКАЦІЯ, МІЦНІСТЬ, ВИПРОМІНЮВАННЯ.

## Зміст

	С.
Вступ	5
1 Технологічна частина	7
1.1 Опис технологічної схеми установки	7
1.2 Теоретичні основи процесу	9
1.3 Опис об'єкта розроблення та вибір основних конструктивних матеріалів	15
2 Технологічні розрахунки процесу і апарата	18
2.1 Технологічні розрахунки	18
2.2 Конструктивні розрахунки	21
2.3 Гідравлічний опір апарата	25
2.4 Вибір допоміжного обладнання	27
3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність	30
3.1 Визначення товщини стінки апарата, кришки	30
3.2 Розрахунок висоти трубної решітки	33
3.3 Розрахунок опори апарата	33
4 Монтаж та ремонт апарата	35
4.1 Монтаж апарата	35
4.2 Ремонт апарата	37
5 Охорона праці	40
Список літератури	49
Додаток А – Розрахунки апарата на міцність із застосуванням ЕОМ	
Додаток Б – Специфікації до графічної частини	

					<b>ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ</b>		
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>			
<i>Разраб.</i>		<i>Костюк</i>			<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		<i>Острога</i>				4	50
<i>Реценз.</i>					<b>СумДУ, ХМдн-54чк</b>		
<i>Н. Контр.</i>							
<i>Утверд.</i>		<i>Склабінський</i>					
<b>Насадкова колона-деетанізатор</b>							
<b>Пояснювальна записка</b>							

## Вступ

Підприємства переробки нафти знаходяться у всіх континентах (окрім Антарктиди) – 109 країн експлуатує понад 770 нафтопереробних заводів. Десять країн найбільшою потужністю (млн тонн / рік) нафтопереробних заводів наводиться нижче: США – 830; Китай – 340; Росія – 271; Японія – 234; Індія – 171; Канада – 166; Південна Корея – 135; Німеччина – 123; Франція – 120; Італія – 102. Потужність окремих нафтопереробних заводів коливається від 50 тис. тонн до 55 млн тонн / рік (комплекс фірми «Реланс», штат Гуджерат, Індія). Власниками нафтопереробних заводів (НПЗ) є як провідні світові компанії, які здійснюють видобуток, переробку нафти, а також поставки нафтопродуктів (американські компанії «ЕххонMobil», «Shell», «Shevron», «СopocoPhilipce» британська «BritishPetroleum»), французька «Total», італійська «Adgir», китайська «Sinoreck», бразильська «Petrobraz», індійська «Indian Oil», російські «Роснефть», «Лукойл»), так і компанії, які зосередилися тільки на переробці нафти («Valero Energy» в США) [1].

Найчастіше нестабільна вуглеводнева сировина (нестабільна нафта) надходить на малотоннажні нафтопереробні заводи (міні-НПЗ). При її переробці найбільш легкої фракцією є вуглеводневий газ. Із практичного досвіду, масова витрата газу становить близько 5 % від вихідної сировини. Уловлювання газового потоку, що містить цінні вуглеводневі компоненти (пропан-бутан), є перспективою його подальшої переробки а, отже, сприяє підвищенню ступеня використання енергоресурсів України.

Міні-НПЗ являє собою промислове підприємство, основною функцією якого є переробка нафти (об'ємом до 1 мільйона тонн сировини на рік) в бензин, дизельне паливо, мазут [1].

До основних переваг міні-НПЗ перед багатотоннажних НПЗ належать [1]:

- швидкий термін проектування, будівництва;
- посилений контроль якості;
- використання меншої енергії;

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

- менше капітальних витрат;
- менша ділянка землі (площа) для заводу;
- менше польових робіт;
- знижена потреба у кваліфікованій робочій силі;
- більш швидкі фінансові звіти для встановленого заводу;
- підвищена безпека.

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

					<i>ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						6
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

# 1 Технологічна частина

## 1.1 Опис технологічної схеми установки

Технологічна схема установки переробки нестабільної вуглеводневої сировини представлена на рис. 1.1.

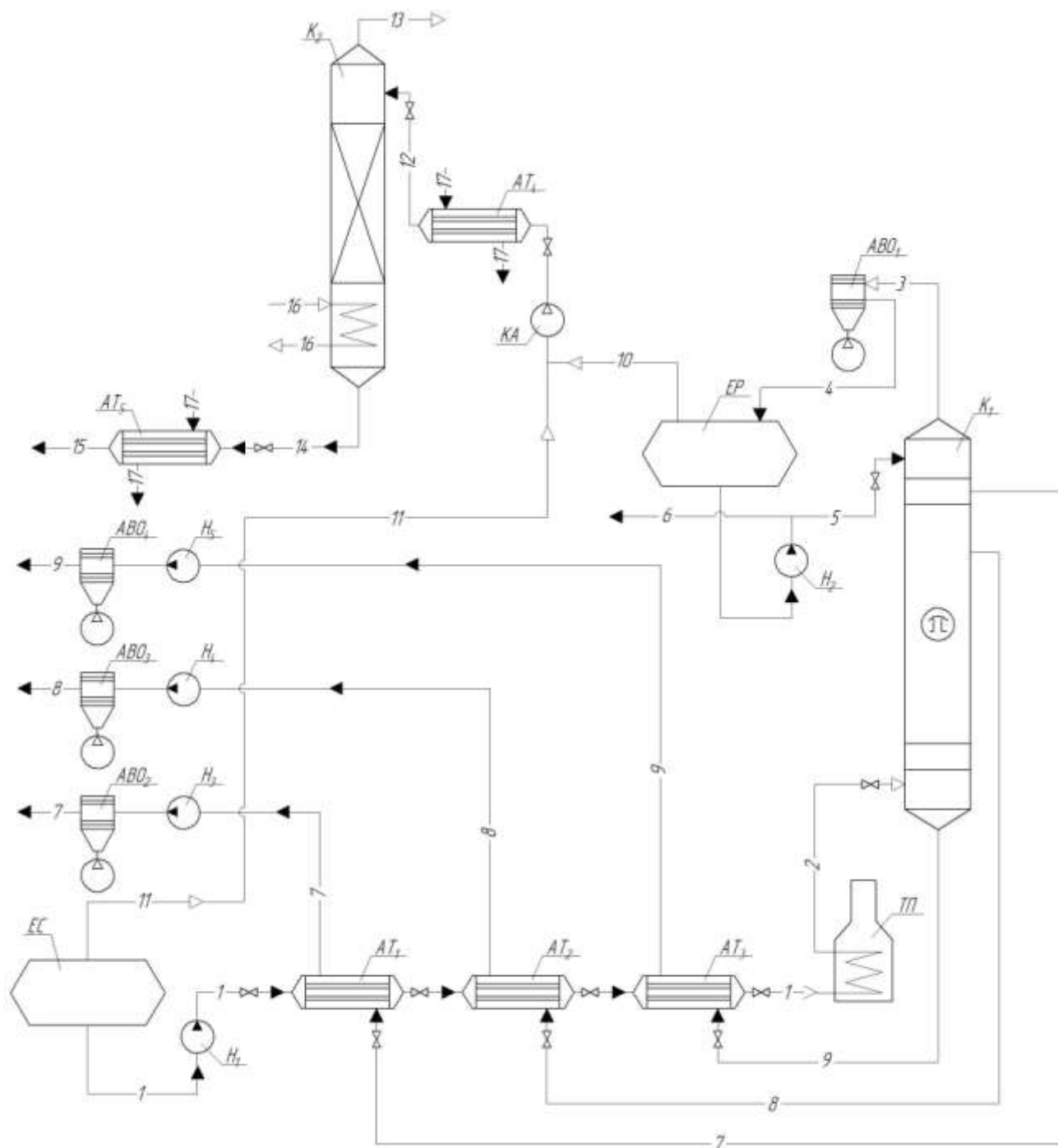


Рисунок 1.1 – Технологічна схема установки переробки нестабільної нафти

Працює установка наступним чином. У технологічному процесі, як уже було зазначено, використовується нестабільна нафта. Вона потрапляє до сировинної ємності  $E_1$ . За допомогою насоса  $H_1$  нафта послідовно проходить блок теплообмінних апаратів  $AT_1, AT_2, AT_3$ . Підігрів нестабільної нафти відбувається за рахунок тепла зустрічних потоків нафтопродуктів, тобто зазначені теплообмінники працюють по принципу рекуперації. Уже підігріта нафта поступає у трубчасту піч ТП, де відбувається її нагрівання аж до температури початку кипіння. Саме в такому стані вона подається під нижню тарілку атмосферної ректифікаційної колони  $K_1$ . По висоті колони  $K_1$ , від низу до гори, рухається парова фаза вуглеводнів. У верхню частину колони подається флегмове зрошення. У якості контактних пристроїв у колоні  $K_1$  встановлені ковпачкові тарілки. Піднімаючись по висоті колони, паро-газова суміш контактує на тарілках із вуглеводневою рідиною. Внаслідок такого контакту відбувається масообмінний процес при якому із пари в рідину конденсуються і переходять труднолетючі компоненти (ТЛК). Процес конденсації супроводжується значним виділенням тепла, яке витрачається на випарювання із суміші рідких вуглеводнів легколетючих компонентів (ЛЛК).

