

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
Кафедра «Хімічної інженерії»

**Кваліфікаційна робота бакалавра
Зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»**

Тема роботи: Ректифікаційна установка для розділення суміші бензол – толуол. Розробити тарілчасту ректифікаційну колону

Виконала:

Студентка групи ХМз-91с

Маляр О.В.

прізвище та ініціали

залікова книжка

№ 19510039

Захищений з оцінкою:

Керівник:

проф. Склабінський В. І.

посада, прізвище та ініціали

підпис викладача

СУМИ 2023

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Кафедра хімічної інженерії

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

Курс 4 Група ХМз – 91с Семестр 8

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Студентці Маляр Олександрі Валентинівні

1 Тема роботи: Ректифікаційна установка для розділення суміші бензол – толуол. Розробити тарілчасту ректифікаційну колону

2 Вихідні дані: Розробити ректифікаційну колону з ситчастими тарілками для розділення двокомпонентної суміші (бензол і толуол). Продуктивність 4000 кг/год. Вміст ЛЛК (% мол.): у початковій суміші – 30; у дистилаті – 94; у кубовому залишку – 5. Тиск у колоні – атмосферний. Питання до розділу «Охорона праці»: Організація пожежної охорони промислових підприємств. Протипожежні вимоги щодо забезпечення вимушеної евакуації людей із будівель.

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

1. Технологічна схема ректифікаційної установки – 0,5 арк.
2. Складальний кресленик ректифікаційної колони – 1,0 арк.
3. Складальні кресленики вузлів – 1,5 арк.

4 Рекомендована література: 1. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра / укладачі: Р. О. Острога, М. С. Скиданенко, Я. Е. Михайловський, А. В. Іванія. – Суми : СумДУ, 2019. – 32 с.

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 2022 р.

Керівник

підпис

проф. Склабінський В.І.

Зміст

Вступ.....	6
1 Технологічна частина.....	7
1.1 Опис технологічної схеми установки	7
1.2 Теоретичні основи процесу	8
1.3 Опис об'єкта розробки, вибір матеріалів	13
2. Технологічні розрахунки процесу і апарату.....	22
2.1 Матеріальний та тепловий баланс	22
2.2 Технологічні розрахунки	28
2.3 Конструктивні розрахунки	30
2.4 Гідравлічний опір апарата.....	37
2.5 Вибір допоміжного обладнання	42
3. Розрахунки апарата на міцність та герметичність.....	47
3.1 Розрахунок товщини стінки корпусу та кришки апарата.....	47
3.2 Розрахунок опори апарата.....	49
4 Монтаж та ремонт апарата.....	51
4.1 Монтаж апарата [14]	51
4.2 Ремонт апарата [14, 15]	53
5 Охорона праці.....	58
Список використаної літератури.....	62

XI.P.00.00.00 ПЗ

Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата			
Разраб.		Маляр			Лит.	Лист	Листов
Провер.		Складінський				5	62
Н. Контр.					ХМЗ-91с		
Чтв.							

Пояснювальна записка до дипломного проекту

Вступ

Хімічна галузь промисловості здійснює різноманітні процеси, під час яких сировина зазнає глибоких змін унаслідок хімічних взаємодій, що супроводжуються зміною агрегатного стану, внутрішньої структури та складу речовин.

Зазвичай включають багато фізичних і фізико-хімічних процесів, крім хімічних реакцій, що лежать в основі хіміко-технічних процесів.

До цих процесів відносяться: рух рідин і твердих тіл, стиснення і трансштуцерування газів, нагрівання і охолодження речовин, розділення рідин і газів, неоднорідних сумішей, випаровування розчинів, сушіння матеріалів. Спосіб реалізації процесу часто визначає доцільність, ефективність і прибутковість всього процесу. Отже, технології виробництва широкого спектру хімічних продуктів і матеріалів включають багато подібних фізичних і фізико-хімічних процесів, що характеризуються загальними закономірностями.

