

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
бензолу. Розробити тарілчасту ректифікаційну колону

Виконав:
студент групи ХМдн – 54р
Будко Максим Юрійович

підпис

Залікова книжка

№ _____

Кваліфікаційна робота бакалавра
захищена на засіданні ЕК

з оцінкою _____

" ____ " _____ 20 ____ р.

Підпис голови
(заступника голови) комісії

Керівник:

канд. техн. наук, асистент

Литвиненко А.В.

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

Студент Будко Максим Юрійович

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

2 Вихідні дані: Розробити ректифікаційну колону для отримання бензолу у кількості 5000 кг/год. Вміст ЛЛК (% мол.): у початковій суміші – 20; у дистилаті – 95; у кубовому залишку – 5. Тип тарілок – ситчасті. Тиск у колоні – атмосферний.

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

1. Технологічна схема ректифікаційної установки – 1,0 арк.
2. Складальний кресленик апарата – 1,0 арк.
3. Складальний кресленик ситчастої тарілки – 1,0 арк.

4 Рекомендована література: 1. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра / укладачі: Р. О. Острога, М. С. Скиданенко, Я. Е. Михайловський, А. В. Іванія. – Суми : СумДУ, 2019. – 32 с.; 2. Плановский А. Н. Процессы и аппараты химической и нефтяной технологии / А. Н. Плановский, П. И. Николаев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1972. – 494 с.

5 Етапи виконання кваліфікаційної роботи:

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

6 Дата видачі завдання

жовтень 2019 р.

Керівник

підпис

асист. Литвиненко А.В.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 58 с., 4 рис., 3 табл., 3 додатки, 22 джерела.

Графічні матеріали: технологічна схема ректифікаційної установки, складальний кресленик ректифікаційної колони, складальний кресленик контактної тарілки – усього 3 аркуші формату А1.

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

У роботі наведено теоретичні основи та особливості процесу розділення бінарних сумішей на окремі компоненти методом ректифікації, виконано технологічний розрахунок процесу, визначено основні геометричні розміри апарата та його гідравлічний опір. Також обґрунтовано вибір матеріалу для виготовлення основних деталей та вузлів проєктованого апарату, розраховано і підібрано допоміжне обладнання. Розрахунками на міцність та герметичність доведена надійність роботи ректифікаційної колони. Окремим підрозділом представлено монтаж розробленого апарату, діагностика та ремонт основних його складових частин. У розділі «Охорона праці» розглянуто характеристику, дію на організм людини, нормування та захист від електромагнітних полів.

Ключові слова: ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА, БІНАРНА СУМІШ, РЕКТИФІКАЦІЙНА КОЛОНА, БЕНЗОЛ, ЕЛЕКТРОМАГНІТНЕ ПОЛЕ.

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 конструкційних матеріалів	13
2 Технологічні розрахунки процесу і апарата	17
2.1 Технологічні розрахунки	17
2.2 Конструктивні розрахунки	23
2.3 Гідравлічний опір апарата	27
2.4 Вибір допоміжного обладнання	30
3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність	35
3.1 Розрахунок товщини стінки корпусу апарата	35
3.2 Розрахунок товщини стінки кришки (днища) апарата	37
3.3 Розрахунок опори апарата	38
4 Монтаж та ремонт апарата	40
4.1 Монтаж апарата	40
4.2 Ремонт апарата	42
5 Охорона праці	45
Література	56
<i>Додаток А – Рівноважна і робоча лінії на діаграмі x – y</i>	
<i>Додаток Б – Крива рівноваги бінарної суміші</i>	
<i>Додаток В – Специфікації до графічної частини проекту</i>	

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Будко				Виробництво бензолу. Тарілчаста ректифікаційна колона Пояснювальна записка	Лім.	Лист	Листів
Перевір.	Литвиненко					4	58	
Реценз.						СумДУ, ХМдн – 54р		
Н. Контр.								
Затверд.	Склабінський							

Вступ

Бензол (феніловий водень, бензен) – це хімічна сполука органічної природи у вигляді безбарвної рідини, якій характерний дещо різкий солодкий запах. Вуглеводень з ряду найпростіших аренів. Увага: токсичний, канцерогенний і виступає контамінантом.

Бензол – компонент бензину. Його активно використовують у різних промислових галузях. З нього створюють лікувальні та ветеринарні препарати, широкий перелік пластичних мас, синтетичний каучук, барвники тощо.

Хоча ця речовина присутня у складі сирової нафти, в промисловості добувається з інших її складових. Основні способи отримання:

- коксування кам'яновугільної сировини;*
- каталітична ароматизація бензофракцій нафти;*
- піроліз нафтових фракцій (як бензинових, так і важчих);*
- тримеризація етину.*

У даній кваліфікаційній роботі розглянуто спосіб одержання безолу шляхом розділення вихідної бінарної суміші методом ректифікації на відповідній установці. Даний метод розделення заснований на різниці летючості речовин у суміші. При ректифікації початкова суміш ділиться на дві частини. Перша – це дистиллят, тобто суміш, що збагачена низькокиплячим компонентом (НК) – бензол. Друга частина – це кубовий залишок, тобто суміш, що збагачена висококиплячим компонентом (ВК) – толуол. Цільовим продуктом установки, відповідно до завдання на кваліфікаційну роботу, є дистиллят.

*Нижче наведені **фізичні властивості бензолу** – C_6H_6 [1]:*

Ця сполука добре змішується з ефіром, бензином та іншими органічними розчинниками. Розчиняється у водних середовищах у співвідношенні 1,79 г на л при 25 °С з виникненням азеотропної суміші, температура кипіння якої становить 69,25 °С. При горінні формує сильно закіптюжене полум'я. Контактуючи з повітрям, приводить до утворення вибухових сумішей.

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

Молярна маса – 78,11 г/моль, густина – 0,879 г/см³. Термовластивості: температура плавлення – 5,5 °С, температура кипіння – 80,1 °С.

Хімічні властивості бензолу [1]:

Бензолу властиві реакції заміщення. Він реагує з нітратною кислотою, олефінами, хлоралканами, галогенами і сульфатною кислотою. Розрив бензольного кільця здійснюється при жорстких параметрах температури і тиску.

При взаємодії з олефінами формуються речовини, гомологічні до бензолу, зокрема етилбензол та ізопропілбензол. Реакція з Cl₂ і Br₂ при наявності каталізуючого компонента (електрофільне заміщення) дає фенілхлорид. Якщо каталізатора немає, проте має місце нагрівання або потрапляння світла, спостерігається радикальна реакція приєднання, під час якої виникають сукупності ізомерів.

Застосування [1]:

Бензол належить до найпоширеніших хімічних продуктів й ароматичних сполук: 30 % ваги пластичних мас, 66 % гуми та каучуку, до 80 % у штучних волокнах приходиться на арени, родоначальником яких і виступає бензол.

Феніловий водень вкрай важливий для хімічної галузі, оскільки є вихідним реактивом для синтезу безлічі різних сполук: етилбензолу, кумолу, циклогексану, нітробензолу, хлорбензолу тощо. Крім того, в деяких реакціях служить розчинником. Він вважається своєрідною «органічною водою», оскільки здатний розчиняти майже всі орган. сполуки. Значна кількість отриманих за участю цієї субстанції напівпродуктів далі використовується при виробництві пластмас, синтетичних волокон і каучуку, ПАР, інсектицидів та ліків.

Кваліфікаційну роботу бакалавра виконано у відповідності до методичних вказівок із дотриманням нормативних вимог [2].

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		6

1 Технологічна частина

1.1 Опис технологічної схеми установки

Технологічна схема ректифікаційної установки для одержання бензолової фракції представлена на рис. 1.1.