У результаті переробки нестабільної нафти найбільш легкою фракцією, що отримують на установці, є вуглеводневий газ. Його склад містить дуже цінні компоненти (пропан і бутан). Дана фракція із верхнього штуцера колони  $K_1$  потрапляє до апарату повітряного охолодження  $АПО_1$ , де відбувається конденсація парів. Частина утвореного конденсату повертається в колону  $K_1$  у вигляді флегми для її зрошення.

Для виділення з газової суміші пропан-бутанової фракції необхідно створити певні умови – газовий потік спочатку стискається до тиску 3 МПа за допомогою компресорного агрегату КА, потім охолоджується в холодильнику  $AT_4$ , після чого спрямовується в етанову ректифікаційну колону  $K_2$ . Етанова колона являє собою насадкову ректифікаційну колону, у якій в результаті протитечійної взаємодії парової і рідкої фаз відбувається розділення суміші. Із

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



верхнього штуцера відводиться метан-етанова фракція, а з нижньої частини колони – зріджений пропан-бутан, який охолоджується в холодильнику АТ<sub>5</sub> і відводиться споживачеві.

По висоті ректифікаційної колони К<sub>1</sub> бічними погонями відводяться цільові фракції атмосферної перегінки. Першим бічним погоном є фракція 150–200°С, яка йде зустрічним потоком у міжтрубний простір теплообмінника АТ<sub>1</sub> для підігрівання початкової сировини, а потім додатково охолоджується в апараті повітряного охолодження АПО<sub>2</sub>. Після чого, у якості готового продукту, відводиться в товарний парк.

Другий бічний погон – фракція 200–350°С також проходить дві стадії охолодження і спрямовується в товарний парк.

Кубовий залишок колони К<sub>1</sub> – мазут. Він відводиться через нижній штуцер і прямує в міжтрубний простір теплообмінника АТ<sub>3</sub>. Тут, нагріваючи зустрічний потік нафти, і в АПО<sub>4</sub> він охолоджується до необхідної температури і відводиться в товарний парк.

## 1.2 Теоретичні основи процесу

Теоретичні основи процесу та особливості розрахунку багатоконпонентної ректифікації, що наведено у цьому розділі, виконано на підставі аналізу літературних джерел [3–6].

Згідно плівкової моделі, кількість речовини, 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:

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

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

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

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

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  $\delta_0$  в'язкого підшару турбулентною дифузією переноситься більша кількість речовини, ніж молекулярною. Лише в самій глибині вузького підшару, всередині тонкого дифузійного підшару товщиною  $\delta$ , що безпосередньо примикає до кордону розділення фаз, молекулярний перенос стає переважаючим.

Дифузійний підшар, як показано на рис. 1.2, є областю найбільш різкої і близької до лінійної зміни концентрацій. Його товщина  $\delta$  пов'язана із товщиною  $\delta_0$  в'язкого підшару залежністю

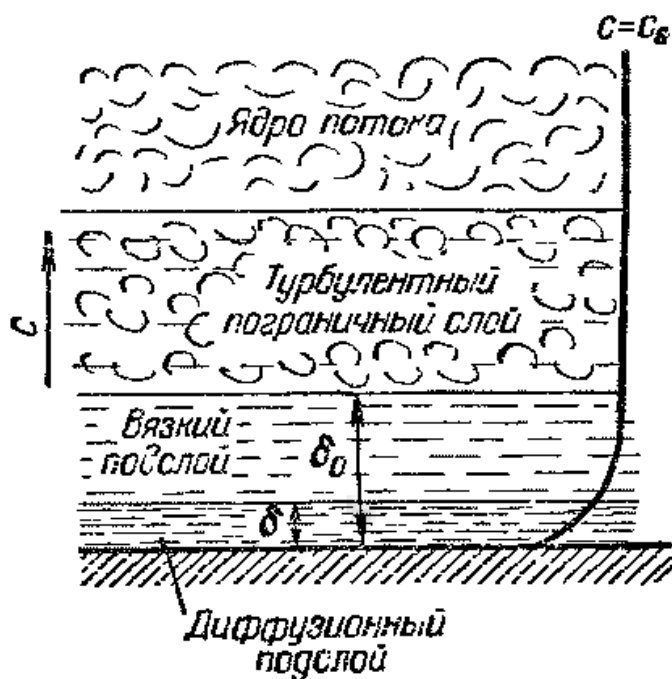


Рисунок 1.2 – Структура потоку і профіль концентрацій у фазі

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

де  $\nu$  – кінематична в'язкість;

$m$  – константа, яка визначається дослідним шляхом.

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

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

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

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

фаза  $\Phi_Y$

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

фаза  $\Phi_X$

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

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

Коефіцієнти пропорційності  $\beta_x$  і  $\beta_y$  називають коефіцієнтами масовіддачі.

Коефіцієнти масовіддачі  $\beta_x$  (у фазі  $\Phi_X$ ) і  $\beta_y$  (у фазі  $\Phi_Y$ ) показують, яка кількість речовини переходить від поверхні розділення фаз в ядро фази (або у зворотному напрямку) через одиницю поверхні в одиницю часу при рушійній силі, яка дорівнює одиниці.

Коефіцієнт масовіддачі залежить від фізичних властивостей фази (щільності, в'язкості та ін.) і гідродинамічних умов у ній (ламінальний або турбулентний режим течії), пов'язаних, у свою чергу, із фізичними властивостями фази, а також із геометричними факторами, обумовленими конструкцією і розмірами масообмінного апарату. Таким чином, величина  $\beta$  є функцією багатьох змінних, що значно ускладнює розрахунок або дослідне

визначення коефіцієнтів масовіддачі. Величинами останніх враховується як молекулярне, так і конвективне перенесення речовини у фазі.

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

При розрахунках ректифікаційних колон кількість і склад фаз зручно виражати в молярних величинах. Отже, можна вважати, що при конденсації з пари  $n$  кмоль труднолетючого компонента, з рідини випаровується  $n$  кмоль легколетючого компонента, тобто кількість фаз по всій висоті колони буде постійною. Метою розрахунку ректифікаційної колони є визначення температури процесу і кількості теплоти, що відводиться, вибір швидкості газу, типу насадки, конструктивних розмірів і гідравлічного опору апарата.

Приймаємо наступні припущення, що мало спотворюють фактичні умови протікання процесу, але значно спрощують розрахунок:

1) склад пари, яка виходить з колони в дефлегматор, і склад флегми, яка повертається в колону, однакові;

2) склад пари, яка піднімається з кип'ятильника в колону, дорівнює складу рідини в випарнику.

### **Матеріальний баланс ректифікаційної колони.**

За потоками:

$$G_F = G_D + G_W; \quad (1.5)$$

За легколетючим компонентом:

$$G_F x_F = G_D x_D + G_W x_W, \quad (1.6)$$

де  $G_F$ ,  $G_D$ ,  $G_W$  – масові або молярні витрати живлення, дистиляту і кубового залишку відповідно;

$x_F$ ,  $x_D$ ,  $x_W$  – вміст легколетючого компонента в живленні, дистиляті і кубовому залишку відповідно.

### **Тепловий баланс ректифікаційної колони.**

Прихід тепла:

– з теплоносієм в кип'ятильнику  $Q_K$ ;

– з вихідною сумішшю  $Q_F$ ;

					<b>ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

– з флегмою  $Q_{\Phi}$ .

Витрата тепла:

– з парами, які надходять із колони в дефлегматор  $Q_G$ ;

– із залишком  $Q_W$ ;

– втрати у навколишнє середовище  $Q_{\Pi}$ .

Таким чином, рівняння теплового балансу:

$$Q_K + Q_F + Q_{\Phi} = Q_G + Q_W + Q_{\Pi}. \quad (1.7)$$

Мінімальна кількість теоретичних тарілок в колоні визначається за рівнянням Фенске-Андервуда:

$$N_{\min} = \frac{\lg \left( \frac{X_{di} \cdot X_{wj}}{X_{dj} \cdot X_{wi}} \right)}{\lg \left( \frac{K_i}{K_j} \right)}, \quad (1.8)$$

де  $X_{di}, X_{dj}$  – мольна концентрація легкого і важкого ключового компоненту в дистилаті відповідно;

$X_{wi}, X_{wj}$  – мольна концентрація легкого і важкого ключового компоненту в кубовому залишку відповідно;

$K_i, K_j$  – константа фазової рівноваги легкого і важкого ключового компоненту відповідно.

А число теоретичних тарілок в колоні знаходять за залежністю:

$$N = 1,7 \cdot N_{\min} + 0,7. \quad (1.9)$$

Внутрішній діаметр колони розраховуємо за формулою:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{\text{сек}}}{\pi \cdot w'}}, \quad (1.10)$$

де  $V_{\text{сек}}$  – максимальний секундний об'єм пари, що проходить через перетин колони, м<sup>3</sup>/с;

$w'$  – робоча швидкість пари в повному перерізі колони, м/с.

### 1.3 Опис об'єкта розроблення та вибір основних конструктивних матеріалів

Об'єктом розробки є етанова ректифікаційна колона  $K_2$  (рис. 1.3). Конструктивно вона складається із циліндричної обичайки, до якої за допомогою фланцевого з'єднання прикріплені днище і кришка відповідно. У якості внутрішнього контактного пристрою використовується насадка, зібрана із кілець Палля.