Одним з основних процесів хімічної промисловості є ректифікація, метою якої є розділення рідких сумішей з різними температурами кипіння. Розділення рідких однорідних двокомпонентних або багатоконпонентних розчинів і газових сумішей на окремі практично чисті компоненти або їх фракції шляхом ректифікації широко використовується як основний процес у багатьох галузях хімічної та нафтопереробної промисловості. Крім того, ректифікація використовується в лікєро-горілчаній промисловості, в техніці отримання рідкісних і дисперсних елементів, в установках для розділення природного газу і повітря.

До основних апаратів відносяться пластинчасті і колонні насадки. Процес відбувається безпосередньо на тарілках у тарілчастій колоні та в насадковому шарі в насадковій колоні.

					<i>XI.P.00.00.00. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>Немає докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>6</i>

1 Технологічна частина

1.1 Опис технологічної схеми установки

Принципова технологічна схема безперервно діючої ректифікаційної установки наведена на зображенні 1.1.

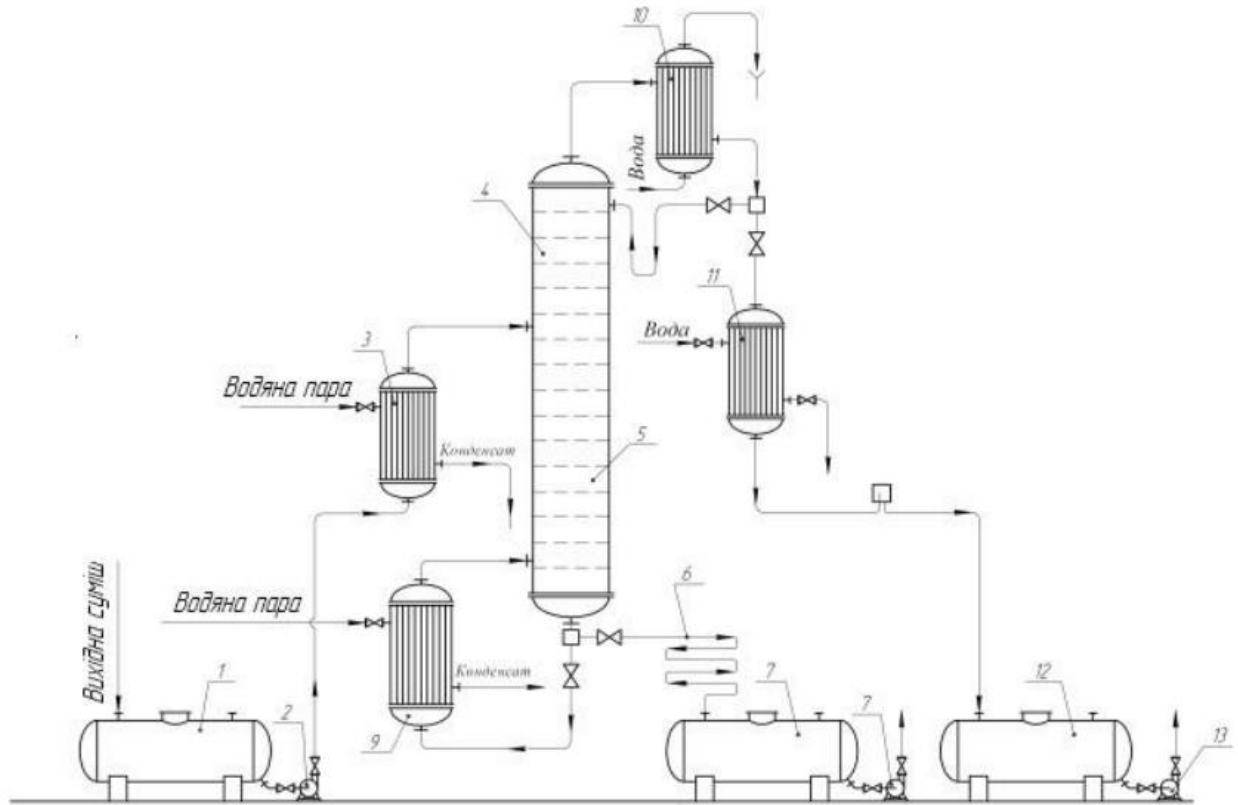


Рисунок 1.1. – Схема ректифікаційної установки безперервної дії:

1, 7, 12 - збірники-сховища; 2, 8, 13 - відцентрові насоси; 3 - підігрівач вихідної суміші; 4, 5 - верхня і нижня частини ректифікаційної колони; 6, 11 - холодильники; 9 - випарник; 10 – дефлегматор

Розчин, що виходить із стаціонарної ємності 1, направляється відцентровим насосом 2 в теплообмінник 3, а гріючий пар, що конденсується між трубками теплообмінника, нагріває його до температури кипіння. Підігрітий розчин надходить в ректифікаційну колону, що складається з 4 - нерухою верхньої частини і 5-ненавантаженої нижньої частини. В результаті поділу суміші з днища колони видаляється кубічний залишок, який

					<i>XI.P.00.00.00. ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	Немає докум.	Підпис	Дата		7

охладжується водою в теплообміннику 6 і відводиться в колектор 7, звідки перекачується в ресивер насосом 8. Частина кубового залишку відбирається з нижньої частини колони і направляється у випарник котла 9, де під дією теплоти конденсації грюючої пари, що подається в міжтрубний простір, куб. залишкова рідина кипить і утворює пару ВКК. Тому в нижній частині ректифікаційної колони відбувається процес дистиляції НКК і вихідний розчин стікає вниз.

У верхній частині башти проходить процес збагачення (підсилення) пари плаваючої НКК за рахунок багатоступінчастого контакту з пластинами і тече з харкотинням зверху вниз. Пари видаляються з верхньої частини колони і надходять у дефлегматор 10, де конденсуються в міжтрубних просторах дефлегматора за рахунок відводу тепла від руху холодоагенту-води в міжтрубних просторах. Частина утвореного конденсату видаляється і повертається в колону у вигляді шламу для промивання. Залишок — дистилят — далі охолоджується в холодильнику 11 і потрапляє в збірник 12 як готовий продукт з великою концентрацією НКК.

1.2 Теоретичні основи процесу

Ректифікація - це розділення рідкої гомогенної суміші на складові речовини або групи складових речовин шляхом протитечії пароподібної суміші і рідкої суміші. Процес ректифікації здійснюється в ректифікаційній установці, яка складається з ректифікаційної колони, фракційної колони, охолоджувача-конденсатора, підігрівача вихідної суміші, дистиляту і кубових залишків. Основним блоком установки є ректифікаційна колона, пара рідини піднімається знизу, рідина стікає вниз, зустрічається з парою вище і направляється у верхню частину установки у вигляді конденсату. У більшості випадків кінцевими продуктами є дистилят (пари летких компонентів, конденсовані у фракційній вежі у верхній частині) і хвосты (нелеткі рідкі компоненти в нижній частині).

Принципова схема протитечійної взаємодії пари і рідини на

					<i>XI.P.00.00.00. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>Немає докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>8</i>

ректифікаційній колоні наведена на малюнку 1.2.

Якщо Q кількість тепла ввести в кубічну частину колони, то рідина з концентрацією X_1 закипить і виділить газову фазу, що складається з G_p кількості U_1 , збагаченої НКК. Парова суміш перебуває в контактному пристрої-тарілці і пузириться через шар рідини на пластині. При взаємодії пари з рідиною відбувається часткове або повне скупчення пари, а концентрація НКК в рідині зростає до значення X_2 (повна конденсація). Під час конденсації пари виділяється теплота конденсації, під її впливом рідина кипить і виділяється нова багата НКК газова фаза. При цьому кипляча рідина збагачується ВКК і виходить через переливний пристрій. Потік пари з концентрацією U_2 надходить у верхню тарілку, повторюючи процес конденсації пари - кипіння рідини.

Цей процес повторюється по кілька разів по висоті колони пара з концентрацією НКК U_d переходить із верхньої пластини. Пара потрапляє в охолоджувач-конденсатор, з утворенням дистилляту. При цьому кубічний залишок G_w , який фактично є чистим ВКК, рухається знизу колони.

Отже, контактний пристрій-тарілку RECTIFIKAЦІЙНОЇ колони можна вважати як тепломасообмінний елемент конденсатора-випарника, в якому відбувається процес теплообміну (конденсація газової фази і випаровування рідини).