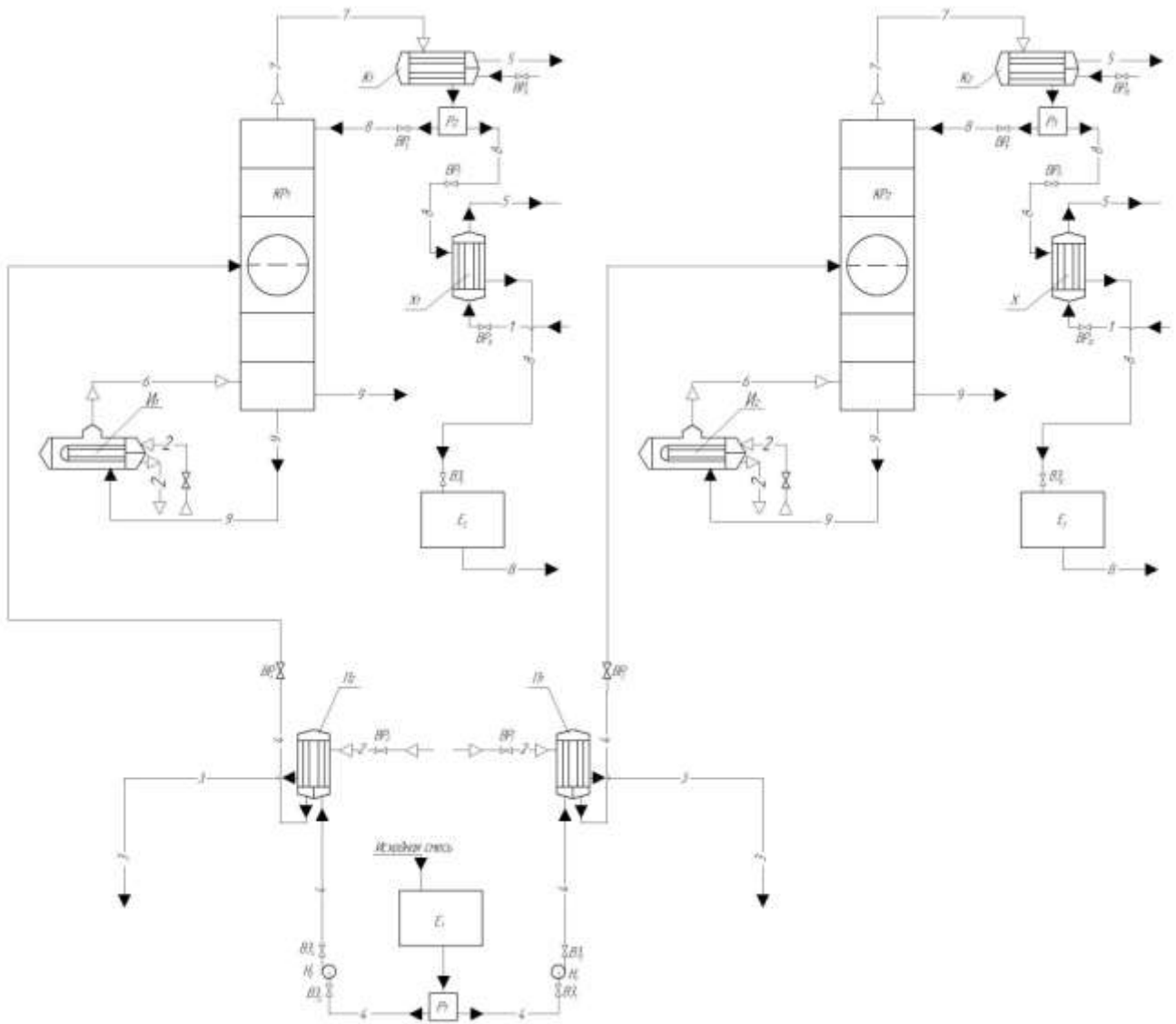


Рисунок 1.1 – Технологічна схема ректифікаційної установка у виробництві бензолу

Принцип роботи даної установки полягає у наступному. Бінарна суміш із проміжної ємності E_1 надходить на розподільник P_1 . У результаті цього ми

отримуємо дві паралельні гілки потоків, що працюють за одним і тим самим принципом. Далі за допомогою насосів H_1 і H_2 суміш подається в теплообмінники-підігрівачі Π_1 і Π_2 відповідно, де нагрівається до температури кипіння зустрічним потоком гріючої пари, яка конденсується в міжтрубному просторі апарату.

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

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

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

Основними регулюючими параметрами є:

- 1) склад рідини у верхній і нижній частинах колони;
- 2) витрата і температура вихідної суміші;
- 3) тиск у верхній частині колони;
- 4) температура і рівень рідини в кубі.

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

Не дивлячись на те, що цільовим продуктом є бензол, дана ректифікаційна установка є безвідхідним виробництвом, оскільки отримувані продукти розділення широко використовуються промисловістю.

1.2 Теоретичні основи процесу

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

При ректифікації перенесення речовини M , що розподіляється, відбувається за умов турбулентного руху фаз. Приймемо також, що речовина переходить із фази Φ_y , де концентрація речовини M вище рівноважної, в фазу Φ_x . Таким чином, здійснюється процес масовіддачі із основної маси фази Φ_y до поверхні розділу фаз і процес масовіддачі від поверхні розділу до основної маси фази Φ_x . У результаті таких частинних процесів, а також подолання опору перенесення через саму поверхню розділу фаз (якщо він має суттєву величину), і відбувається процес масопередачі – перехід речовини із однієї фази в іншу.

Процес масопередачі найтіснішим чином пов'язаний зі структурою турбулентного потоку в кожній фазі. При турбулентному русі потоку біля твердої стінки утворюється ламінарний прикордонний шар. Аналогічно, у кожній фазі розрізняють ядро (основну масу фази) і прикордонний шар біля кордону фази. В ядрі речовина переноситься переважно турбулентними пульсаціями і концентрація розподілюваної речовини в ядрі практично постійна. У прикордонному шарі відбувається поступове згасання турбулентності. Це виражається більш різкою зміною концентрації в міру наближення до поверхні розділення. Безпосередньо біля поверхні перенесення сильно сповільнюється, оскільки його швидкість вже визначається швидкістю молекулярної дифузії. У цій області спостерігається найбільш різка, близька до лінійного, зміна концентрації аж до кордону розділення фаз.

Такий характер зміни концентрацій пояснюється гальмуючою дією сил тертя між фазами і сил поверхневого натягу на кордоні рідкої фази. Дією цих

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						9
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

сил обумовлена схожість між зміною концентрації розподілюваної речовини при масовіддачі і зміною температур біля твердої стінки в процесі тепловіддачі.

Таким чином, при турбулентному русі в ядрі потоку фази перенесення до кордону розділення фаз здійснюється паралельно молекулярною і турбулентною дифузією, причому основна маса речовини переноситься за допомогою турбулентної дифузії. У прикордонному ж шарі швидкість перенесення лімітується швидкістю молекулярної дифузії. Відповідно для інтенсифікації масоперенесення бажано зменшувати товщину прикордонного шару, підвищуючи ступінь турбулентності потоку, наприклад, шляхом збільшення (до певної межі) швидкості фази.

Механізм масовіддачі характеризується поєднанням молекулярного і конвективного перенесення. Ще більш складним є процес масопередачі, який містить у якості складових процеси масовіддачі по обидва боки кордону розділення фаз. У зв'язку із цим запропоновано ряд теоретичних моделей, що представляють собою в тій чи іншій мірі спрощені схеми механізму масоперенесення.

В основу більшості моделей покладені наступні припущення:

1. Загальний опір перенесенню із фази у фазу складається із опору двох фаз і опору поверхні розділення фаз. Однак, опір на поверхні розділення можна, у більшості випадків, вважати рівним нулю. Тоді, приймаючи, що процес перенесення в межах кожної фази протікає незалежно від іншої, загальний опір перенесення можна розглядати як суму фазових опорів.

2. На поверхні розділення фази знаходяться в рівновазі, причому рівновага на кордоні фази встановлюється значно швидше зміни середньої концентрації в ядрі фази.

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:

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

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

$\delta_{\text{ЕФ}}$ – «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) $D/\delta_{\text{ЕФ}}$ – коефіцієнт, що характеризує швидкість масовіддачі, а величина $\delta_{\text{ЕФ}}$ 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 впливає із рівняння (1.1), якщо вважати, що величина $\delta_{\text{ЕФ}}$ не залежить від D .

Крім того, ефективні товщини плівок практично не піддаються розрахунку або вимірюванню.

Матеріальний баланс ректифікаційної колони за потоками:

$$G_F = G_D + G_W; \quad (1.2)$$

Матеріальний баланс ректифікаційної колони за легколетучим компонентом:

$$G_F x_F = G_D x_D + G_W x_W, \quad (1.3)$$

де G_F , G_D , G_W – масові або мольні витрати живлення, дистилляту та кубового залишку відповідно;

x_F , x_D , x_W – вміст легколетучого компонента в живленні, дистилляті і кубовому залишку відповідно.

Тепловий баланс ректифікаційної колони.

Прихід тепла:

- з теплоносієм в кип'ятильнику Q_K ;
- з вихідною сумішшю Q_F ;
- з флегмою Q_Φ .

Витрата тепла:

- з парами, які надходять з колони в дефлегматор Q_G ;
- із залишком Q_W ;
- втрати в навколишнє середовище $Q_{ВТР}$.

Таким чином, рівняння теплового балансу:

$$Q_K + Q_F + Q_\Phi = Q_G + Q_W + Q_{ВТР}. \quad (1.4)$$

При роботі колони в адіабатичних умовах і рівності молярних теплот випаровування компонентів в кожному перетині зміцнюючої частини (вище введення живлення) концентрація ЛЛК в парі пов'язана з його концентрацією в рідині рівнянням (робоча лінія):

$$y = x \frac{R}{R+1} + \frac{x}{R+1}, \quad (1.5)$$

де $R = \Phi / D$ – флегмове число.

Рівняння робочої лінії для вичерпної частини колони (нижче введення живлення):

$$y = x \frac{R+f}{R+1} + x_W \frac{1-f}{R+1}, \quad (1.6)$$

де $f = F / D$.

Залежність між граничними, або рівноважними, концентраціями розподілюваної речовини в фазах зображується графічно і називається рівноважною лінією.

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

1.3 Опис об'єкта розроблення та вибір основних конструкційних матеріалів

Об'єктом дослідження є тарілчаста ректифікаційна колона (рис. 1.2).

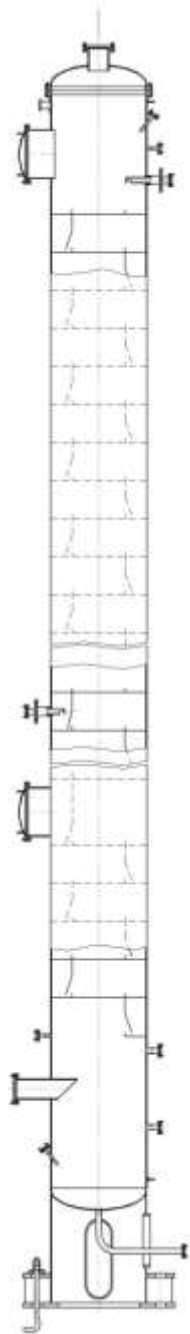


Рисунок 1.2 – Конструктивна схема проектованої колони

Конструктивно апарат складається із вертикального циліндричного корпусу, до якого приварено днище. Корпус і кришка роз'ємно з'єднані за

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

допомогою фланцевого з'єднання. Ректифікаційна колона складається із двох частин: концентраційної – верхня частина, та відгінної – нижня частина колони відносно патрубку живлення.

Усередині корпусу встановлені контактні пристрої у вигляді ситчастих тарілок (рис. 1.3). Саме за допомогою тарілок і створюється спрямований рух фаз і багаторазова взаємодія рідини і пари.