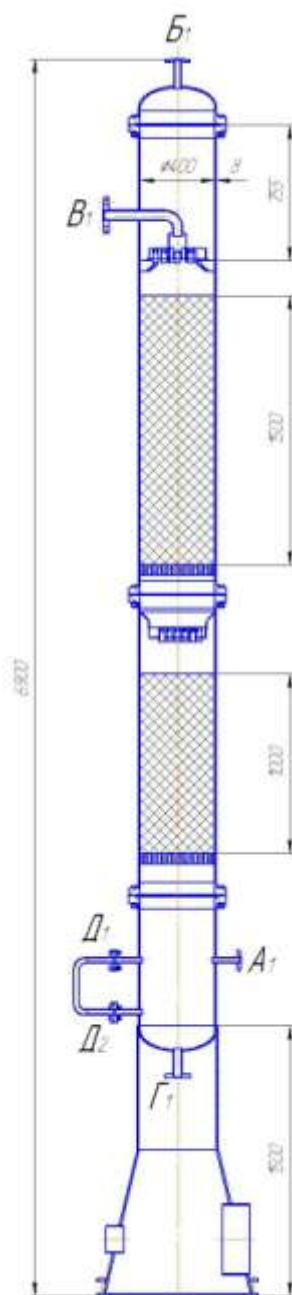


Рисунок 1.3 – Ескізна схема етанової ректифікаційної колони

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

Колонний насадковий апарат має невеликий гідравлічний опір (у порівнянні з тарілчастими колонами). У нашому випадку, насадку укладено у два шари. Висота верхнього шару насадки становить 1,5 м, а нижнього – 1,0 м. Розміри кільцевих насадкових тіл можуть змінюватися від 25 до 150 мм. Використовуємо кільця Паля розміром 25×25 мм. Оскільки розмір насадкових тіл не перевищує 50 мм, то насадку дозволяється засипати навалом, тобто не упорядковано.

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

На колоні також передбачені технологічні штуцери для обв'язки апарата технологічними трубопроводами та підключення до технологічної лінії. Також до корпусу колони знизу приварена циліндрична опора, яка забезпечена лапами для кріплення до фундаменту.

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

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

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

1) висока корозійна стійкість матеріалів в агресивних середовищах при робочих параметрах процесу;

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16



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 безпосередньо контактують із вуглеводнями вибираємо у якості матеріалу сталь 16ГС; матеріал опори – сталь ВСтЗсп; для усіх інших елементів – сталь Ст 3.

Для ущільнення з'єднань використовуємо прокладковий матеріал – пароніт ПОН-1. Це листовий матеріал, виготовлений пресуванням азбокаучукової маси, що складається із азбесту, каучуку і порошкових інгредієнтів.

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

## 2 Технологічні розрахунки процесу і апарата

### 2.1 Технологічні розрахунки

#### Матеріальний баланс етанової ректифікаційної колони [3].

Матеріальний баланс проектованої ректифікаційної колони, що відповідає умовам розділення, наведено в табл. 2.2.

#### Тиск в колоні.

Вуглеводневий газ для створення необхідних умов виділення фракції пропан-бутану стискають за допомогою компресору до 3,6 МПа.

Тиск вгорі колони  $P_d$  приймаємо також рівним 3,6 МПа. Тиск внизу колони  $P_w$  за рахунок опору шару насадки приймаємо на 0,02 МПа більше [3]:

$$P_w = 3,6 + 0,02 = 3,62 \text{ МПа} .$$

#### Температурний режим в колоні.

Температура  $t_d$  вгорі колони визначається за рівнянням ізотерми парової фази дистилляту (див. табл. 2.1):

$$\sum \frac{Y_{d_i}}{K_i} = 1 . \quad (2.1)$$

Таблиця 2.1 – Розрахунок температури дистилляту

Компонент	Константа фазової рівноваги $K_i$ при $P_d = 3,6 \text{ МПа}$ та $t_d = 35^\circ \text{ C}$	Концентрація $Y_{d_i} = X_{d_i}$	$\frac{Y_{d_i}}{K_i}$
CH <sub>4</sub>	5,0	0,681	0,136
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	1,3	0,102	0,078
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,53	0,150	0,283
<i>i</i> -C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,22	0,023	0,105
<i>n</i> -C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,16	0,034	0,213
<i>i</i> -C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,07	0,007	0,100
<i>n</i> -C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,058	0,004	0,069
C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	0,023	0,0004	0,017
$\Sigma$	-	1,001 $\approx$ 1,0	1,001 $\approx$ 1,0

При цьому константи фазової рівноваги  $K_i$  визначаються за номограмою [3] у залежності від тиску  $P_d$  і температури  $t_d$ .

Таблиця 2.2 – Матеріальний баланс етанової ректифікаційної колони

Компонент	Дані за сировиною				
	Концентрація $x_{f_i}$ , мас. частки	Витрата		Концентрація $X_{f_i} = \frac{G_{f_i}}{G_f}$ , мольні частки	$M_i \cdot X_{f_i}$
		$g_{f_i} = g_f \cdot x_{f_i}$ , кг/год.	$G_{f_i} = \frac{g_{f_i}}{M_i}$ , кмоль/год.		
CH <sub>4</sub>	0,058	75,4	4,71	0,169	2,70
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0,052	67,6	2,25	0,081	2,43
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,275	357,5	8,13	0,292	12,85
<i>i</i> -C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,130	169,0	2,91	0,105	6,09
<i>n</i> -C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,248	322,4	5,56	0,200	11,60
<i>i</i> -C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,132	171,6	2,38	0,086	6,19
<i>n</i> -C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,090	117,0	1,63	0,057	4,10
C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	0,015	19,5	0,23	0,008	0,69
Σ	1,0	1300	27,8	0,998 ≈ 1,0	M <sub>f</sub> =46,65
Дані за дистиллятом					
Компонент	Витрата		Концентрація		$M_i \cdot X_{d_i}$
	$g_{d_i}$ , кг/год.	$G_{d_i} = \frac{g_{d_i}}{M_i}$ , кмоль/год.	$x_{d_i} = \frac{g_{d_i}}{g_d}$ , мас. частки	$X_{d_i} = \frac{G_{d_i}}{G_d}$ , мольні частки	
CH <sub>4</sub>	61,7	3,86	0,441	0,681	10,90
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	17,5	0,58	0,125	0,102	3,06
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	37,5	0,85	0,268	0,150	6,60
<i>i</i> -C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	7,7	0,13	0,055	0,023	1,33
<i>n</i> -C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	11,1	0,19	0,079	0,034	1,97
<i>i</i> -C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	2,8	0,04	0,020	0,007	0,50
<i>n</i> -C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	1,5	0,02	0,011	0,004	0,09
C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	0,1	0,002	0,001	0,0004	0,03
Σ	140	5,67	1,0	1,001 ≈ 1,0	M <sub>d</sub> =24,48
Дані за кубовим залишком					
Компонент	Витрата		Концентрація		$M_i \cdot X_{w_i}$
	$g_{w_i}$ , кг/год.	$G_{w_i} = \frac{g_{w_i}}{M_i}$ , кмоль/год.	$x_{w_i} = \frac{g_{w_i}}{g_w}$ , мас. частки	$X_{w_i} = \frac{G_{w_i}}{G_w}$ , мольні частки	
CH <sub>4</sub>	13,7	0,86	0,011	0,039	0,62
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	50,1	1,67	0,043	0,075	2,25
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	320,0	7,27	0,276	0,329	14,48
<i>i</i> -C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	161,3	2,78	0,139	0,126	7,31
<i>n</i> -C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	311,3	5,37	0,268	0,243	14,09
<i>i</i> -C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	168,8	2,34	0,146	0,106	7,63
<i>n</i> -C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	115,5	1,60	0,100	0,072	5,18
C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	19,4	0,23	0,017	0,010	0,86
Σ	1160	22,12	1,0	1,0	M <sub>w</sub> =52,42

Температура  $t_f$  сировини і температура  $t_w$  внизу колони також визначаються за рівнянням ізотерми рідкої фази дистилляту сировини і кубового залишку відповідно (див. табл. 2.3 і 2.4):

$$\sum K_i \cdot X_{f_i} = 1, \sum K_i \cdot X_{w_i} = 1. \quad (2.2)$$

Таблиця 2.3 – Розрахунок температури сировини

Компонент	Константа фазової рівноваги $K_i$ при $P_f = 3,6 \text{ МПа}$ і $t_f = 25^\circ \text{ C}$	Концентрація $X_{f_i}$	$K_i \cdot X_{f_i}$
CH <sub>4</sub>	4,5	0,169	0,761
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	1,1	0,081	0,089
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,35	0,292	0,102
<i>i</i> -C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,17	0,105	0,018
<i>n</i> -C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,12	0,200	0,024
<i>i</i> -C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,051	0,086	0,004
<i>n</i> -C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,042	0,057	0,002
C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	0,016	0,008	0,0001
Σ	-	0,998 ≈ 1,0	1,0

При цьому константи фазової рівноваги  $K_i$  визначаються за номограмою [3] у залежності від тиску  $P_f$  і температури  $t_f$ .

Вихідна сировина являє собою парорідинний потік, тому використання ізотерми рідкої фази дає деяку похибку. Приймаємо температуру сировини  $t_f = t_d = 35^\circ \text{ C}$ .

Таблиця 2.4 – Розрахунок температури кубового залишку

Компонент	Константа фазової рівноваги $K_i$ при $P_w = 3,62 \text{ МПа}$ і $t_w = 90^\circ \text{ C}$	Концентрація $X_{w_i}$	$K_i \cdot X_{w_i}$
CH <sub>4</sub>	6,2	0,039	0,242
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	2,3	0,075	0,173
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	1,1	0,329	0,362
<i>i</i> -C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,6	0,126	0,076
<i>n</i> -C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,45	0,243	0,109
<i>i</i> -C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,24	0,106	0,025
<i>n</i> -C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,21	0,072	0,015
C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	0,11	0,010	0,001
Σ	-	1,0	1,003 ≈ 1,0

При цьому константи фазової рівноваги  $K_i$  визначаються за номограмою [3] у залежності від тиску  $P_f$  і температури  $t_f$ .