					<i>XI.P.00.00.00. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>Немає докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>9</i>

На кожній стадії контакту (на тарілці або на певній висоті соплового шару) пара з нижньої пластини конденсується, і під дією тепла конденсації рідина на тарілці кипить і виділяє збагачену НКК пару і піднімається до верхньої пластини, багата НКК рідина, що переливається через пристрій, стікає на підлогу. Процес розділення вихідної суміші на окремі, майже чисті компоненти або фракції компонентів поблизу точки кипіння в багатоступінчастому протиточному тепломасообмінному контакті між парою, що піднімається знизу вгору колони, і рідиною, що тече зверху вниз.

Ефективність процесу розділення бінарних сумішей у ректифікаційній колоні залежить від індивідуальних властивостей компонентів, тиску пари в колоні, типу контактуючого пристрою та інтенсивності потоку газорідинної фази на їх межі.

Метою розрахунку ректифікаційної колони є визначення температури процесу і відведеного тепла, швидкості газу, вибору форсунок (для форсунок колони) і типу пластини (для тарільчастих колон), розміру обладнання та гідравлічного опору.

При розрахунку ректифікаційної колони число фаз і склад зручніше виражати через молярну масу. Таким чином, можна припустити, що під час конденсації з пари n кмоль нелеткого компонента випаровується з рідини та n кмоль летючого компонента. Кількість фасок залишиться незмінною по всій висоті колони. Зробимо наступні припущення, які трохи спотворюють справжні умови процесу, але значно спрощують розрахунки:

1) склад пара, що виходить з колони в дефлегматор (y_d), і склад флегми, що повертається в колону (x_D), однакові, т. е. $y_d = x_D$;

2) склад пари, що піднімається з кип'ятильника в колону (y_w), дорівнює складу рідини в кубі-випарнику (x_w), т. е. $y_w = x_w$;

Матеріальний баланс колони ректифікації:

					<i>XI.P.00.00.00. ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	Немає докум.	Підпис	Дата		11

- по потокам:

$$G_f = G_d + G_w; \quad (1.1)$$

- по легколеткому компоненту:

$$G_f x_f = G_d x_d + G_w x_w; \quad (1.2)$$

де G_f , G_d , G_w , - масові та молярні витрати флегми, дистилляту і кубового залишку;

x_f , x_d , x_w , - зміст легколеткого компонента в флегми, дистилляті, кубовому залишку, відповідно.

Тепловий баланс ректифікаційної колони.

Для колони безперервної дії з урахуванням втрат теплоти в навколишнє середовище маємо:

прихід теплоти:

з гріючою парою в кубі випарника Q_k , з вихідною сумішшю:

$$Q_F = G_F I_F; \quad (1.3)$$

витрата теплоти: з водою конденсуються в дефлегматорі пари Q_D з дистилляту:

$$Q_D = G_D I_D; \quad (1.4)$$

З кубовим залишком:

$$Q_w = G_w I_w; \quad (1.5)$$

де I_D , I_F , I_w - ентальпія дистилляту, вихідної суміші, кубового залишку. Таким чином, рівняння теплового балансу має вигляд:

					<i>XI.P.00.00.00. ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	Немає докум.	Підпис	Дата		12

$$Q_k + Q_F = Q_w + Q_D + Q_{\text{пот}}; \quad (1.6)$$

Де $Q_{\text{пот}}$ – втрати в навколишнє середовище;

Підставляючи замість Q їх значення вирішимо рівняння теплового балансу щодо Q_k :

$$Q_k = G_D (R + 1)r_D + G_D I_D + G_w I_w - G_F I_F + Q_{\text{пот}}; \quad (1.7)$$

1.3 Опис об'єкта розробки, вибір матеріалів

Тарілчата колона є основним масообмінним пристроєм. Досить поширеними в промисловості стали тарілчасті масообмінні барботажні колони з переливними тарілками і ступінчастим контактом. Зазвичай пристрій заземлення має циліндричну форму, а контактний пристрій заземлення встановлено на циліндрі. Основними контактними елементами плитної колони є пластини різного типу. Найчастіше використовуються такі типи плит: сітчасті пластини, кришки, клапанні пластини, жалюзійні пластини, струменеві пластини, сітчасті пластини тощо. Досі не розроблено загальних і досить об'єктивних критеріїв вибору типу плати для того чи іншого процесу. У цьому важливу роль відіграють традиції, сформовані в організаціях-постачальниках, які базуються на багаторічній надійній експлуатації розробленого ними обладнання для переміщення мас.