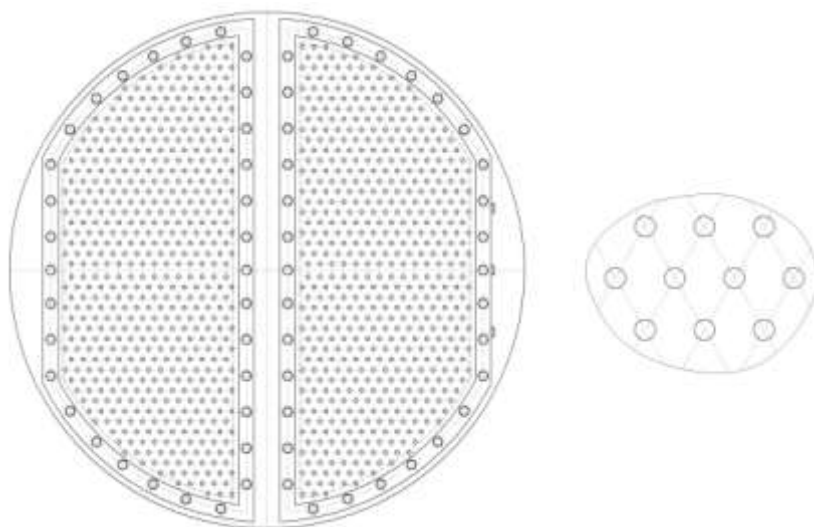


Рисунок 1.3 – Схема ситчастої тарілки

Ситчасті тарілки виготовляються із металевих листів з рівномірно розміщеними по поверхні отворами $\varnothing 3-6$ мм, призначеними для проходу газу знизу. Для запобігання провалу рідини через ці отвори газ повинен рухатись з відповідною швидкістю.

Перевагами ситчастих тарілок є простота устрою, легкість монтажу і ремонту, низький гідравлічний опір, висока ефективність. До їх недоліків відносяться велика чутливість до забруднень газу і рідини, що приводять до забивання отворів, і нестабільна робота при коливаннях тиску газу, що супроводжується провалом рідини через отвори [5].

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

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

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

Ситчасті тарілки, у порівнянні з ковпачковими, мають більшу продуктивність на 30–60 %, але робочий діапазон, зазвичай, не перевищує 2,5. Металоємність становить 50–65 кг/м². Тарілки вельми чутливі до точності горизонтальної установки і не рекомендуються для роботи із забрудненими і смолистими середовищами, тому що можливе забивання отворів.

У колонах діаметром більше 800 мм тарілки складаються з окремих секцій (див. рис. 1.3). По кріпленню секцій тарілки до корпусу і пристрою переливів такі колони аналогічні апаратам з ковпачковими і клапанними тарілками.

Перевага ситчастих тарілок – великий вільний (тобто зайнятий отворами) перетин тарілки, а, отже, і висока продуктивність за парою, простота виготовлення, мала металоємність. За продуктивністю за парою (газом) ці тарілки на 30–60% перевершують ковпачкові. Недолік – висока чутливість до точності установки.

На колоні також передбачені технологічні штуцери для обв'язки апарату 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 –250 до +2500°C при тисках від 0,015 Па до 600 МПа при агресивному впливі середовищ [7].

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

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

Здійснимо підбір конструктивних матеріалів для виготовлення апарата. Підбір будемо здійснювати, беручи до уваги робочу температуру, агресивність середовища та величину робочого тиску.

Із огляду на перераховані вище параметри, вибираємо сталь 09Г2С.

Сталь 09Г2С відноситься до класу низьколегованих сталей. Спосіб поставки – листовая сталь. Характеризується підвищеною міцністю і ударною в'язкістю в інтервалі температур від мінус 70 до плюс 475°C. Добре деформується як в гарячому, так і холодному стані, легко піддається обробці різанням. Дуже добре зварюється усіма видами зварювання. Однак через велику в'язкість вона гірше піддається механічній обробці. Крім того, сталь нестійка в багатьох агресивних середовищах.

Несучі елементи зварних і незварних конструкцій колони виконані зі сталі Ст3. Це конструкційна вуглецева звичайної якості. Добре зварюється усіма видами зварювання, не схильна до відпускнуї крихкості.

Для поліпшувальних деталей використана конструкційна легована сталь 35Х.

У якості прокладкового матеріалу для ущільнення фланцевих та інших з'єднань використовуємо пароніт. Це листовий прокладковий матеріал, виготовлений пресуванням азбокаучукової маси, що складається з 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 [3]:

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

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

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

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

$$\text{де } M_f = 78 \cdot 0,2 + 92 \cdot (1 - 0,2) = 89 \text{ кг/кмоль};$$

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

$$M_D = 78 \cdot 0,95 + 92 \cdot (1 - 0,95) = 79 \text{ кг/кмоль};$$

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

$$M_W = 78 \cdot 0,05 + 92 \cdot (1 - 0,05) = 91 \text{ кг/кмоль}.$$

$M_{\text{ллк}} = 78$ кг/кмоль, $M_{\text{тлк}} = 92$ кг/кмоль – молярні маси легколеткого і важколеткого компонентів [10].

$$\bar{x}_f = 0,2 \cdot \frac{78}{89} = 0,175 \text{ мас. частки};$$

$$\bar{x}_D = 0,95 \cdot \frac{78}{79} = 0,938 \text{ мас. частки};$$

$$\bar{x}_W = 0,05 \cdot \frac{78}{91} = 0,043 \text{ мас. частки}.$$

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

Спільне розв'язання рівнянь (1.2) і (1.3) дозволяє отримати залежність для визначення масових витрат дистилляту і кубового залишку:

$$G_D = G_f \cdot \frac{\overline{x_f} - \overline{x_W}}{\overline{x_D} - \overline{x_W}}; \quad (2.5)$$

$$G_D = 5000 \cdot \frac{0,175 - 0,043}{0,938 - 0,043} = 737 \text{ кг/год.};$$

$$G_W = G_f \cdot \frac{\overline{x_D} - \overline{x_f}}{\overline{x_D} - \overline{x_W}}; \quad (2.6)$$

$$G_W = 5000 \cdot \frac{0,938 - 0,175}{0,938 - 0,043} = 4263 \text{ кг/год.}$$

Рівноважну криву будемо у координатах $x - y$ за довідковими даними при рівноважних складах рідини і пари у залежності від температури (див. Додаток Б).

Визначаємо мінімальне флегмове число за рівнянням [5]:

$$R_{\min} = \frac{x_D - y_f^*}{y_f^* - x_f}; \quad (2.7)$$

де y_f^* – склад пари, яка перебуває в рівновазі з вихідної сумішшю;
 $y_f^* = 0,5$ – визначається з кривої рівноваги.

$$R_{\min} = \frac{0,95 - 0,5}{0,5 - 0,2} = 1,5.$$

Визначаємо оптимальне флегмове число R при $\beta = 2$ [5]:

$$R = \beta \cdot R_{\min} = 2 \cdot 1,5 = 3. \quad (2.8)$$

Розрахуємо масову витрату стікаючої по колоні флегми:

$$G_R = R \cdot G_D; \quad (2.9)$$

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

$$G_R = 3 \cdot 737 = 2211 \text{ кг/год.}$$

Розрахуємо масову витрату піднімаючихся по колоні парів:

$$G_V = (R + 1) \cdot G_D; \quad (2.10)$$

$$G_V = (3+1) \cdot 737 = 2948 \text{ кг/год.}$$

Робоча лінія процесу для верхньої частини колони [5]:

$$y = \frac{R}{R+1} \cdot x + \frac{x_D}{R+1}; \quad (2.11)$$

Робоча лінія процесу для нижньої частини колони [5]:

$$y = \frac{F+R}{R+1} \cdot x - \frac{F-1}{R+1} \cdot x_W, \quad (2.12)$$

де F – число живлення, що визначається за формулою:

$$F = \frac{G_F}{G_D} \cdot \frac{M_D}{M_F}; \quad (2.13)$$

$$F = \frac{5000}{737} \cdot \frac{79}{89} = 6.$$

Ордината точки A (див. додаток A), в якій перетинаються робочі лінії:

$$y_f' = \frac{3}{3+1} \cdot 0,2 + \frac{0,95}{3+1} = 0,39;$$

$$y_f'' = \frac{6+3}{3+1} \cdot 0,2 - \frac{6-1}{3+1} \cdot 0,05 = 0,39.$$

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

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

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

– у верхній частині колони:

$$x'_{cp} = \frac{(x_f + x_D)}{2}; \quad (2.14)$$

$$x'_{cp} = \frac{(0,2 + 0,95)}{2} = 0,58;$$

– у нижній частині колони:

$$x''_{cp} = \frac{(x_f + x_W)}{2}; \quad (2.15)$$

$$x''_{cp} = \frac{(0,2 + 0,05)}{2} = 0,13.$$

Середні молярні концентрації парової фази визначаються за рівняннями робочих ліній [4]:

– у верхній частині колони:

$$y'_{cp} = \frac{R}{R+1} \cdot x'_{cp} + \frac{x_D}{R+1}; \quad (2.16)$$

$$y'_{cp} = \frac{3}{3+1} \cdot 0,58 + \frac{0,95}{3+1} = 0,67;$$

– у нижній частині колони:

$$y''_{cp} = \frac{F+R}{R+1} \cdot x''_{cp} - \frac{F-1}{R+1} \cdot x_W; \quad (2.17)$$

$$y''_{cp} = \frac{6+3}{3+1} \cdot 0,13 - \frac{6-1}{3+1} \cdot 0,05 = 0,23.$$

Середня молярна маса парів розраховується за формулами [4]:

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

– у верхній частині колони:

$$M'_{cp} = y'_{cp} \cdot M_{лк} + (1 - y'_{cp}) \cdot M_{тлк}; \quad (2.18)$$

$$M'_{cp} = 0,67 \cdot 78 + (1 - 0,67) \cdot 92 = 83 \text{ кг/кмоль};$$

– у нижній частині колони:

$$M''_{cp} = y''_{cp} \cdot M_{лк} + (1 - y''_{cp}) \cdot M_{тлк}; \quad (2.19)$$

$$M''_{cp} = 0,23 \cdot 78 + (1 - 0,23) \cdot 92 = 89 \text{ кг/кмоль}.$$

Середні густини парів визначаються за рівнянням Клайперона:

– у верхній частині колони [1]:

$$\rho'_y = \frac{M'_{cp} \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + t'_y)}; \quad (2.20)$$

– у нижній частині колони:

$$\rho''_y = \frac{M''_{cp} \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + t''_y)}; \quad (2.21)$$

де $t'_y = 90^\circ\text{C}$ – середня температура пари у верхній частині колони в залежності від концентрації y'_{cp} (визначається за діаграмою [3]);

$t''_y = 105^\circ\text{C}$ – середня температура пара в нижній частині колони в залежності від концентрації y''_{cp} (визначається по діаграмі [3]).