### Теплові (енергетичні) баланси і розрахунки [3, 4]

#### Теплове навантаження кип'ятильника.

Якщо вважати молярну витрату пари постійною по висоті відгінної частини колони, то теплове навантаження (в кДж/год.) кип'ятильника визначаємо за формулою [4]:

$$Q_w = G_d \cdot (H_w - h_w), \quad (2.3)$$

де  $H_w$  – ентальпія кубових парів при температурі  $t_w = 90^\circ C$  тиску  $P_w = 3,62 \text{ МПа}$ , кДж/кмоль;

$h_w$  – ентальпія кубової рідини при температурі  $t_w = 90^\circ C$ , кДж/кмоль.

Числові значення ентальпій визначаємо за графіком [3]. Тоді:

$$Q_w = 5,67 \cdot (31700 - 12100) = 111132 \frac{\text{кДж}}{\text{год.}}$$

## 2.2 Конструктивні розрахунки

#### Число теоретичних тарілок колони і її частин.

Мінімальна кількість теоретичних тарілок в колоні визначається за рівнянням Фенске-Андервуда в розрахунку на те, що легким ключовим компонентом, за умовами розділення, є етан ( $C_2H_6$ ), а важким ключовим – пропан ( $C_3H_8$ ) [4]:

$$N_{\min} = \frac{\lg \left( \frac{X_{d2} \cdot X_{w3}}{X_{d3} \cdot X_{w2}} \right)}{\lg \left( \frac{K_2}{K_3} \right)}; \quad (2.4)$$

$$N_{\min} = \frac{\lg \left( \frac{0,102 \cdot 0,329}{0,150 \cdot 0,075} \right)}{\lg \left( \frac{1,1}{0,35} \right)} = 0,95.$$

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

Число теоретичних тарілок в колоні знаходимо за рівнянням [3]:

$$N_T = 1,7 \cdot N_{\min} + 0,7; \quad (2.5)$$

$$N_T = 1,7 \cdot 0,95 + 0,7 = 2,3.$$

### Діаметр колони.

Розрахунок діаметра колони будемо вести по нижньому перетину апарата. Найбільш навантаженим за парою перетином колони буде перетин під нижньою тарілкою, тому воно приймається за розрахункове.

Внутрішній діаметр колони розраховуємо за формулою (1.10):

Секундний об'єм пари в розрахунковому перерізі колони за температури  $t_w = 90^\circ \text{C}$  і тиску  $P_w = 3,62 \text{ МПа}$  визначаємо за формулою:

$$V_{\text{сек}} = \frac{G_d \cdot 22,4 \cdot (t_w + 273) \cdot 0,1}{3600 \cdot 273 \cdot P_w}; \quad (2.6)$$

$$V_{\text{сек}} = \frac{5,67 \cdot 22,4 \cdot (90 + 273) \cdot 0,1}{3600 \cdot 273 \cdot 3,62} = 1,3 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

Швидкість захлинання для кілець Паля визначаємо за формулою [4]:

$$W_3 = \frac{V_{\text{сек}}}{0,785 \cdot D_p^2}; \quad (2.7)$$

$$D_p = 0,339 \cdot \left[ \frac{37 \cdot V_{\text{сек}}}{A_0} \cdot \left( \frac{\rho_\Gamma}{\rho_p - \rho_\Gamma} \right)^{0,5} - 510 \cdot L \cdot \lg A_1 \right]^{0,5}, \quad (2.8)$$

де  $A_0$  і  $A_1$  – коефіцієнти, що визначаються за графіком [4].

$$D_p = 0,339 \cdot \left[ \frac{37 \cdot 1,3 \cdot 10^{-3}}{0,275} \cdot \left( \frac{35}{480 - 35} \right)^{0,5} - 510 \cdot 7,5 \cdot 10^{-4} \cdot \lg 0,985 \right]^{0,5} = 0,077.$$

$$W_3 = \frac{1,3 \cdot 10^{-3}}{0,785 \cdot 0,077^2} = 0,28 \text{ м/с}.$$

Тоді реальну швидкість знаходимо по залежності:

$$w' = (0,8 \dots 0,9) \cdot W_3; \quad (2.9)$$

$$w' = 0,9 \cdot 0,28 = 0,25 \text{ м/с}.$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

Діаметр колони дорівнює:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,3 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 0,025}} = 0,257 \text{ м.}$$

Із нормативного ряду приймаємо стандартизований діаметр 400 мм.

### Загальна висота шару насадки.

Висоту шару насадки, необхідну для забезпечення заданого масобміну, визначаємо через висоту насадки, що еквівалентна теоретичній тарілці, і число теоретичних тарілок [3]:

$$H = N_T \cdot h_{EKB}. \quad (2.10)$$

Для нерегулярної насадки:

$$h_{EKB} = \left[ \left( \frac{K_5}{W} \right) \cdot \left( \frac{\rho_P}{\rho_G} \right)^{0,5} \cdot \frac{1}{1+D} \cdot h^{-0,25} \cdot (1 - 60 \cdot K_6 \cdot L_V^{0,5}) \cdot f(d/D) \right]^{-1}, \quad (2.11)$$

де  $W$  – швидкість пара в колоні, м/с;

$\rho_P$  – густина рідини в робочих умовах, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_G$  – густина газу в робочих умовах, кг/м<sup>3</sup>;

$D$  – внутрішній діаметр колони, м;

Коефіцієнти  $K_5$  і  $K_6$  визначаємо за таблицею [3]. Для насадки з керамічних кілець Паля  $d = 0,025$  м:  $K_5 = 0,3$ ;  $K_6 = 0,1$ .

Гранична висота насадки між перерозподільними тарілками відповідно до таблиці [3]:

$$h = 3 \cdot D; \quad (2.12)$$

$$h = 3 \cdot 0,4 = 1,2 \text{ м.}$$

Числове значення функції  $f(d/D) = 1$ .

Швидкість газу в колоні  $W = 0,25$  м/с.

Об'ємна витрата рідини:

$$L_V = \frac{g}{\rho_P \cdot 0,785 \cdot D^2}, \quad (2.13)$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

$$L_v = \frac{0,361}{480 \cdot 0,785 \cdot 0,4^2} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{с}).$$

$$h_{EKB} = \left[ \left( \frac{0,3}{0,25} \right) \cdot \left( \frac{480}{35} \right)^{0,5} \cdot \frac{1}{1+0,4} \cdot 1,2^{-0,25} \cdot \left( 1 - 60 \cdot 0,1 \cdot (6 \cdot 10^{-3})^{0,5} \right) \cdot 1 \right]^{-1} = 1,08 \text{ м.}$$

$$H = 2,3 \cdot 1,08 \approx 2,5 \text{ м.}$$

### Висота колони.

Незважаючи на рівномірність зрошення, рідина поступово відтісняється газовим потоком до периферії. Виникає, так званий, пристіночний ефект, при якому має місце незрошувана зона, де насадка не зрошується. Із огляду на це, насадку укладають окремими шарами. Висота шару становить 3–5 діаметри, а між шарами встановлюють перерозподільні пристрої, які збирають рідину по краях колони і забезпечують рівномірне зрошення нижнього шару насадки.

Таким чином, у нашому випадку розбиваємо шар насадки на дві частини:

- верхній шар  $h_2 = 1,5 \text{ м}$ ;
- нижній шар  $h_4 = 1,0 \text{ м}$ .

Між ними робимо зазор  $h_3 = 600 \text{ мм}$  для встановлення перерозподільної тарілки.

Колона також містить вбудований теплообмінник для випаровування частини кубового залишку. Висота випарника  $h_5 = 800 \text{ мм}$ .

На підставі практичних даних для сепарації рідини, що виноситься з газом, відстань між кришкою колони і верхнім шаром насадки приймаємо  $h_1 = 1,0 \text{ м}$ ; відстань між днищем і вбудованим теплообмінником  $h_6 = 800 \text{ мм}$  (для забезпечення трьох – чотирьох хвилинного запасу кубової рідини внизу колони).

Робоча висота колони складе:

$$H_p = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6; \quad (2.14)$$

$$H_p = 1,0 + 1,5 + 0,6 + 1,0 + 0,8 + 0,8 = 5,7 \text{ м.}$$

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



### Діаметри штуцерів.

Діаметр патрубку визначаємо за формулою [11]:

$$D = \sqrt{\frac{G}{\rho \cdot 3600 \cdot 0.785 \cdot \omega}}, \quad (2.15)$$

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

Швидкість пари приймається в діапазоні 10–15 м/с, а швидкість рідини 0,5–2 м/с [11].

Діаметри патрубків для виходу парів:

$$d_v = \sqrt{\frac{140}{3.5 \cdot 3600 \cdot 0.785 \cdot 15}} = 0.031 \text{ м}$$

Приймаємо діаметри патрубків  $d_v = 32$  мм.

Діаметр патрубка для входу вихідної суміші:

$$d_F = \sqrt{\frac{1300}{480 \cdot 3600 \cdot 0.785 \cdot 0.5}} = 0.044 \text{ м}$$

Приймаємо діаметр патрубка  $d_F = 50$  мм.