Об'єкт проектування, ректифікаційна колона (рисунок 1.3), являє собою вертикальний апарат з циліндричним корпусом, що складається з окремих царг, які з'єднані між собою болтовими фланцевими сполуками, або виконаним суцільнозварним з приварним днищем, кришка і корпус роз'ємно з'єднані за допомогою фланцевого з'єднання.

У середині царг горизонтально встановлені контактні пристрої у вигляді сітчастих тарілок.

					<i>XI.P.00.00.00. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>Немає докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		13

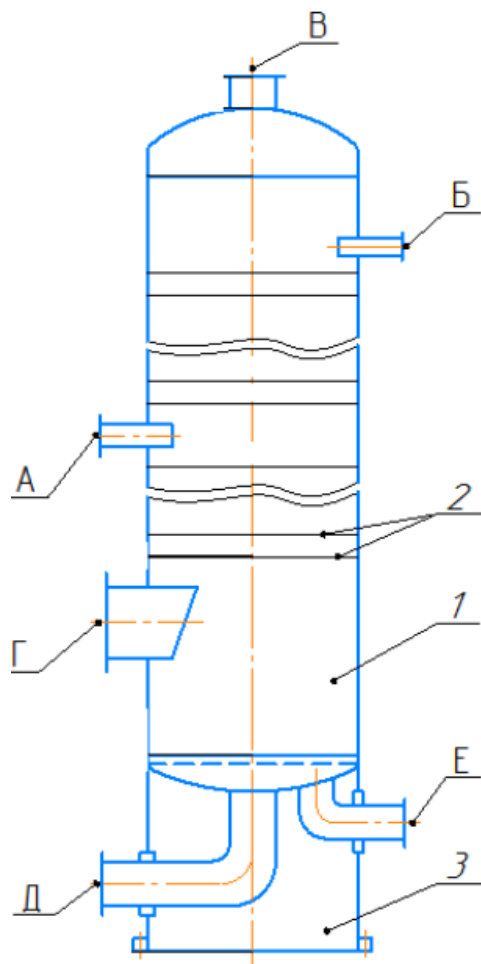


Рисунок 1.3 – Ректифікаційна колона з сітчастими тарілками 1 – корпус; 2 – тарілки; 3 – циліндрична опора.

Штуцери: А – для входу живлення; Б – для входу флегми; В – для виходу пару флегми и дистилляту; Г – для входу паро-рідинної суміші з випарника; Д – для виходу кубового залишку на циркуляцію (в випарник); Е – для виходу кубового залишку

За допомогою тарілок генеруються спрямований фазовий рух і різні взаємодії рідина-пар. Схема роботи тарілки показана на малюнку. 1.4.

Тиск і швидкість пари, що проходить через отвори в тарілці, повинні бути достатніми для подолання тиску шару рідини на тарілку і створення опору її протіканню через отвори. Шпон повинен бути встановлений горизонтально, щоб водяна пара могла проходити через усі отвори на торцевій кришці для

забезпечення стабільної роботи шпону. Рідина перетікає від однієї тарілки до іншої через проточні канали, кінці яких занурені в рідину, що заповнює чашки нижньої тарілки, створюючи гідрозатвор і перешкоджаючи протіканню газу через форсунки.

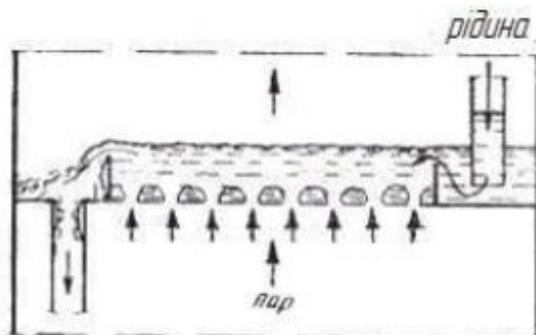


Рисунок 1.4 – Схема роботи тарілки

Колона оснащена штуцерами для підключення обладнання до технологічного трубопроводу і до технологічної лінії: введення сировини і виведення продукції, регулятор рівня в нижній частині колони, термометр.