$$\rho'_y = \frac{83 \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + 90)} = 2,8 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho''_y = \frac{89 \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + 105)} = 2,9 \text{ кг/м}^3.$$

Середні густини рідини знаходяться за правилом адитивності:

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

– у верхній частині колони:

$$\rho'_x = x'_{cp} \cdot \rho'_{лк} + (1 - x'_{cp}) \cdot \rho'_{млк}; \quad (2.22)$$

$$\rho'_x = 0,58 \cdot 805 + (1 - 0,58) \cdot 800 = 803 \text{ кг/м}^3;$$

– у нижній частині колони:

$$\rho''_x = x''_{cp} \cdot \rho''_{лк} + (1 - x''_{cp}) \cdot \rho''_{млк}; \quad (2.23)$$

$$\rho''_x = 0,13 \cdot 790 + (1 - 0,13) \cdot 780 = 781 \text{ кг/м}^3.$$

Теплове навантаження кип'ятильника визначається за формулою:

$$Q_W = G_V \cdot r_w = G_V \cdot (r_{лк} \cdot \bar{x}_w + r_{млк} (1 - \bar{x}_w)); \quad (2.26)$$

де $r_{лк} = 380 \text{ кДж/кг}$, $r_{млк} = 390 \text{ кДж/кг}$ – питома теплота випаровування легколетючого і важколетючого компонентів при усереднених температурах [10].

$$Q_W = \frac{2948}{3600} \cdot (380 \cdot 0,043 + 390 \cdot (1 - 0,043)) = 320 \text{ кВт}.$$

Витрата гріючої пари у кип'ятильнику визначається за формулою:

$$G_{г.п} = Q_W / r_{г.п}, \quad (2.27)$$

де $r_{г.п} = 2200 \text{ кДж/кг}$ – питома теплота випаровування гріючої пари.

$$G_{г.п} = \frac{320}{2200} = 0,15 \text{ кг/с}.$$

Теплове навантаження дефлегматора розраховується за формулою:

$$Q_D = G_V \cdot r_d = G_V \cdot (r_{лк} \cdot \bar{x}_D + r_{млк} \cdot (1 - \bar{x}_D)); \quad (2.28)$$

$$Q_D = \frac{2948}{3600} \cdot (380 \cdot 0,938 + 390 \cdot (1 - 0,938)) = 312 \text{ кВт.}$$

Витрата води в дефлегматорі визначається за формулою:

$$G_6 = \frac{Q_D}{C_6 \cdot (t_{кв} - t_{нг})}, \quad (2.29)$$

де $C_6 = 4,2 \text{ кДж/кг}\cdot\text{К}$ – питома теплоємність охолоджуючої води [10].

$$G_6 = \frac{312}{4,2 \cdot 15} = 4,95 \text{ кг/с.}$$

2.2 Конструктивні розрахунки

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

$$\omega' = (0,7 \div 0,9) \cdot \omega_{np}; \quad (2.30)$$

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

$$\omega_{np} = c \cdot \sqrt{\frac{\rho_p - \rho_n}{\rho_n}}; \quad (2.31)$$

де $c=0,045$ при відстані між тарілками $H=400 \text{ мм}$ – коефіцієнт, який вибирається в залежності від конструкції тарілок і відстані між ними.

Гранична швидкість парів для верхньої частини колони:

$$\omega'_{np} = 0,045 \cdot \sqrt{\frac{803 - 2,8}{2,8}} = 0,76 \text{ м/с.}$$

Гранична швидкість парів для нижньої частини колони:

$$\omega''_{np} = 0,045 \cdot \sqrt{\frac{781 - 2,9}{2,9}} = 0,74 \text{ м/с.}$$

Робоча швидкість парів для верхньої частини колони:

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

$$\omega' = 0,7 \cdot 0,76 = 0,53 \text{ м/с.}$$

Робоча швидкість парів для нижньої частини колони:

$$\omega'' = 0,7 \cdot 0,74 = 0,52 \text{ м/с.}$$

Відношення масових витрат рідкої і парової фаз дорівнює [5]:

– у верхній частині колони:

$$\left(\frac{L}{G}\right)' = \frac{G_R}{G_V} = \frac{R}{R+1}; \quad (2.32)$$

$$\left(\frac{L}{G}\right)' = \frac{3}{3+1} = 0,75;$$

– у нижній частині колони:

$$\left(\frac{L}{G}\right)'' = \frac{G_R + G_f}{G_V} = \frac{R+F}{R+1}; \quad (2.33)$$

$$\left(\frac{L}{G}\right)'' = \frac{3+6}{3+1} = 2,25.$$

Об'ємна витрата парів у верхній частині колони:

$$V' = \frac{G_V}{\rho_y'}; \quad (2.34)$$

$$V' = \frac{2948}{3600 \cdot 2,8} = 0,29 \text{ м}^3/\text{с};$$

Об'ємна витрата парів у нижній частині колони:

$$V'' = \frac{G_V}{\rho_y''}; \quad (2.35)$$

$$V'' = \frac{2948}{3600 \cdot 2,9} = 0,28 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Діаметр колони розраховується за формулою [12]:

$$D = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot \omega}}; \quad (2.36)$$

– для верхньої частини колони:

$$D' = \sqrt{\frac{0,29}{0,785 \cdot 0,53}} = 0,835 \text{ м};$$

– для нижньої частини колони:

$$D'' = \sqrt{\frac{0,28}{0,785 \cdot 0,52}} = 0,828 \text{ м}.$$

Найближчий більший стандартизований діаметр колони становить 900 мм, але він є не рекомендованим. Таким чином, приймаємо ректифікаційну колону діаметром 1000 мм.

Дійсні робочі швидкості пари в колоні складуть:

$$w'_s = 0,53 \cdot \left(\frac{0,835}{1,0} \right)^2 = 0,37 \text{ м/с};$$

$$w''_n = 0,52 \cdot \left(\frac{0,828}{1,0} \right)^2 = 0,36 \text{ м/с}.$$

У результаті побудови горизонтальних і вертикальних відрізків між робочою і рівноважною лініями (див. Додаток А) число теоретичних тарілок дорівнює $N'_m = 9$ шт., $N''_m = 7$ шт.

Число дійсних тарілок можна визначити за допомогою, так званого, середнього ККД тарілки [12]:

$$N_o = N_m / \eta; \quad (2.37)$$

де $\eta = 0,55$ – середній ККД ситчастої тарілки [11].

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

Отже, число практичних тарілок у верхній частині колони дорівнює:

$$N_0 = 9/0,55 \approx 16 \text{ шт.}$$

Число практичних тарілок у нижній частині колони:

$$N_0 = 7/0,55 \approx 13 \text{ шт.}$$

Висота тарільчастої частини колони дорівнює:

$$H_T = (N_D - 1) \cdot H, \quad (2.38)$$

де $N_0 = 13 + 16 = 29$ шт. – загальна кількість практичних тарілок у колоні;
 $H = 400$ мм – відстань між тарілками.

$$H_m = (29 - 1) \cdot 400 = 11200 \text{ мм.}$$

Діаметр патрубків визначається за формулою [11]:

$$D = \sqrt{\frac{G}{\rho \cdot 3600 \cdot 0,785 \cdot \omega}}; \quad (2.39)$$

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

Швидкість пари приймається в межах 15–20 м/с, швидкість рідини 0,5–2 м/с.

Діаметри патрубків для входу і виходу парів:

$$d_v = \sqrt{\frac{2948}{3600 \cdot 2,85 \cdot 0,785 \cdot 10}} = 0,191 \text{ м.}$$

Приймаємо діаметри патрубків $d_v = 200$ мм.

Діаметр патрубка для входу флегми:

$$d_R = \sqrt{\frac{2211}{3600 \cdot 803 \cdot 0,785 \cdot 0,5}} = 0,044 \text{ м.}$$

Приймаємо діаметр патрубка $d_R = 50$ мм.

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

Діаметр патрубку для входу вихідної суміші:

$$d_f = \sqrt{\frac{5000}{3600 \cdot 785 \cdot 0,785 \cdot 0,7}} = 0,057 \text{ м.}$$

Приймаємо діаметр патрубка $d_f=60$ мм.

Діаметр патрубка для виходу кубового залишку:

$$d_w = \sqrt{\frac{4263}{3600 \cdot 780 \cdot 0,785 \cdot 0,7}} = 0,053 \text{ м.}$$

Приймаємо діаметр патрубка $d_w=60$ мм.

2.3 Гідравлічний опір апарата

Гідравлічний розрахунок проводимо у відповідності до методики, що представлена у [11].

Гідравлічний опір ситчастої тарілки розраховується за залежності:

$$\Delta p_{\text{заг}} = \Delta p_{\text{сух}} + \Delta p_{\sigma} + \Delta p_{\text{пр}}, \quad (2.40)$$

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

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

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

Оскільки відгінна частина колони більш навантажена за рідиною, то гідравлічний розрахунок проводимо для тарілки, що розташована у нижній частині апарату.

Гідравлічний опір сухої тарілки становить:

$$\Delta p_{\text{сух}} = \xi \cdot \frac{\rho_n \cdot \omega_{\text{омв}}^2}{2}, \quad (2.41)$$

де $\xi=1,82$ – коефіцієнт опору незрошуваних ситчастих тарілок з вільним перетином 5–10 % [11];

$\omega_{отв}$ – швидкість пари в отворах тарілки.