Діаметр патрубка для виходу кубового залишку:

$$d_w = \sqrt{\frac{1160}{500 \cdot 3600 \cdot 0.785 \cdot 0.5}} = 0.040 \text{ м}$$

Приймаємо діаметр патрубка  $d_w = 40$  мм.

### 2.3 Гідравлічний опір апарата

Гідравлічний розрахунок проводимо у відповідності до методики [11].

Для визначення гідравлічного опору насадкового апарата попередньо визначаємо опір сухої насадки за наступним рівнянням:

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

$$\Delta P_{CVX} = \lambda \cdot \left( \frac{H}{d_E} \right) \cdot \left( \frac{w^2 \cdot \rho_{\Gamma}}{2} \right), \quad (2.16)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт опору, який враховує сумарні втрати тиску на тертя і місцеві опори насадки;

$$d_E = \frac{4 \cdot \varepsilon}{\alpha} \text{ – еквівалентний діаметр насадки.}$$

Визначаємо критерій Рейнольдса для газу:

$$Re_{\Gamma} = \frac{w \cdot d_E \cdot \rho_{\Gamma}}{\mu_{\Gamma}}; \quad (2.17)$$

$$Re_{\Gamma} = \frac{0,25 \cdot 0,015 \cdot 40}{1,2 \cdot 10^{-5}} = 12500.$$

У нашому випадку  $Re_{\Gamma} > 40$  (турбулентний режим), тому:

$$\lambda = \frac{16}{Re^{0,2}}; \quad (2.18)$$

$$\lambda = \frac{16}{12500^{0,2}} = 2,43;$$

$$\Delta P_{CVX} = 2,43 \cdot \left( \frac{2,5}{0,015} \right) \cdot \left( \frac{0,25^2 \cdot 40}{2} \right) = 506 \text{ Па.}$$

При роботі колони у плівковому режимі гідравлічний опір зрошуваної насадки можна визначити наближено за емпіричним рівнянням:

$$\Delta P_{3P} = 10^{b \cdot U} \cdot \Delta P_{CVX}, \quad (2.19)$$

де  $b$  – дослідний коефіцієнт, значення якого можна знайти за довідковими таблицями; для насадки  $25 \times 25 \times 3$  мм при  $U = (0,5 \dots 36,5) \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{с})$  значення  $b = 51,2$ .

$$\Delta P_{OP} = 10^{51,2 \cdot 18,5 \cdot 10^{-3}} \cdot 506 = 4480 \text{ Па.}$$

## 2.4 Вибір допоміжного обладнання

**Розрахунок і вибір компресорного агрегату КА.** Відповідно до технологічної схеми (рис. 1.1) використовується один компресорний агрегат. Тобто, для розрахунку компресора необхідно визначити величину об'ємної витрати вуглеводнів  $Q$  (л/хв):

$$Q = \frac{g_f}{\rho_f}; \quad (2.20)$$

$$Q = \frac{1300}{35} = 37 \text{ м}^3/\text{год.} = 620 \text{ л/хв.}$$

Широко поширеною помилкою на практиці є неправильне розуміння величини продуктивності компресора. У каталогах будь-яких фірм-виробників компресорів під цією величиною розуміється максимальне споживання повітря на вході компресора, тобто, цю величину можна застосовувати як продуктивність компресора на виході, оскільки вона не враховує його ККД і конструктивні особливості.

Продуктивність компресора  $A$  (л/хв) визначаємо за рівнянням [11]:

$$A = Q \cdot \frac{\beta}{\eta}, \quad (2.21)$$

де  $\beta$  – коефіцієнт, що враховує конструктивні особливості і надійність різних груп компресорів;

$\eta$  – коефіцієнт корисної дії (ККД) компресора.

Довідкові значення  $\beta$  і  $\eta$  для роботи в діапазоні заданого робочого тиску в пневмосистемі наведені у табл. 2.5 [11].

За табл. 2.5 вибираємо професійний компресор, для якого продуктивність складе:

$$A = 620 \cdot \frac{1,5}{0,65} = 1430 \text{ л/хв.}$$

На промислових установках знаходять застосування поршневі (прямоточні і непрямоточні), ротаційні та гвинтові компресорні агрегати.

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

Таблиця 2.5 – Значення  $\beta$  і  $\eta$  у залежності від конструкції компресора

Конструкція компресора	$\beta$	$\eta$
Напівпрофесійні	1,7	0,55
Професійні	1,5	0,65
БК і HEAVY DUTY (особливо навантажені)	1,3	0,75
Роторні	1	1

Слід відзначити, що традиційні поршневі компресори прекрасно себе зарекомендували: прості, надійні, не потребують кваліфікованого персоналу для їх обслуговування, невибагливі. Головне не допускати грубого порушення інструкції і своєчасно проводити заміну масла, слив конденсату, профілактичне обслуговування.

Маючи розрахункову величину продуктивності, за [11] вибираємо поршковий компресор марки ФУУ30 з такими характеристиками:

– кінцевий тиск (максимальний), МПа	4
– діаметр циліндра / хід поршня, мм	76,6 / 55
– теоретична об'ємна подача, л/хв ( $\text{м}^3/\text{с}$ )	1000 (0,0167)
– холодопродуктивність, кВт	62
– споживана потужність, кВт	21,5

**Розрахунок і вибір вбудованого випарника.** Даний теплообмінний апарат призначений для забезпечення етанової ректифікаційної колони поровим зрошенням, за рахунок випаровування частини кубового залишку.

На підставі виконаних вище розрахунків, теплове навантаження кип'ятильника  $Q_w = 11132$  кДж/год.

Розрахункова поверхня теплопередачі випарника:

$$F_p = \frac{Q_w}{K \cdot \Delta t}, \quad (2.22)$$

де  $K$  – коефіцієнт теплопередачі у випарнику; приймаємо за [6]  
 $K = 300 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ;

$\Delta t$  – різниця між температурами конденсації гріючої водяної пари і кипіння (випаровування) кубового залишку; приймаємо  $\Delta t = 12^\circ \text{С}$ .

$$F_p = \frac{11132}{300 \cdot 12} = 3,1 \text{ м}^2.$$

Вибираємо вбудований кожухотрубний випарник із такими характеристиками:

- діаметр кожуха 400 мм;
- довжина труб 500 мм;
- кількість труб 89 шт.;
- діаметр труб  $25 \times 2$  мм;
- кут розбивки  $90^\circ$ ;
- шаг 32 мм;
- поверхня теплообміну  $3,5 \text{ м}^2$ .

Коефіцієнт запасу теплообмінної поверхні апарату складе:

$$\beta = \frac{F - F_p}{F} \cdot 100 \% ; \quad (2.23)$$

$$\beta = \frac{3,5 - 3,1}{3,5} \cdot 100 \% = 11,4 \% .$$

					<b>ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		29

### 3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність

#### 3.1 Визначення товщини стінки апарата, кришки

Розрахунки на міцність виконуємо за методикою [13].

Знаходимо величину нормативної допустимої напруги для сталі 16ГС при розрахунковій температурі 90°C:  $\sigma^* = 161 \text{ МПа}$ .

Допустима напруга:

$$[\sigma] = \sigma^* \cdot \eta, \quad (3.1)$$

де  $\eta = 1$  – поправний коефіцієнт для листового прокату.

$$[\sigma] = 161 \cdot 1 = 161 \text{ МПа}.$$

Допустима напруга при гідравлічних випробуваннях:

$$[\sigma]_B = \frac{\sigma_T^{20}}{1,1}, \quad (3.2)$$

де  $\sigma_T^{20} = 280 \text{ МПа}$  – межа плинності сталі 16ГС при температурі 20°C.

$$[\sigma]_B = \frac{280}{1,1} = 254,5 \text{ МПа}.$$

У нашому випадку приймаємо, що розрахунковий тиск дорівнює робочому тиску в апараті:  $P_p = P = 3,62 \text{ МПа}$ .

Оскільки розрахунковий тиск більше 0,5 МПа, то пробний тиск при гідравлічних випробуваннях визначаємо за рівнянням:

$$P_B = \max \left\{ \frac{1,25 \cdot P_p \cdot [\sigma]_{20}}{[\sigma]}, P_p + 0,3 \right\}, \quad (3.3)$$

де  $[\sigma]_{20} = \sigma_{20}^* = 170 \text{ МПа}$  – допустима напруга сталі 16ГС при температурі 20°C ( $\eta = 1$ ).

$$P_B = \max \left\{ \frac{1,25 \cdot 3,62 \cdot 170}{161} = 4,78 \text{ МПа}, 3,62 + 0,3 = 3,92 \text{ МПа} \right\} = 4,78 \text{ МПа}.$$

										Лист
										30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

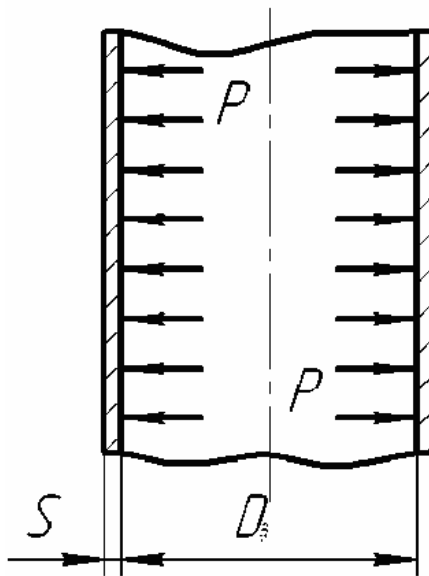


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема циліндричної обичайки

Розрахункова товщина циліндричної обичайки:

$$S_P^H = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{P_P \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot [\sigma] - P_P} \\ \frac{P_B \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot [\sigma]_B - P_B} \end{array} \right\}, \quad (3.4)$$

де  $\phi = 1$  – коефіцієнт міцності зварних швів із двостороннім суцільним проваром, що виконані автоматичним або напівавтоматичним зварюванням.

$$S_P^H = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{3,62 \cdot 400}{2 \cdot 1 \cdot 161 - 3,62} = 4,55 \\ \frac{4,78 \cdot 400}{2 \cdot 1 \cdot 254,5 - 4,78} = 3,79 \end{array} \right\} = 4,55 \text{ мм}.$$

Виконавча товщина циліндричної обичайки:

$$S_H \geq S_P^H + c, \quad (3.5)$$

де  $c$  – прибавка до розрахункових товщин конструктивних елементів:

$$c = c_1 + c_2 + c_3, \quad (3.6)$$

$c_1$  – прибавка для компенсації корозії та ерозії;

$c_2$  – прибавка для компенсації мінусового допуску;

$c_3$  – технологічна прибавка.