Знизу до стовпа приварюється опорна частина. Опорна секція має лаз і отвір для зливу сміття з трубопроводу. Для кріплення до землі опорна частина оснащена ніжками у формі столу, що складаються з верхнього опорного елемента та двох ребер.

Сировина надходить у середню частину у вигляді пари, рідини або суміші пари та рідини, і її потрібно розділити на дві частини з високою температурою кипіння та низькою температурою кипіння.

Пар і рідина, що надходять на пластину, не знаходяться в стані рівноваги, але, вступаючи в зіткнення, прагнуть до цього стану.

Вихідна суміш надходить у ректифікаційну колону на живильній тарілці через У-образне з'єднання. Майже чистий ВК видаляється з колони через з'єднання А. Низькокиплячі виводяться з колони через штуцер Д. Штуцер Б

					<i>XI.P.00.00.00. ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	Немає докум.	Підпис	Дата		15

використовується для подачі колони конденсату в колону дистиляції. Термінал Г використовується для подачі пари в колону.

Вихідна суміш через штуцер У надходить в колону ректифікації на живильну тарілку. Через штуцер А з колони видаляється практично чистий ВК. Низько-киплячі компонент видаляється з колони через штуцер Д. Штуцер Б служить для подачі в колону флегми. Штуцер Г служить для подачі в колону пара.

Конструктивно ситчасті тарілки є найпростішими і являють собою диски або їх окремі частини – секції, виготовлені із тонколистового металу товщиною $\delta = 1-3$ мм і перфоровані отворами. Отвори на тарілках можуть бути круглими діаметром $d_0 = 2-8$ мм, просічними або просічно-витягнутими шириною 2–4 мм і довжиною 10–25 мм. Круглі отвори найчастіше розміщують у шаховому порядку з кроком $t = (2, 0 - 5)d_0$. Робоча площа тарілки становить близько 80 % загальної площі поперечного перерізу колони. Живий перетин тарілки – сумарна площа отворів на тарілці – звичайно складає 8–12 % площі всієї тарілки, відповідно робоча швидкість газу (пари) в отворах тарілки в 8 – 12 разів вища швидкості газу у вільному перетині масообмінної колони.

На протилежних сторонах пластини є приймальна кишеня і перелив, через який рідина перетікає з пластини над нею на пластину під нею. Площа, займана переливним пристроєм, приблизно однакова і становить близько 20% від загальної площі поперечного перерізу колони. Висота шару легкої рідини на тарілці регулюється за допомогою переливних планок, встановлених збоку зливної труби, діапазон вибору 20-50 мм.

					<i>XI.P.00.00.00. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>Немає докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		16

відбувається інтенсивний масообмін і масоперенесення з газової фази в рідку фазу. Сила масопереносу залежить від швидкості газу в порах пластини, діаметра бульбашок газу, висоти шару рідини на пластині і природи взаємодіючих фаз.

Частина ректифікаційної колони над подачею сировини називається секцією збагачення (інтенсифікації), а частина під нею — споживчою.

У башті розташовані сполучні пристрої та технологічні трубопроводи, а також пристосування для підключення технологічних трубопроводів: вхід сировини і вихід продукту, регулятор рівня рідини в нижній частині башти, термометр. Для забезпечення ефективної роботи колонного апарату також необхідно передбачити надійні розподільні засоби, за допомогою яких потоки рідини і пари вводяться в апарат, і засоби для видалення цих потоків з апарату.

При конструюванні хімічної апаратури до конструкційних матеріалів пред'являються наступні основні вимоги:

- достатня загальна хімічна і корозійна стійкість матеріалів в агресивному середовищі з заданими концентрацією, температурою і тиском;
- достатня механічна міцність при заданих тиску і температурі технологічного процесу;
- найкраща здатність матеріалу зварюватись із забезпеченням високих механічних властивостей зварних з'єднань і корозійної стійкості їх в агресивному середовищі.

Відповідно до рекомендацій [1, С. 328], для даної двокомпонентної суміші із заданими концентраційно-температурними характеристиками рекомендовані стійкі в даному середовищі та рекомендовані для проектування хімічного обладнання марки сталі: ОХ13, 1Х13, Х17. , ОХ17Т, 10Х18Н9ТЛ, 12Х18Н10Т.