Швидкість пари в отворах тарілки:

$$\omega_{отв} = \frac{w}{F}, \quad (2.42)$$

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

$F=5,14\%$ – вільний перетин тарілки [11].

$$\omega_{отв} = \frac{0,36}{0,0514} = 7,0 \text{ м/с};$$

$$\Delta p_{сyx} = 1,82 \cdot \frac{2,9 \cdot 7,0^2}{2} = 130 \text{ Па.}$$

Опір, зумовлений силами поверхневого натягу:

$$\Delta p_{\sigma} = \frac{4 \cdot \sigma}{d_0}; \quad (2.43)$$

де $\sigma = 2 \cdot 10^2$ Н/м – поверхневий натяг рідини при середній температурі [10];

$d_0 = 0,004$ м – діаметр отворів тарілки [11].

$$\Delta p_{\sigma} = \frac{4 \cdot 2 \cdot 10^2}{0,004} = 20 \text{ Па.}$$

Опір парорідинного шару на таріліці:

$$\Delta p_{np} = 1,3 \cdot h_{np} \cdot \rho_{np} \cdot g \cdot k, \text{ Па} \quad (2.44)$$

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

$$h_{np} = h_n + \Delta h, \text{ м} \quad (2.45)$$

де h_n – висота зливної перегородки, м;

Δh – висота шару над зливною перегородкою, м.

$$\Delta h = \left(\frac{V_p}{1,85 \cdot \Pi \cdot k} \right)^{\frac{2}{3}}, \text{ м} \quad (2.46)$$

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

Π – периметр зливної перегородки, м;

$k = \rho_{np} / \rho_p$ – відношення густини парорідинного шару (піни) до густини рідини,

$k \approx 0,5$ [11].

Об'ємна витрата рідини:

$$V_p = \left(\frac{G_D \cdot R}{M_D} + \frac{G_F}{M_F} \right) \cdot \frac{M_{cp}}{\rho_p}; \quad (2.47)$$

$$V_p = \left(\frac{737 \cdot 3}{79} + \frac{5000}{89} \right) \cdot \frac{89}{3600 \cdot 781} = 2,7 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Висота шару над зливною перегородкою:

$$\Delta h = \left(\frac{2,7 \cdot 10^{-3}}{1,85 \cdot 0,73 \cdot 0,5} \right)^{\frac{2}{3}} = 0,025 \text{ м}.$$

Висота парорідинного шару:

$$h_{np} = 0,04 + 0,025 = 0,065 \text{ м}.$$

Опір парорідинного шару на тарілці:

$$\Delta p_{np} = 1,3 \cdot 0,065 \cdot 781 \cdot 9,81 \cdot 0,5 = 324 \text{ Па}.$$

Загальний гідравлічний опір тарілки:

$$\Delta p = 130 + 20 + 324 = 474 \text{ Па}.$$

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

Умова нормальної роботи тарілок:

$$H_m > 1,8 \cdot \frac{\Delta p}{\rho_p \cdot g}, \quad (2.48)$$

де H – міжтарілчаста відстань, м.

$$1,8 \cdot \frac{\Delta p}{\rho_p \cdot g} = 1,8 \cdot \frac{474}{781 \cdot 9,81} = 0,11.$$

Це підтверджує правильність прийнятої раніше відстані між тарілками $H_m = 400$ мм, оскільки $0,4 > 0,11$.

Мінімальна швидкість пари в отворах, достатня для того, щоб ситчаста тарілка працювала усіма отворами:

$$w_{o \text{ мін}} = 0,67 \cdot \sqrt{\frac{g \cdot \rho_p \cdot h_{np}}{\xi \cdot \rho_n}}; \quad (2.49)$$

$$w_{o \text{ мін}} = 0,67 \cdot \sqrt{\frac{9,81 \cdot 781 \cdot 0,065}{1,82 \cdot 2,9}} = 6,5 \text{ м/с};$$

$7,0 \text{ м/с} > 6,5 \text{ м/с}$ – отже, тарілка працюватиме усіма отворами.

Загальний гідравлічний опір колони:

$$\Delta p_k = N_o \cdot \Delta p; \quad (2.50)$$

$$\Delta p_k = 29 \cdot 474 = 13746 \text{ Па.}$$

2.4 Вибір допоміжного обладнання

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

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

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

Діаметр трубопроводу визначаємо за рівнянням:

$$d = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot w}}, \quad (2.51)$$

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

$$V = \frac{5000}{3600 \cdot 800} = 1,736 \cdot 10^{-3} \frac{M^3}{c};$$

$$d = \sqrt{\frac{1,736 \cdot 10^{-3}}{0,785 \cdot 2}} = 0,032 \text{ м.}$$

Приймаємо стандартизований діаметр трубопроводу 32 мм.

Визначаємо критерій Рейнольдса для рідини у трубопроводі:

$$Re = \frac{w \cdot d \cdot \rho_p}{\mu}, \quad (2.52)$$

$$Re = \frac{2 \cdot 0,032 \cdot 800}{2,8 \cdot 10^{-4}} = 182857 \text{ – тобто режим турбулентний.}$$

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

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

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

Для зони, що є автомодельною по відношенню до Re :

$$\lambda = 0,11 \cdot e^{0,25}; \quad (2.53)$$

$$\lambda = 0,11 \cdot 0,00625^{0,25} = 0,03.$$

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

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

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

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

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

Для напірної лінії: 1) вентиль прямоточний $\xi_1 = 0,65$; 2) 3 коліна з кутом 90° $\xi_2 = 3 \cdot 1,1 = 3,3$; 3) 1 кожухотрубний теплообмінник $\xi_3 = 3,05$; 4) вихід з труби $\xi_4 = 1$.

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

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

Втрату напору у всмоктуючій лінії знаходимо за рівнянням:

$$h_{\text{П.ВС.}} = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d_E} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g}, \quad (2.54)$$

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

$$h_{\text{П.ВС.}} = \left(0,03 \cdot \frac{3}{0,032} + 2,7 \right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 1,1 \text{ м.}$$

Втрата напору в напірній лінії:

$$h_{\text{П.НАП.}} = \left(0,03 \cdot \frac{7}{0,032} + 8 \right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 3,0 \text{ м.}$$

Загальні втрати напору:

$$h_{\text{П}} = h_{\text{П.ВС.}} + h_{\text{П.НАП.}}; \quad (2.55)$$

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

$$h_{\Pi} = 1,1 + 3,0 = 4,1 \text{ м.}$$

Знаходимо напір насосу за рівнянням:

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho_{ж} \cdot g} + H_{\Gamma} + h_{\Pi}, \quad (2.56)$$

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_{Γ} – геометрична висота піднімання рідини.

$$H = 5 + 4,1 = 9,1 \text{ м.}$$

Корисну потужність насосу визначаємо за рівнянням:

$$N_{\Pi} = \rho_p \cdot g \cdot V \cdot H, \quad (2.57)$$

$$N_{\Pi} = 800 \cdot 9,81 \cdot 1,736 \cdot 10^{-3} \cdot 9,1 = 124 \text{ Вт.}$$

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

$$N = \frac{N_{\Pi}}{\eta_{\text{пер}} \cdot \eta_n}, \quad (2.58)$$

де $\eta_n = 0,6$ – коефіцієнт корисної дії насосу;

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

$$N = \frac{124}{1 \cdot 0,6} = 207 \text{ Вт.}$$

Вибираємо відцентровий насос марки НМШ 8-25-8,5/25-5 із наступними параметрами: об'ємна подача насосу 8,5 м³/год.; напір насосу 25 м; потужність, яку потребує насосом 7,5 кВт; частота обертів 1450 об/хв.

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

Приймаємо $\psi = 0,82$.

Розрахунковий об'єм ємності:

$$V_{EP} = \frac{G \cdot \tau}{\psi \cdot \rho}; \quad (2.59)$$

$$V_{EP} = \frac{5000 \cdot 6}{0,82 \cdot 800} = 45,7 \text{ м}^3.$$

Задамося діаметром ємності $D = 3,6 \text{ м}$, тоді її висота буде становити:

$$H = \frac{V_{EP}}{0,785 \cdot D^2}; \quad (2.60)$$

$$H = \frac{45,7}{0,785 \cdot 3,6^2} = 4,5 \text{ м}.$$

3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність

3.1 Розрахунок товщини стінки корпусу апарата

Основні розрахункові параметри: усереднена температура середовища становить 105°C ; робочу температуру стінки приймаємо 100°C ; робочий тиск у колоні – атмосферний, тобто $P = 0,1 \text{ МПа}$.

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

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

За [13] приймаємо стандартне значення $0,25 \text{ МПа}$.

Пробний тиск при гідравлічному випробуванні згідно [13] складе:

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

де $[\sigma]_{20}, [\sigma]$ – допустиме напруження для матеріалу корпусу (сталь 09Г2С) при розрахунковій температурі і температурі 20°C відповідно [13]: $[\sigma]_{20} = 160 \text{ МПа}$; $[\sigma] = 152 \text{ МПа}$.

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

Розрахункове значення для модуля поздовжньої пружності для матеріалу корпусу [13]: $E_{20} = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$; $E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$.

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

Товщина стінки циліндричної обичайки, навантаженої внутрішнім надлишковим тиском [13]:

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

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

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

Виконавча товщина стінки [13]:

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

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 $\Pi = 0,1$ мм/рік та терміні служби колони $\tau = 15$ років складе

$$C_1 = \Pi \cdot \tau = 0,1 \cdot 15 = 1,5 \text{ мм};$$

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.

Отже:

$$C = 1,5 + 0 + 0 = 1,5 \text{ мм};$$

$$S = 0,002 + 0,0015 = 0,0035 \text{ м.}$$

Приймаємо $S = 4$ мм.

Допустимий внутрішній надлишковий тиск:

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi_p \cdot (S - C)}{D + (S - C)}; \quad (3.6)$$

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

$$[p] = \frac{2 \cdot 152 \cdot 0,9 \cdot (0,004 - 0,0015)}{1 + (0,004 - 0,0015)} = 0,68 \text{ МПа.}$$

Умова міцності виконується:

$$P < [P]: 0,55 \text{ МПа} < 0,68 \text{ МПа.}$$

3.2 Розрахунок товщини стінки кришки (днища) апарата

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

$$S_R = \frac{P_p \cdot R}{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi - 0,5 \cdot P_p}, \quad (3.7)$$

де $R = D$ (для еліптичних днищ) – радіус кривизни в вершині днища [13].

$$S_R = \frac{0,55 \cdot 1,0}{2 \cdot 152 \cdot 0,9 - 0,5 \cdot 0,55} = 0,002 \text{ м.}$$

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

$$C = 1,5 + 0 + 0 = 1,5 \text{ мм;}$$

$$S = 0,002 + 0,0015 = 0,0035 \text{ м.}$$

Також приймаємо $S = 4 \text{ мм.}$

Допустимий внутрішній надлишковий тиск:

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

$$[p] = \frac{2 \cdot (0,004 - 0,0015) \cdot 0,9 \cdot 152}{1,0 + 0,5 \cdot (0,004 - 0,0015)} = 0,68 \text{ МПа,}$$

що більше пробного, а отже, умова міцності виконується.