Приймаємо, що  $c_2 = c_3 = 0$ .

Прибавку для компенсації корозії та ерозії визначаємо за рівнянням:

$$c_1 = \Pi \cdot \tau, \quad (3.7)$$

де  $\Pi = 0,12$  мм/рік – проникність матеріалу;

$\tau = 15$  років – термін служби апарату.

У результаті отримуємо:

$$c = c_1 = 0,12 \cdot 15 = 1,8 \text{ мм.}$$

$$S_{\text{ц}} = 4,55 + 1,8 = 6,35 \text{ мм.}$$

Приймаємо  $S_{\text{ц}} = 8$  мм.

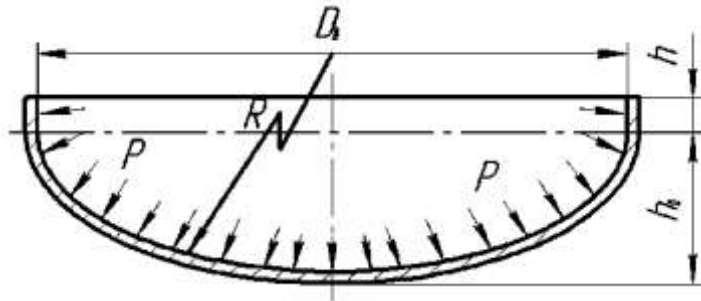


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема еліптичної кришки

Розрахункова товщина еліптичного днища:

$$S_P^E = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{P_P \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot [\sigma] - 0,5 \cdot P_P} \\ \frac{P_B \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot [\sigma]_B - 0,5 \cdot P_B} \end{array} \right\}; \quad (3.8)$$

$$S_P^E = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{3,62 \cdot 400}{2 \cdot 1 \cdot 161 - 0,5 \cdot 3,62} = 4,52 \\ \frac{4,78 \cdot 400}{2 \cdot 1 \cdot 254,4 - 0,5 \cdot 4,78} = 3,78 \end{array} \right\} = 4,52 \text{ мм.}$$

Виконавча товщина еліптичного днища:

$$S_E \geq S_P^E + c; \quad (3.9)$$

$$S_E = 4,52 + 1,8 = 6,32 \text{ мм.}$$

Приймаємо  $S_E = 8$  мм.

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



### 3.2 Розрахунок висоти трубної решітки

Номінальну розрахункову висоту решітки визначаємо за формулою:

$$h' = K \cdot D \cdot \sqrt{\frac{P}{\phi_0 \cdot \sigma_{32}}}, \quad (3.10)$$

де  $\phi_0$  – коефіцієнт ослаблення решітки отворами;

$\sigma_{32}$  – допустима напруга на згинання для матеріалу решітки, МН/м<sup>2</sup>.

Значення величин  $K$  і  $D$  визначаємо за [3]:  $K = 0,47$ ;  $D = D_B = 400$  мм.

$$h' = 0,47 \cdot 0,4 \cdot \sqrt{\frac{3,62}{1 \cdot 140}} = 0,03 \text{ м.}$$

### 3.3 Розрахунок опори апарата

Визначимо навантаження порожнього апарату на опору по формулі:

$$Q_{an} = M_{an} \cdot g, \quad (3.11)$$

де  $M_{an}$  – маса порожнього апарата;

$$M_{an} = M_k + M_{\text{дн}} + M_{\text{кр}} + M_n + M_{\text{фл}}, \quad (3.12)$$

де  $M_k$ ,  $M_{\text{дн}}$ ,  $M_{\text{кр}}$ ,  $M_n$ ,  $M_{\text{фл}}$  – відповідно маси корпусу, днища, кришки, насадки, фланців і арматури

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

де  $\rho$  – щільність матеріалу корпусу (сталь 16ГС);  $\rho = 7800$  кг/м<sup>3</sup>;

$$M_k = 5,7 \cdot 3,14 \cdot 0,4 \cdot 0,008 \cdot 7800 = 447 \text{ кг;}$$

$$M_{\text{дн}} = M_{\text{кр}} = 15 \text{ кг.}$$

Маса шарів насадки:

$$M_n = V_n \cdot \rho_n, \quad (3.12)$$

де  $V_n$  – об'єм, який займає насадка, м<sup>3</sup>;

$\rho_n$  – насипна щільність насадкових тіл.

Для нерегулярно завантажених (навалом) керамічних кілець Паля розміром 25×25×3 мм насипна щільність становить  $\rho_n = 900$  кг/м<sup>3</sup> [11].

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

Об'єм, який займає насадка визначаємо за залежністю:

$$V_n = \pi \cdot R^2 \cdot h_n = 3,14 \cdot 0,2^2 \cdot 2,5 = 0,314 \text{ м}^3; \quad (3.13)$$

$$M_n = 0,314 \cdot 900 = 283 \text{ кг.}$$

Масу фланців і арматури приймаємо рівною  $M_{фл} = 200$  кг.

Маса порожнього апарата:

$$M_{an} = 447 + 15 + 15 + 283 + 200 = 960 \text{ кг};$$

$$Q_{an} = 960 \cdot 9,81 = 9418 \text{ Н.}$$

Навантаження апарата на опору під час гідравлічних випробувань:

$$Q_{an}^e = (M_{an} + M_g) \cdot g, \quad (3.14)$$

де  $M_g$  – маса залитої в апарат води, кг.

$$M_g = V \cdot \rho_g, \quad (3.15)$$

де  $V$  – об'єм апарата,  $\text{м}^3$ .

$$V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H = \frac{3,14 \cdot 0,4^2}{4} \cdot 5,7 = 0,72 \text{ м}^3;$$

$$M_g = 0,72 \cdot 1000 = 720 \text{ кг};$$

$$Q_{an}^e = (960 + 720) \cdot 9,81 = 16480 \text{ Н.}$$

За таблицею [7] вибираємо циліндричну опору другого типу: 2-400-20-50.

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

## 4 Монтаж та ремонт апарата

### 4.1 Монтаж апарата [14]

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

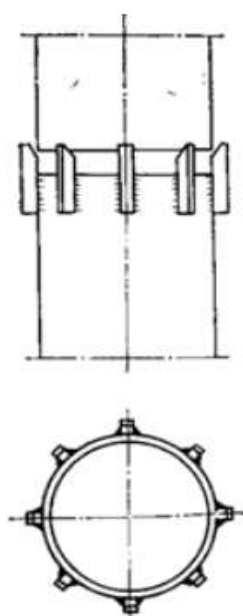


Рисунок 4.1 – Стиковка обичайок

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

Монтаж колонного насадкового апарату проводиться, безпосередньо, за монтажні штучери, які розташовані вище центру ваги, за допомогою вантажопідійомних механізмів (стрілові крани, щогли тощо). Стропування

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

апарату проводиться за верхню частину, тому для посилення в горизонтальному положенні його обв'язують кутками або швелерами.

Ступінь складності встановлення колонного апарату в проектне положення визначається його габаритними розмірами (висотою і діаметром), масою, а також висотою фундаменту. Застосовують два основних способи підйому: ковзання і поворот навколо шарніру (рис. 4.2). Проектований колонний апарат має достатньо невелику масу і його підйом забезпечується двома щоглами, що дозволяє легко встановлювати апарат на фундамент. Перед підйомом апарат розташовують якомога ближче до фундаменту. Щогли встановлюють по обидва боки від фундаменту вертикально або злегка похило. Необхідність нахилу щогл визначається довжиною самого апарату, його розташуванням по відношенню до фундаменту, розташуванням і висотою щогл, прийнятою схемою стропування.