					<i>XI.P.00.00.00. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>Немає докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		18

Розглянувши якісно-експлуатаційні характеристики запропонованих марок сталі, їх механіко-технологічні властивості та загальну оцінку корозійної стійкості [1, с. 68-79], ми обрали сталь 12Х18Н10Т. Ця марка сталі використовується для виготовлення основних вузлів проектного обладнання [1, с. 24-29, табл. 2.1], [2, С. 26-27, табл. 3.2].

Важливим критерієм при виборі будівельного матеріалу є його економічність. Сталь 12Х18Н10Т дешевша і менш рідкісна.

Сталь 12Х18Н10Т – конструкційна сталь високої якості, вміст вуглецю 0.12%, масова частка хрому 18%, 10% нікелю та приблизно 1% титану. В таблиці 1.1 – 1.5 наведені властивості сталі 12Х18Н10Т

Таблиця 1.1– Фізичні властивості сталі 12Х18Н10Т

Фізичні властивості сталі 12Х18Н10Т						
T (Град)	E·10 ⁻⁵ (МПа)	α·10 ⁶ (1/Град)	l (Вт/(м·град))	γ (кг/м ³)	C (Дж/(кг·град))	R·10 ⁹ (Ом·м)
20	1.98		15	7920		725
100	1.94	16.6	16		462	792
200	1.89	17	18		496	861
300	1.81	17.2	19		517	920
400	1.74	17.5	21		538	976
500	1.66	17.9	23		550	1028
600	1.57	18.2	25		563	1075
700	1.47	18.6	27		575	1115
800		18.9	26		596	
900		19.3				

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сталі 12Х18Н10Т

Стандарт	Стан поставки, режими термообробки	Перетин, мм	$\sigma_{0,2}$ (МПа)	σ_B (МПа)	δ_5 (%)	ψ %
ISO 8741:2012	Прутки. Загартування 1020-1100 °С, повітря, масло або вода.	60	196	510	40	55
ISO 11565:2013	Прутки шліфовані, оброблені на задану міцність. Прутки загартовані.	- До 5	- -	590-830 930	20 -	- -
ISO 24511:2007 (Образцы поперечные)	Листи гарячекатані і холоднокатані: - гарт 1000-1080 °С, вода або повітря. - м 1050-1080 °С, вода або повітря. - загартовані	Св. 4 До 3,9 До 3,9	236 205 -	530 530 880-1080	38 40 10	- - -
ISO 15190:2014	Поковки. Загартування 1050-1100 °С, вода або повітря.	До 1000	196	510	35	40
ISO 607:2016	Дріт термооброблений.	1,0-6,0	-	540-880	20	-
ISO 683-1:2016	Труби безшовні гарячодеформовані без термообробки	3,5-32	-	529	40	-

Таблиця 1.3 – Механічні властивості 12Х18Н10Т при випробуваннях на тривалу міцність

Механічні властивості 12Х18Н10Т при випробуваннях на тривалу міцність (ISO 8741:2012)				
Температура випробування, °С	Межа повзучості, МПа	Швидкість повзучості %/год	Межа тривалої міцності, МПа, не	Тривалість випробування, год

2. Технологічні розрахунки процесу і апарату

2.1 Матеріальний та тепловий баланс

Розрахунок ведеться згідно з методикою, наведеною в [3]. Позначимо масову витрату через G_D , кубовий залишок G_W . Висловимо концентрації, дистиляті і кубового залишку в масових частках:

$$\bar{x}_f = x_f \cdot \frac{M_{\text{ЛЛК}}}{M_f} = x_f \cdot \frac{M_{\text{ЛЛК}}}{M_{\text{ЛЛК}} \cdot x_f + M_{\text{ВЛК}} \cdot (1 - x_f)}, \quad (2.1)$$

$$\bar{x}_f = 0,3 \cdot \frac{78}{78 \cdot 0,3 + 92 \cdot (1 - 0,3)} = 0,267;$$

$$\bar{x}_d = x_d \cdot \frac{M_{\text{ЛЛК}}}{M_d} = x_d \cdot \frac{M_{\text{ЛЛК}}}{M_{\text{ЛЛК}} \cdot x_d + M_{\text{ВЛК}} \cdot (1 - x_d)}, \quad (2.2)$$