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

3.2 Розрахунок опори апарата

Визначимо навантаження порожнього апарату на опору за формулою:

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

де M_{an} – маса порожнього апарату;

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

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

Маса циліндричного корпусу становить:

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

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

$$M_{\kappa} = 11,2 \cdot 3,14 \cdot 1 \cdot 0,004 \cdot 7800 = 1097 \text{ кг.}$$

Маса еліптичної кришки (днища):

$$M_{\text{дн}} = M_{\text{кр}} = F \cdot s \cdot \rho, \quad (3.12)$$

де $F = 1,16 \text{ м}^2$ – площа внутрішньої поверхні еліптичної кришки (днища).

$$M_{\text{дн}} = M_{\text{кр}} = 1,16 \cdot 0,004 \cdot 7800 = 36,2 \text{ кг.}$$

Маса контактних тарілок:

$$M_m = N_{\text{д}} \cdot m_m, \quad (3.13)$$

де $m_m = 41,8 \text{ кг}$ – маса ситчастої тарілки діаметром 1000 мм.

$$M_m = 29 \cdot 41,8 = 1212,2 \text{ кг.}$$

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

Таким чином, маса порожнього апарату складе:

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

$$M_{an} = 1097 + 2 \cdot 36,2 + 1212,2 + 1000 = 3381,6 \text{ кг.}$$

Вага порожнього апарата дорівнюватиме:

$$Q_{an} = 3381,6 \cdot 9,81 = 33173 \text{ Н.}$$

Навантаження апарату на опору під час гідравлічних випробувань:

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

де M_e – маса залитої в апарат води.

$$M_e = V \cdot \rho_e, \quad (3.15)$$

де V – об'єм апарату:

$$V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H = \frac{3,14 \cdot 1^2}{4} \cdot 11,2 = 8,8 \text{ м}^3;$$

$$M_e = 8,8 \cdot 1000 = 8800 \text{ кг.}$$

Вага порожнього апарата під час гідравлічних випробувань:

$$Q_{an}^e = (3381,6 + 8800) \cdot 9,81 = 119501 \text{ Н.}$$

Виходячи з [13] вибираємо циліндричну опору третього типу:

3-1000-30-15-350.

4 Монтаж та ремонт апарата

4.1 Монтаж апарата [14]

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

Монтажні майданчики оснащують необхідними вантажопідйомними механізмами і пристосуваннями. Це найчастіше канати, троси, стропи, блоки й поліспасти, різні талі і лебідки, а також вантажопідйомні машини і механізми. Такелажні засоби повинні бути простими у виготовленні, зручними для транспортування, монтажу, перестановки і демонтажу і, звичайно ж, безпечними в роботі.

Монтаж важкого обладнання на фундамент можна здійснювати в повністю зібраному вигляді або великими блоками шляхом нарощування або підрощування.

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

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

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

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

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

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

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

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

Після встановлення апарату на фундамент перевіряють, чи відповідає його розташування у просторі проектному плану, а відхилення від вертикальності або горизонтальності знаходиться в допустимих межах. Допуск на точність монтажу зазвичай встановлюють на підставі паспорта обладнання та вимогам монтажних інструкцій. Перш за все, доводять до проектної висоти позначку опорної частини обладнання. Фактичний рівень опорної поверхні, як і горизонтальність апарату, визначають по нівеліру.

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

Промивання колони водою сприяє також більш швидкому її охолодженню. Не можна приступати до ремонтних робіт, якщо температура промивної води перевищує 50°C.

Пропарену і промиту колону від'єднують від усіх апаратів і комунікацій глухими заглушками, що встановлюються на фланцевих з'єднаннях штуцерів. Установку кожної заглушки і подальше її зняття реєструють в спеціальному журналі.

4.2 Ремонт апарата [14, 15]

Ремонт апарата починають із його відкривання, яке необхідно проводити, суворо дотримуючись наступних правил. Спочатку відкривають верхній люк, причому перед цим в апарат протягом деякого часу подають водяну пару, щоб уникнути можливого підсосу повітря, у результаті якого може утворитися вибухонебезпечна суміш. Далі послідовно (згори вниз) відкривають інші люки. Категорично забороняється одночасно відкривати

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

верхній і нижній люки. Не можна також відкривати спочатку нижній, а потім верхній люк, оскільки внаслідок різниці температур відбувається сильний приток повітря в колону, що може призвести до утворення вибухонебезпечної суміші.

Після відкриття люків колона деякий час провітрюється. Після закінчення провітрювання потрібно провести аналіз проб повітря, взятих із колони на різних висотних відмітках. До робіт всередині колони дозволяється приступати тільки тоді, коли аналіз покаже, що концентрація шкідливих газів у ній не перевищує гранично допустимих санітарних норм.

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

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

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

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

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

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

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

Після ремонту ректифікаційну колону піддають гідравлічним або пневматичним випробуванням.

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		44

5 Охорона праці

Характеристика, дія на організм людини, нормування та захист від електромагнітних полів.

Електромагнітне поле (ЕМП) – особлива форма матерії, за допомогою якої здійснюється взаємодія між електрично зарядженими частинками. Воно складається з двох окремих полів – електричного та магнітного. Силкові лінії цих полів взаємно перпендикулярні. Через електромагнітне поле передаються всі види електромагнітного випромінювання – від низькочастотного (радіохвилі) до високочастотного (рентгенівське та гамма-випромінювання).

Електромагнітне поле у просторі поширюється у вигляді електромагнітної хвилі, яка переносить енергію, замкнену в електричному та магнітному полях. Електричні та магнітні поля змінюються одночасно одне з одним. При цьому співвідношення між їх миттєвими значеннями завжди залишаються сталими. Лише на близьких від джерела відстанях, у так званій зоні несформованого поля, ця закономірність порушується.

Основними фізичними параметрами електромагнітного поля є швидкість поширення електромагнітної хвилі, довжина хвилі та частота коливань, які зв'язані між собою співвідношенням [16].

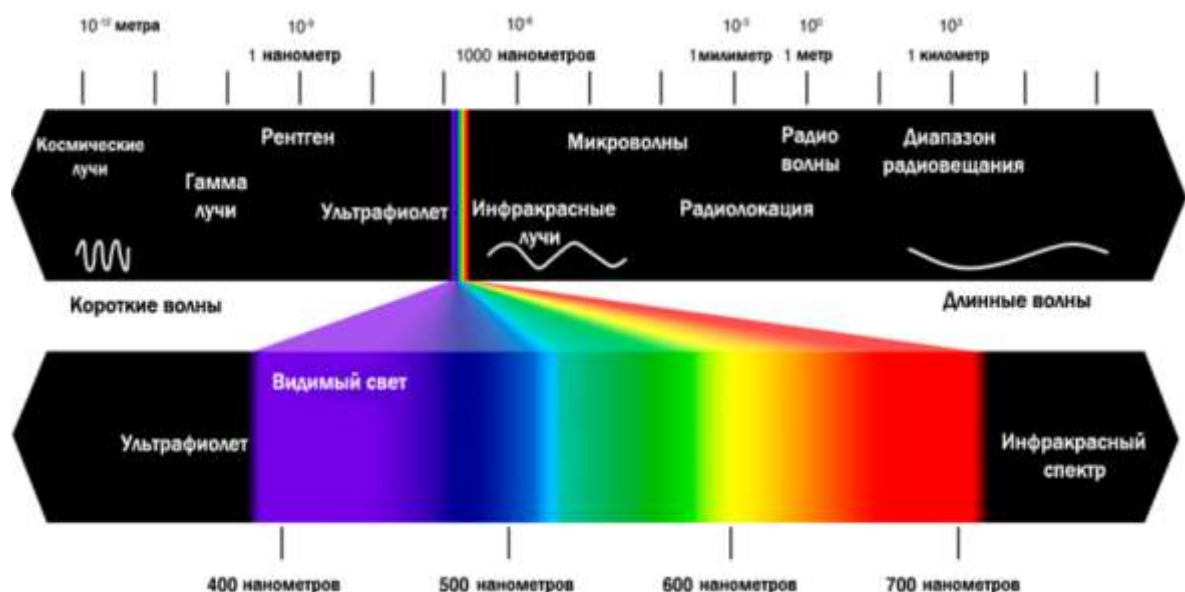


Рисунок 5.1 – Амплітудно-частотний діапазон [19]

Спектр електромагнітних коливань радіочастот за частотою коливань та довжиною хвилі умовно поділяють на діапазони. За частотою коливань електромагнітні хвилі мають діапазони низьких (НЧ), середніх (СЧ), високих (ВЧ), дуже високих (ДВЧ), ультрависоких (УВЧ), надвисоких (НВЧ) та надзвичайно високих частот (НЗВЧ). За довжиною розрізняють кілометрові, гектометрові, декаметрові, метрові, дециметрові та інші діапазони хвиль [16].

Таблиця 5.1 – Міжнародна класифікація електромагнітних хвиль за частотами [17]

№ діапазону	Діапазон радіочастот	Межі діапазону	Діапазон радіохвиль	Межі діапазону
1	Вкрай низькі, ВНЧ	3-30 Гц	Декамегаметрові	100 - 10 мм
2	Наднизькі, ННЧ	30-300 Гц	Мегаметрові	10 - 1 мм
3	Інфрачервоні, ІНЧ	0,3-3 кГц	Гектокілометрові	1000 - 100 км
4	Дуже низькі, ДНЧ	3-30 кГц	Міріаметрові	100- 10 км
5	Низькі частоти, НЧ	30-300 кГц	Кілометрові	10- 1 км
6	Середні, СЧ	0,3-3 МГц	Гектометрові	1 - 0,1 км
7	Високі частоти, ВЧ	3-30 МГц	Декаметрові	100 - 10 м
8	Дуже високі, ДВЧ	30-300 МГц	Метрові	10 - 1 м
9	Ультрависокі, УВЧ	0,3-3 ГГц	Дециметрові	1- 0,1 м
10	Надвисокі, СВЧ	3-30 ГГц	Сантиметрові	10- 1 см
11	Вкрай високі, ВВЧ	30-300 ГГц	Міліметрові	10- 1 мм
12	Гіпервисокі, ГВЧ	300-3000 ГГц	Деціміліметрові	1- 0,1 мм

Електромагнітні поля оточують нас всюди, але ми не можемо їх відчувати і помітити, – тому ми не бачимо променів, що надходять від телевізійної вежі, лінії електропередачі, побутової техніки.