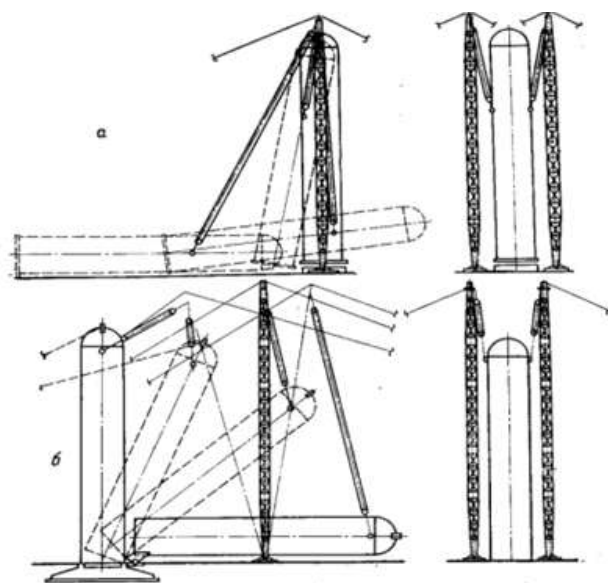


Рисунок 4.2 – Способи підйому колонного апарата:

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

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 зварювання, виконують електродами, передбаченими проектом. Стики, що

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

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.

#### **4.2 Ремонт апарата [14, 15]**

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

					<b>ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		37

– 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.

Очищення стінок внутрішнього простору, опорних конструкцій та стінок кубової частини колони роблять за допомогою металевих скребоків і щіток, а також за допомогою механізованих пристосувань і інструментів. Відкладення і бруд видаляють з колони дерев'яними лопатами і спускають їх в цеберку зі спеціальними жолобами.

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 кожну робочу зону, при позитивних аналізах повітряного середовища всередині колони.

Найбільш зношені ділянки корпусу колони вирізають, а на їх місце встановлюються нову ділянку, заздалегідь звальцьовану по радіусу колони. Тип зварювання – встик. Вирізання великих ділянок корпусу може призвести

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

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.

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

## 5 Охорона праці

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

Важливою властивістю радіоактивності є іонізуюче випромінювання. Небезпеку цього явища для живого організму дослідники виявили із самого початку відкриття радіоактивності. Так, А. Беккерель і М. Кюрі-Склодовська, що вивчали властивості радіоактивних елементів, отримали сильні опіки шкіри від випромінювання радію.

Іонізуюче випромінювання – будь-яке випромінювання, взаємодія якого із середовищем приводить до утворення електричних зарядів різних знаків. Розрізняють такі види іонізуючих випромінювань:  $\alpha$ -,  $\beta$ - випромінювання, фотонне і нейтронне випромінювання. Ультрафіолетове випромінювання і видиму частину світлового спектру не відносять до іонізуючого випромінювання. Зазначені вище види випромінювання мають різну проникаючу здатність (рис. 5.1), що залежить від носія та енергії випромінювання.

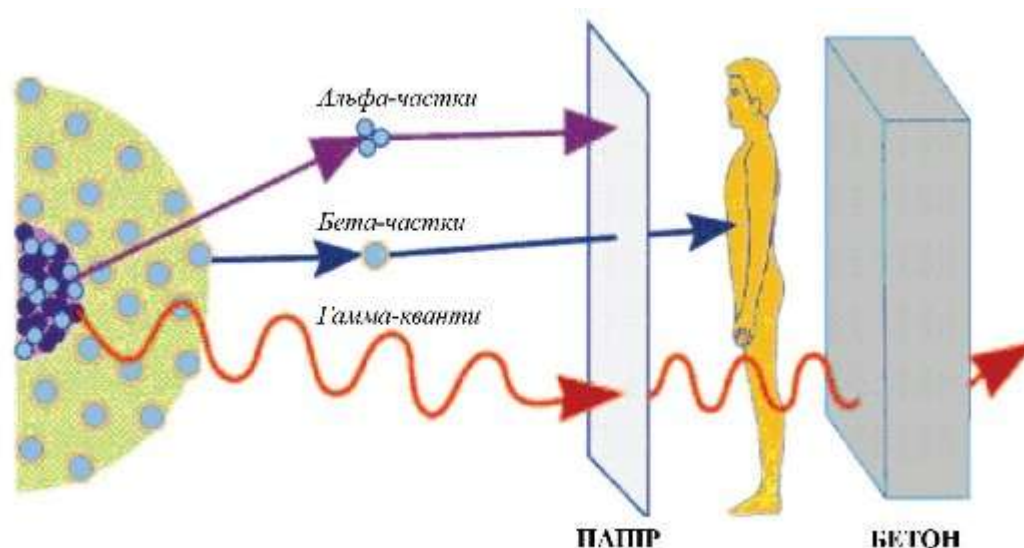


Рисунок 5.1 – Види радіоактивних випромінювань і їх проникаюча здатність



Енергію випромінювання вимірюють в електрон-вольтах (eV). За 1 eV прийнята енергія, якої набуває електрон при переміщенні в прискорювальному електричному полі з різницею потенціалів в 1 В. На практиці частіше застосовуються десяткові кратні одиниці: кілоелектрон-вольт (1 keV = 10<sup>3</sup> eV) і мегаелектрон-вольт (1 MeV = 10<sup>6</sup> eV). Зв'язок електрон-вольта із системною одиницею енергії Дж задається виразом: 1 eV = 1,6·10<sup>-19</sup> Дж.

**Альфа-випромінювання (α-випромінювання)** – іонізуюче випромінювання, яке являє собою потік відносно важких частинок (ядер гелію, що складаються з двох протонів і двох нейтронів), що випускаються при ядерних перетвореннях. Енергія частинок складає декілька мегаелектрон-вольт і різна для різних радіонуклідів. При цьому деякі радіонукліди випускають α-частинки кількох енергій.

Цей вид випромінювання, маючи малу довжину пробігу частинок, характеризується слабкою проникаючою здатністю, затримуючись навіть листком паперу. Наприклад, пробіг α-частинок з енергією 4 MeV в повітрі складає 2,5 см, а в біологічній тканині лише 31 мкм. Випромінювання практично не спроможне проникнути через зовнішній шар шкіри, утворений відмерлими клітинами. Тому α-випромінювання не небезпечно до тих пір, поки радіоактивні речовини, що випускають альфа-частинки, не потраплять всередину організму через органи дихання, травлення або через відкриті рани і опікові поверхні. Ступінь небезпеки радіоактивної речовини залежить від енергії частинок, які нею випускаються. Оскільки енергія одного атома складає одиниці-десятки електрон-вольт, кожна α-частинка здатна іонізувати до 100000 молекул усередині організму.

**Бета-випромінювання – потік β-частинок** (електронів і позитронів), які мають більшу проникаючу здатність в порівнянні з β-випромінюванням. Части, які випускаються, мають безперервний енергетичний спектр, розподіляючись за енергією від нуля до певного максимального значення,

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

характерного для даного радіонукліда. Максимальна енергія  $\beta$ -спектру різних радіонуклідів лежить в інтервалі від декількох кеВ до декількох МеВ.

Пробіг  $\beta$ -частинок в повітрі може досягати декількох метрів, а в біологічній тканині декількох сантиметрів. Так, пробіг електронів з енергією 4 МеВ в повітрі складає 17,8 м, а в біологічній тканині 2,6 см. Однак вони легко затримуються тонким листом металу. Як і джерела  $\alpha$ -випромінювання,  $\beta$ -активні радіонукліди більш небезпечні при попаданні всередину організму.

**Фотонне випромінювання** включає в себе **рентгенівське і гамма-випромінювання ( $\gamma$ -випромінювання)**. Після радіоактивного розпаду атомне ядро кінцевого продукту часто опиняється в збудженому стані. Перехід ядра з цього стану на більш низький енергетичний рівень (в нормальний стан) відбувається з випусканням гамма-квантів. Таким чином,  $\gamma$ -випромінювання має внутрішньоядерне походження і являє собою досить жорстке електромагнітне випромінювання з довжиною хвилі  $10^{-8}$ – $10^{-11}$  нм.

Поширюючись зі швидкістю світла,  $\gamma$ -промені мають високу проникаючу здатність, значно більшу, ніж  $\alpha$ - і  $\beta$ -частинки. Їх може затримати лише товста свинцева або бетонна плита. Чим вище енергія  $\gamma$ -випромінювання і відповідно менше довжина його хвилі, тим вище проникаюча здатність. Зазвичай енергія гамма-квантів лежить в діапазоні від декількох кеВ до декількох МеВ. На відміну від  $\gamma$ -випромінювання рентгенівське має атомне походження, Воно утворюється в збуджених атомах при переході електронів з віддалених орбіт на ближчу до ядра орбіту або виникає при гальмуванні заряджених частинок в речовині. Відповідно перше має дискретний енергетичний спектр і називається характеристичним, друге – безперервний спектр і називається гальмівним. Діапазон енергій рентгенівського випромінювання – від сотень електрон-вольт до десятків кілоелектрон-вольт. Незважаючи на різне походження цих випромінювань, природа їх однакова, і тому рентгенівське і  $\gamma$ -випромінювання називають фотонним випромінюванням. Під дією фотонного випромінювання

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

відбувається опромінення всього організму. Воно є основним фактором ураження при впливі на організм випромінювання від зовнішніх джерел.

**Нейтронне випромінювання** виникає при поділі важких ядер і в інших ядерних реакціях. Джерелами нейтронного випромінювання на АЕС є ядерні реактори, щільність потоку нейтронів в яких становить  $10^{10}$ – $10^{14}$  нейтронів / ( $\text{см}^2 \cdot \text{с}$ ); ізотопні джерела, що містять природні або штучні радіонукліди, змішані з речовиною, що випускає нейтрони під впливом бомбардування його  $\alpha$ -частинками або  $\gamma$ -квантами. Такі джерела застосовують для градування контрольно-вимірювальної апаратури. Вони дають потоки порядку  $10^7$ – $10^8$  нейтронів / с.

У залежності від енергії нейтрони поділяють на такі типи: повільні, або теплові (із середньою енергією 0,025 еВ); резонансні (з енергією до 0,5 кеВ); проміжні (з енергією від 0,5 кеВ до 0,5 МеВ); швидкі (з енергією від 0,5 до 20 МеВ); надшвидкі (з енергією понад 20 МеВ).

При взаємодії нейтронів з речовиною спостерігаються два типи процесів: розсіяння нейтронів і ядерні реакції, в тому числі вимушений поділ важких ядер. Саме з останнім видом взаємодій пов'язане виникнення ланцюгової реакції, що відбувається при атомному вибуху (некерована ланцюгова реакція) і в ядерних реакторах (керована ланцюгова реакція) і супроводжується виділенням величезних кількостей енергії.

Проникаюча здатність нейтронного випромінювання зіставна з  $\gamma$ -випромінюванням. Теплові нейтрони ефективно поглинаються матеріалами, що містять бор, графіт, свинець, літій, гадоліній і деякі інші речовини; швидкі нейтрони ефективно сповільнюються парафіном, водою, бетоном тощо [16].

Основні властивості іонізуючого випромінювання [17]:

1. Велика енергія.
2. Велика проникаюча здатність.
3. Іонізуюча здатність.
4. Фотохімічна здатність.

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

5. Люмінесцентна здатність.
6. Теплова дія.
7. Сильна біологічна дія.

<b>ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ІОНІЗУЮЧИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ</b>				
<b>Вид випромінювання</b>	<b>Енергія MeV</b>	<b>Довжина пробігу в повітрі</b>	<b>Довжина пробігу в тканинах</b>	<b>Іонізуюча здатність (кількість пар іонів на 1 см пробігу)</b>
<b><u>Альфа</u></b>	<b>1-10</b>	<b>до 20 см</b>	<b><u>до 50 мкм</u></b>	<b>100-200 тис.</b>
<b><u>Бета</u></b>	<b>0,1-10</b>	<b>до 15 см</b>	<b><u>до 1 см</u></b>	<b>50-100</b>
<b><u>Гамма</u></b>	<b>0,1-2,0</b>	<b>сотні м</b>	<b><u>десятки см</u></b>	<b>1</b>
<b><u>Нейтрони</u></b>	<b>до 10</b>	<b>сотні м (до 3 км)</b>	<b><u>десятки см</u></b>	<b>сотні тис.</b>

Рисунок 5.2 – Фізичні властивості іонізуючих випромінювань [18]

Після відкриття явища радіоактивності й упродовж багатьох років головним індикатором впливу на людину як на основний об'єкт радіоекологічних досліджень вважалося почервоніння шкіри. До 50-х років ХХ ст. єдиним чинником безпосереднього впливу радіації на організм людини вважали пряме радіаційне ураження шкіри, кісного мозку, центральної нервової системи, шлункового тракту у результаті дії гострої променевої хвороби. Однак одним з найбільших ефектів опромінення всього живого на планеті, у тому числі й людину, виявилось руйнування молекул білка і утворення нових, нехарактерних цим організмам молекул. У разі сильної дії радіації на організм

людини в її тілі не встигають створюватися антитіла, необхідні для боротьби з чужими білковими утвореннями, і розвивається захворювання, яке називається лейкоз або лейкемія – пухлинне ураження крові. Іншим небезпечним наслідком опромінення людини під час отримання малих доз радіації є рак – злоякісне новоутворення в її організмі.

Найпоширенішими видами ракових хвороб є рак молочної і щитовидної залоз. Рак інших органів і тканин серед опроміненого населення трапляється значно рідше.

Навіть найменша доза збільшує імовірність захворювання раком, а будь-яка додаткова доза опромінення суттєво збільшує таку вірогідність.

Найстрашнішим для майбутнього людства вважається свідчення того, що радіаційні порушення (генні, хромосомні і геномні мутації) передаються спадково протягом багатьох наступних поколінь. Близько 10% новонароджених мають всілякі генетичні дефекти, різною мірою спричинені впливом радіоактивного випромінювання.

Опромінення прискорює процес старіння людини, а отже, зменшує тривалість її життя [17].

Основним державним документом, що встановлює систему радіаційно-гігієнічних регламентів для забезпечення прийнятих рівнів опромінення як для окремої людини, так і для суспільства є ДНАОП 00.3-3.24-97 “Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97)”.

“Норми радіаційної безпеки України” є основним Державним документом, що встановлює систему радіаційно-гігієнічних регламентів для забезпечення прийнятих рівнів опромінення, як для окремої людини, так і суспільства взагалі.

“Нормами радіаційної безпеки” встановлюються такі категорії осіб, які зазнають опромінення [19]:

1) Категорія А (персонал) – особи, які постійно чи тимчасово працюють безпосередньо з джерелами іонізуючих випромінювань.

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

2) Категорія Б (персонал) – особи, які безпосередньо не зайняті роботою з джерелами іонізуючих випромінювань, але у зв'язку з розташуванням робочих місць в приміщеннях та на промислових майданчиках об'єктів з радіаційно-ядерними технологіями можуть отримувати додаткове опромінення.

3) Категорія В – все населення.

В реальних умовах різні органи або тканини людини опромінюються неоднаково. Особливо це проявляється при попаданні радіоактивних речовин всередину організму, оскільки різні радіонукліди по-різному розподіляються по органах і тканинах людини. Враховуючи ці обставини, а також різну радіочутливість різних органів і тканин людини нормування радіаційного фактора ведеться для трьох груп критичних органів. Критичний орган - тканина або частина тіла, опромінення якого в даних умовах нерівномірного опромінення може завдати найбільшої шкоди здоров'ю даної особи або потомства. До I групи критичних органів відносяться- гонади і червоний кістковий мозок; до II групи – м'язи, легкі, щитовидна залоза, шлунково-кишковий тракт, кришталик ока й інші органи, за винятком тих, що належать до I і III груп. III група – шкірний покрій, кісткова тканина, кисті рук, передпліччя, гомілки та стопи [19].

Основні дозові межі (ліміт ефективної дози) для категорій осіб, які зазнають опромінювання, становлять [19]:

- Категорія А – 20 мЗв (2 бер) за рік;
- Категорія Б – 2,0 мЗв (0,2 бер) за рік;
- Категорія В – 1,0 мЗв (0,1 бер) за рік;

З лімітом дози порівнюється сума ефективних доз опромінення від усіх індустриальних джерел випромінювання. До цієї суми не включають [19]:

- дозу, яку одержують від природних джерел випромінювання;
- дозу опромінення від техногенно-підсилених джерел природного походження;

- дозу, яку одержують при медичному обстеженні або лікуванні;
- дозу, що пов'язана з аварійним опроміненням населення.

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. Однак, працюючи з альфа-активними ізотопами, необхідно також захищатись і від бета- або гамма-випромінювання.

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-

					<i>ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		47

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 [20]:

- 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).



## Список літератури

1. Укрнафтомаш. Офіційний сайт [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ukrneftemash.com/ua/mini-npz/>.
2. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра / укладачі: Р. О. Острога, М. С. Скиданенко, Я. Е. Михайловський, А. В. Іванія. – Суми : Сумський державний університет, 2019. – 32 с.
3. Кузнецов А.А. Расчеты процессов и аппаратов нефтеперерабатывающей промышленности / А.А. Кузнецов, С.М. Кагерманов, Е.Н. Судаков. – Л. : Химия, 1974 – 344 с.
4. Эмирджанов Р.Т. Основы технологических расчетов в нефтепереработке и нефтехимии / Р.Т. Эмирджанов, Р.А. Лемберанский . – М. : Химия, 1989. – 192 с.
5. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М. : Химия, 1973. – 752 с.
6. Павлов К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии : Учебное пособие для вузов / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. – 10-е изд., перераб. и доп. – Л. : Химия, 1987. – 576 с.
7. Лазинский А. А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / А. А. Лазинский, А. Р. Толчинский. – Л. : Машиностроение, 1970. – 752 с.
8. Лазинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов : Справочник / А. А. Лазинский. – Л. : Машиностроение, 1981. – 382 с.
9. Марочник сталей и сплавов / В. Г. Сорокин, А. В. Волосникова, С. А. Вяткин [и др.]. – Под общ. ред. Сорокина В. Г. – М. : Машиностроение, 1989. – 640 с.
10. Врагов А. П. Матеріали до розрахунків процесів та обладнання хімічних і газонафтопереробних виробництв: Навчальний посібник / А. П.

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

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

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

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

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

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

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

16. Види іонізуючого випромінювання та основні поняття дозиметрії [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://energetika.in.ua/ua/books/book-5/part-3/section-3/3-2/3-2-5>.

17. Іванов Є.А. І-20 Радіоекологічні дослідження : Навч. Посібник / Є.А. Іванов. – Львів : Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2004. – 149 с.

18. Актуальні питання радіаційної гігієни [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://nmu.ua/wp-content/uploads/2016/06/M2L7.pdf>.

19. Правове регулювання захисту людини від впливу іонізуючого випромінювання, відшкодування шкоди [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://wiki.legalaid.gov.ua/index.php/Правове\\_регулювання\\_захисту\\_людини\\_від\\_впливу\\_іонізуючого\\_випромінювання,\\_відшкодування\\_шкоди](https://wiki.legalaid.gov.ua/index.php/Правове_регулювання_захисту_людини_від_впливу_іонізуючого_випромінювання,_відшкодування_шкоди).

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

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