Природні джерела електромагнітних полів поділяють на дві групи. Перша – поле Землі, що являє собою постійні за параметрами електричне та магнітне поле. Друга група - ЕМП, що генеруються космічними джерелами (Сонце, зірки і тощо) та атмосферними процесами – розряди блискавок і т. п. Радіаційний фон, що створений космічними променями, дає майже половину зовнішнього опромінення людини від природних джерел. Космічні промені здебільшого надходять з глибин Всесвіту, однак певна їхня частина генерується на Сонці під час сонячних спалахів. Космічні промені, досягаючи поверхні Землі та взаємодіючи з атмосферою, утворюють різноманітні космогенні радіонукліди, космогенні радіонукліди виникають унаслідок ядерної реакції між ядрами хімічних елементів земного походження й частинками космічних променів. Природне електричне поле Землі створюється надлишковим негативним зарядом на поверхні. Його напруженість складає від 100 до 500 В/м. Грозові хмари можуть збільшувати напруженість поля Землі до десятків, а то й сотень кВ/м. Ця група природних електромагнітних полів характеризується широким діапазоном частот.

Антропогенні джерела також поділяють на 2 групи:

- 1) джерела низькочастотних випромінювань (0–3 кГц);*
- 2) джерела високочастотних випромінювань (від 3 кГц до 300 ГГц).*

Перша група включає в себе всі системи виробництва, передачі і розподілу електроенергії (лінії, кабельні системи електропередачі, трансформаторні підстанції, електростанції), домашню та офісну електро- і електронну техніку, в тому числі й монітори ПК, транспорт на електроприводі, а також метро, тролейбусний і трамвайний транспорт. Транспорт на електроприводі є потужним джерелом електромагнітного поля в діапазоні від 0 до 1000 Гц. Максимальні значення індукції електромагнітного поля в приміському електротранспорті досягають 75 мкТл, середні – близько

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

20 мкТл. Середні значення на транспорті з приводом від постійного струму зафіксовані на рівні 29 мкТл. Найбільші коливання магнітного поля фіксуються в метрополітені. При відправленні рухомого складу величина магнітного поля на платформі становить 50–100 мкТл і більше, перевищуючи геомагнітне поле Землі. У самому вагоні магнітне поле має ще вищу значення – 150–200 мкТл, тобто в десять разів більше, ніж у звичайній електричці.

До другої групи відносяться функціональні передавачі, що використовуються з метою передачі чи отримання інформації. Це комерційні передавачі (радіо, телебачення), радіотелефони (авто-, радіотелефони, аматорські радіопередавачі, виробничі радіотелефони), спрямований радіозв'язок (супутниковий радіозв'язок, наземні релейні станції), навігація (повітряне сполучення, судноплавство), локатори. До цієї групи відноситься і різне технологічне обладнання, що використовує СВЧвипромінювання, побутове обладнання (НВЧ-печі), засоби візуального відображення інформації на електронно-променевих трубках (монітори ПК, телевізори тощо). Для наукових досліджень в медицині застосовують струми ультрависокої частоти [18].

Таблиця 5.2 – Деякі техногенні джерела ЕМП [20]

Назва	Діапазон частот (довжин хвиль)
Радіотехнічні об'єкти	30 кГц – 30 МГц
Радіопередавальні станції	30 кГц – 300 МГц
Радіолокаційні і радіонавігаційні станції	НВЧ діапазон (300МГц - 300ГГц)
Телевізійні станції	30 МГц – 3 ГГц
Плазмові установки	Видимий, ІЧ-, УФ-діапазони
Термічні установки	Видимий, ІЧ-діапазон
Високовольтні лінії електропередач	Промислова частота.
Рентгенівські установки	Жорсткий УФ, рентгенівський діапазон, видиме світіння
Лазери	Оптичний діапазон
Мазери	НВЧ діапазон
Технологічні установки	ВЧ, НВЧ, ІЧ, УФ, видимий, рентгенівський діапазони
Ядерні реактори	Рентгенівське і γ -випромінювання, ІЧ.
Джерела ЕМП спеціального призначення, застосовувані в радіоелектронній протидії	Радіохвилі, оптичний діапазон, акустичні хвилі (комбінування дії)

Джерелом електромагнітного поля в житлових приміщеннях є різноманітна електротехніка - холодильники, праски, пылососи, електродіалектронагрівачі, телевізори, комп'ютери тощо, а також електропроводка квартири. На електромагнітну обстановку квартири впливають і електротехнічне обладнання будівлі, трансформатори, кабельні лінії. Електричне поле в житлових будинках знаходиться в межах 1–10 В/м, що знаходиться в межах допустимих значень. Однак можуть існувати і точки підвищеного рівня, наприклад, незаземлений монітор комп'ютера.

Вимірювання напруженості магнітних полів від побутових електроприладів показали, що їх короточасний вплив може виявитися навіть більш сильним, ніж довгострокове перебування людини в зоні лінії електропередачі. Так, вітчизняні норми допустимих значень напруженості магнітного поля лінії електропередачі для населення становлять 1000 МГС, то побутові електроприлади в ряді випадків істотно перевершують цю величину. Так, за даними Центру електромагнітної безпеки, у звичайного побутового холодильника ЕМП вище гранично допустимого рівня (0,2 мкТл) виникає в радіусі 10 см від компресора і тільки під час його роботи. Але, у холодильників, оснащених системою "no frost", перевищення гранично допустимого рівня ЕМП фіксується на відстані метра від дверцят. НВЧ-печі, в силу принципу своєї роботи, служать потужним джерелом випромінювання. Тому їх конструкція забезпечує відповідне екранування. Але слід зазначити, що на відстані 30 см піч створює помітне змінне (50 Гц) магнітне поле (0,3–8 мкТл). Низьким значенням характеризується ЕМП потужних електричних чайників. Так, на відстані 20 см від чайника "Tefal" поле становить близько 0,6 мкТл, а на відстані 50 см не відрізняються від загального електромагнітного поля кухні. У більшості прасок ЕМП вище 0,2 мкТл виявляється на відстані 25 см від ручки і тільки в режимі нагріву. Зате ЕМП пральних машин виявилися досить великими. Наприклад, у малогабаритній пральній машині ЕМП на частоті 50 Гц біля пульта управління складає більше 10 мкТл, на висоті 1 м – 1 мкТл,

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		49

збоку, на відстані 50 см – 0,7, – мкТл. ЕМП електробритв характеризується практично самими високими рівнями - сотнями мкТл.

Біологічний вплив полів різних діапазонів неоднаковий. Чим коротше довжина хвилі, тим більшою енергією вона володіє. Високочастотні випромінювання можуть іонізувати атоми або молекули в соматичних клітинах - і таким чином порушувати йдуть в них процеси. Електромагнітні коливання довгохвильового спектра хоч і не вибивають електрони із зовнішніх оболонок атомів і молекул, але здатні нагрівати органіку, приводити молекули в тепловий рух. Причому, тепло це внутрішнє. Чим менше розміри тіла, тим краще воно сприймає короткохвильове випромінювання, чим більше - тим краще сприймає довгохвильове. Особливо чутливі до впливу несприятливих наслідків опромінення ембріони і діти. Таким чином, первинним проявом дії електромагнітної енергії є нагрів, який може привести до змін і навіть до пошкоджень тканин і органів [18].

Електромагнітні поля особливо негативно впливають на організм людини, яка безпосередньо працює з джерелом випромінювання. В діапазоні промислових частот більше негативний вплив на біологічний об'єкт має електрична складова поля.

Найчутливішими до ЕМП є нейродинамічні процеси, які прямо чи побічно перемикають хронобіологічні процеси організму на патологічний або стресовий режим функціонування.

При дії ЕМП на людину можливі гострі та хронічні форми порушення фізіологічних функцій організму. Такі порушення виникають в результаті дії електричної складової ЕМП на нервову систему, а також на структуру кори головного та спинного мозку, серцево-судинної системи.

У більшості випадків такі зміни в діяльності нервової та серцево-судинної системи мають зворотній характер, але в результаті тривалої дії вони накопичуються, підсилюються з плином часу, але, як правило, зменшуються та зникають при виключенні впливу та поліпшенні умов праці.

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

Тривалий та інтенсивний вплив ЕМП призводить до стійких порушень в організмі людини та захворювань.

Сумісна дія випромінювань широкого діапазону може викликати окрему радіохвильову хворобу.

Тяжкість її наслідків прямо залежить від напруженості ЕМП, фізичних особливостей різних діапазонів частот, тривалості впливу, умов навколишнього середовища, а також від функціонального стану та стійкості організму до впливу різних чинників, можливостей адаптації. Збільшується ризик виникнення загальних захворювань, захворювань органів дихання, травлення тощо. Це може відбуватися також і за дуже невеликої інтенсивності ЕМП, яка незначно перевищує гігієнічні нормативи.

Результатом дії на організм людини електромагнітних випромінювань в діапазоні 30 кГц – 300 МГц є: загальна слабкість, підвищена втома, порушення сну, головний біль та біль в ділянці серця. З'являється роздратованість, втрачається увага, сповільнюються рухово-мовні реакції.

Виникає ряд симптомів, які свідчать про порушення роботи окремих органів – шлунку, печінки, підшлункової залози. Погіршуються харчові та статеві рефлекси, діяльність серцево-судинної системи, фіксуються зміни показників білкового та вуглеводного обміну, змінюється склад крові, зафіксовані зміни на рівні клітин. Систематична дія ЕМП високої та надвисокої частоти на організм людини викликає підвищення кров'яного тиску, трофічні явища (випадіння волосся, ламкість нігтів). ЕМП викликають зміну поляризації молекул та атомів, які є складовою частиною клітин, в результаті чого виникає небезпечний нагрів. Надмірне тепло наносить шкоду як окремим органам, так і всьому організму людини.

Професійні захворювання виникають у працівників при тривалому та інтенсивному опроміненні.

При інтенсивності випромінювань близько 20 мкВт/см² реєструється зменшення частоти пульсу, знижується артеріальний тиск, тобто явна

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		51

реакція на опромінення. Така реакція сильніша й може навіть виражатися у підвищенні температури шкіри в осіб, які раніше потрапляли під дію опромінення.

При інтенсивності 6 мВт/см^2 з'являються зміни у статевих залозах, у складі крові, відбувається помутніння кришталика ока. В подальшому – зміни у здатності крові зсідатися, в умовно-рефлекторній діяльності, вплив на клітини печінки, зміни у корі головного мозку. Потім – підвищення кров'яного тиску, розрив капілярів та крововиливи у легені та печінку.

Випромінювання інтенсивністю до 100 мВт/см^2 викликають стійкі гіпотонію та зміни серцево-судинної системи, двосторонню катаракту. Подальше опромінення помітно впливає на тканини організму, викликає больові відчуття.

Якщо інтенсивність перевищує 1 Вт/см^2 , це спричинює дуже швидко втрату зору, як один із серйозних ефектів дії НВЧ на організм людини. На більш низьких частотах такі ефекти не відбуваються, і тому їх треба вважати специфічними для НВЧ діапазону. Ступінь пошкодження залежить, в основному, від інтенсивності та тривалості опромінення.

Інтенсивне НВЧ опромінення відразу викликає сльозотечу, подразнення, звуження зіниці ока. Після нетривалого (до 2-х діб) прихованого періоду спостерігається погіршення зору, яке посилюється під час повторного опромінення і свідчить про кумулятивний характер пошкоджень.

У людини наявні механізми відбудови пошкоджених клітин, які вимагають тривалого часу (10–20 діб). Зі зростанням часу та інтенсивності впливу електромагнітних випромінювань, пошкодження набувають незворотного характеру.

У разі прямого впливу на око випромінювання відбувається пошкодження рогівки. серед усіх тканин ока найбільшу чутливість в діапазоні 1–10 ГГц має кришталик. Сильні пошкодження кришталика зумовлені тепловим впливом НВЧ (при щільності потоку енергії понад 100 мВт/см^2). За малої

інтенсивності помутніння спостерігаються тільки у задній ділянці, за великої – по всьому об'єму кристаліка. Для попередження професійних захворювань, які виникають у результаті тривалої дії електромагнітних випромінювань, встановлені гранично допустимі рівні електромагнітних випромінювань, які необхідно контролювати не рідше 1 разу на рік. Якщо вводиться в дію новий об'єкт або здійснюється реконструкція діючих об'єктів, то заміри рівня електромагнітних випромінювань проводяться перед введенням їх в експлуатацію [16].

З метою попередження негативного впливу ЕМП на населення встановлюються гранично допустимі рівні (ГДР). На даний час наказом Міністерства охорони здоров'я України № 239 від 01.08.1996р. розроблені та затверджені «Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань». В Україні встановлений найбільш жорсткий гранично допустимий рівень ЕМП – 2.5 мкВт/см^2 . Для порівняння ГДР в Росії, Білорусії, Угорщини – 10 мкВт/см^2 , в окремих країнах Скандинавії – 100 мкВт/см^2 .

ГДР контролюються на етапі введення в експлуатацію, так званих радіотехнічних об'єктів (РТО). На всі РТО розробляються санітарні паспорти, в яких обмежуються потужність і кількість джерел ЕМВ. За два останні роки в області розроблено 435 санітарних паспортів на РТО.

Крім нормування ЕМП на етапі введення РТО в експлуатацію, рівні ЕМП контролюються в ході експлуатації РТО [21].

За ГДР прийняті такі значення напруженості електричного поля :

- всередині житлових будинків – $0,5 \text{ кВ/м}$;
- на території зони житлової забудови – 1 кВ/м ;
- у населеній місцевості, поза зоною житлової забудови, а також на території городів і садів – 5 кВ/м ;
- на ділянках перетину повітряної лінії з автомобільними шляхами I–IV категорій – 10 кВ/м ;
- у ненаселеній місцевості – 15 кВ/м ;

- у важкодоступній місцевості та на ділянках, спеціально відгороджених для виключення доступу населення – 20 кВ/м.

Граничнодопустимі рівні встановлені для електричного поля, не викривленого присутністю людини. Напруженість електричного поля визначається на висоті 1,8 м від рівня землі, для приміщень – від рівня підлоги.

Контроль за дотриманням ГДР напруженості електричного поля слід здійснювати:

- при прийманні в експлуатацію нових будинків, споруд і зон відпочинку та праці людей поблизу ЛЕПП;
- після проведення заходів щодо зниження рівнів електричного поля ЛЕПП.

Граничнодопустимі рівні напруженості електричного поля (електрична складова електромагнітного поля), що виражаються середньоквадратичним (ефективним) значенням, і рівень густини потоку енергії, який виражається середнім значенням, визначаються в залежності від частоти (довжини хвилі) та режиму випромінювання за таблицею 1.3 або за наведеними нижче залежностями.

Таблиця 5.3 – Граничнодопустимі рівні електромагнітних полів (безперервне випромінювання, амплітудна або кутова модуляція)

№ діапазону	Метричний розподіл діапазонів	Частоти	Довжини хвиль	ГДР
5	Кілометрові хвилі (низькі частоти, НЧ)	30-300 кГц	10-1 км	25 В/м
6	Гектаметрові хвилі (середні частоти, СЧ)	0,3-3 МГц	1-0,1 км	15 В/м
7	Декаметрові хвилі (високі частоти, ВЧ)	3-30 МГц	100-10 м	3 lg£ В/м
8	Метрові хвилі (дуже високі частоти, ДВЧ)	30-300 МГц	10+1 м	3 В/м

Граничнодопустимі рівні електромагнітних полів, які створюють телевізійні радіостанції в діапазоні частот від 48 до 1000 МГц, визначаються за такою формулою:

$$E_{\text{доп}} = 2 \cdot 1 \cdot f, \quad (5.1)$$

де $E_{\text{доп}}$ – ГДР напруженості електромагнітних полів (електричної складової електромагнітних полів), В/м;

f – несуча частота оцінюваного каналу (каналу зображення або звукового супроводу), МГц [22].

Захист людини від небезпечного впливу електромагнітного опромінення здійснюється рядом способів, основними з яких є:

- зменшення випромінювання безпосередньо від самого джерела,
- екранування джерела випромінювання,
- екранування робочого місця,
- поглинання електромагнітної енергії,
- індивідуальні засоби захисту.

Для реалізації цих методів застосовуються: екрани, поглинальні матеріали, атенюатори, еквівалентні навантаження та індивідуальні засоби. Екрани призначені для ослаблення електромагнітного поля у напрямку поширення хвиль. Ступінь ослаблення залежить від конструкції екрану і параметрів випромінювання. На ефективність екрану впливає також матеріал, з якого виготовлений екран. Товщина екрану, що забезпечує необхідне ослаблення, розраховується за спеціальною методикою. Часто для екранування застосовується металева сітка. Екрани з сітки мають ряд переваг. Вони проглядаються, пропускають потік повітря, дозволяють досить швидко ставити і знімати екрануючі пристрої. Як основний метод захисту в житлових умовах рекомендується використовувати захист відстанню [18].

Література

1. *Властивості та застосування бензолу [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.systopt.com.ua/vlastyvosti-ta-zastosuvannya-benzolu/>*
2. *Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра / укладачі: Р. О. Острога, М. С. Скиданенко, Я. Е. Михайловський, А. В. Іванія. – Суми : Сумський державний університет, 2019. – 32 с.*
3. *Иоффе И.Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии / И.Л. Иоффе. – Л. : Химия, 1991. – 352 с.*
4. *Плановский А. Н. Процессы и аппараты химической и нефтяной технологии / А. Н. Плановский, П. И. Николаев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1972. – 494 с.*
5. *Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М. : Химия, 1973. – 752 с.*
6. *Павлов К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии : Учебное пособие для вузов / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. – 10-е изд., перераб. и доп. – Л. : Химия, 1987. – 576 с.*
7. *Лащинский А. А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / А. А. Лащинский, А. Р. Толчинский. – Л. : Машиностроение, 1970. – 752 с.*
8. *Лащинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов : Справочник / А. А. Лащинский. – 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. Врагов, Я. Е. Михайловський, С. І. Якушко. – За ред. А. П. Врагова. – Суми : Вид-во СумДУ, 2008. – 170 с.*

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

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. *Негативний вплив електромагнітних полів на людину [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://oppb.com.ua/articles/negatyvnyu-vplyv-elektromagnitnyh-poliv-na-lyudynu>*

17. *Вплив електромагнітного випромінювання на здоров'я моряків [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.herald.com.ua/2013/03_12/Ignatev.htm*

18. *Електромагнітні випромінювання: дія на організм людини та методи захисту [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.kpi.kharkov.ua/archive/Conferences/Безпека%20людини%20в%20сучасних%20умовах/2015/VII-i%20міжнародна%20науково-методична%20конференція/ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ%20ВИПРОМІНЮВАННЯ%20ОДІЯ%20НА%20ОРГАНІЗМ%20ЛЮДИНИ.pdf>*

19. *Екологічно безпечне поводження з техногенними джерелами електромагнітного випромінювання [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://eprints.library.odku.edu.ua/1984/1/Ilyaschuk%20O.V.pdf>*

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

20. Оцінка рівня екологічної безпеки джерел електромагнітного випромінювання «Вінницяобленерго» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://inmad.vntu.edu.ua/portal/static/2F42738D-B95F-4A2A-94F0-B1569C4EF98B.pdf>

21. Електромагнітні поля та електромагнітні випромінювання [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://cgz.vn.ua/nformatsya-dlya-naselennya/nformatsya-dlya-naselennya_26.html

22. Нормування електромагнітного випромінювання [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://studfile.net/preview/8072677/page:2/>

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