$$\bar{x}_d = 0,94 \cdot \frac{78}{78 \cdot 0,94 + 92 \cdot (1 - 0,94)} = 0,93;$$

$$\bar{x}_w = x_w \cdot \frac{M_{\text{ЛЛК}}}{M_w} = x_w \cdot \frac{M_{\text{ЛЛК}}}{M_{\text{ЛЛК}} \cdot x_w + M_{\text{ВЛК}} \cdot (1 - x_w)}, \quad (2.3)$$

$$\bar{x}_d = 0,05 \cdot \frac{78}{78 \cdot 0,05 + 92 \cdot (1 - 0,05)} = 0,043.$$

де M_f , M_d , M_w , $M_{\text{ЛЛК}}$, $M_{\text{ВЛК}}$ – мольні маси відповідно вихідної суміші, дистиляту, кубового залишку, легколеткого і важколеткого компонентів, , $M_{\text{ЛЛК}}=78$ кг/кмоль $M_{\text{ВЛК}}=92$ кг/кмоль.

З рівняння матеріального балансу визначимо масові витрати дистиляту і кубового залишку:

$$G_d = G_f \cdot \frac{\bar{x}_f - \bar{x}_w}{\bar{x}_d - \bar{x}_w}, \quad (2.4)$$

$$G_d = 4000 \cdot \frac{0,267 - 0,043}{0,93 - 0,043} = 1010 \text{ кг / год}$$

					<i>XI.P.00.00.00. ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	Немає докум.	Підпис	Дата		22

І кубового залишку

$$G_w = G_f \cdot \frac{\bar{X}_d - \bar{X}_f}{\bar{X}_d - \bar{X}_w}, \quad (2.5)$$

$$G_d = 4000 \cdot \frac{0,93 - 0,267}{0,93 - 0,043}, = 2990 \text{ кг / год}$$

Секундні витрати становлять:

$$G_D = 1010 / 3600 = 0,28 \text{ кг / с}$$

$$G_W = 1990 / 3600 = 0,83 \text{ кг / с}$$

$$G_f = 4000 / 3600 = 1,11 \text{ кг / с}$$

Визначимо робочі параметри процесу. Рівняння робочої лінії для Z-процесу [4, стор 49, табл.А.5] Маємо рівноважний склад (моль %) і температуру кипіння (t) (°C), заносимо в таблицю 2.1:

Таблиця 2.1 – Рівноважні склади рідини (x) і пара (y) в мольних%, і температури кипіння (t) в °C суміші бензол - толуол при атмосферному тиску

x	y	t
0	0	110,6
5	11,5	108,3
10	21,4	106,1
20	38	102,2
30	51,1	98,6
40	61,9	95,2

Продовження таблиці 2.1:

x	y	t
50	71,2	92,1
60	79	89,4
70	85,4	86,8
80	91	84,4
100	100	80,2

За даними таблиці 2.1 будемо криву рівноваги суміші бензол - толуол.

Відносно молярна витрата живлення становить:

$$F = \frac{x_d - x_w}{x_f - x_w}, \quad (2.6)$$

$$F = \frac{0,94 - 0,05}{0,3 - 0,05} = 3,56$$

Мінімальне флегмове число визначимо за рівнянням:

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

$$R_{\min} = \frac{0,94 - 0,535}{0,535 - 0,3} = 1,72$$

де $y_f = 0,535$ - молярна частка толуолу в парі, рівноважному з рідиною живлення, визначається по діаграмі у-х.

Робоче флегмове число визначимо за залежністю:

$$R = 1,3 \cdot R_{\min} + 0,3 \quad (2.8)$$

$$R = 1,3 \cdot 1,72 + 0,3 = 2,54$$

Величина робочого числа мокротиння має вирішальний вплив на розмір ректифікаційної колони і дозволяє розрахувати масову швидкість потоку мокротиння, що стікає через колону:

$$G_R = R \cdot G_d \quad (2.9)$$

$$G_R = 2,54 \cdot 1010 = 2565,4 \text{ кг / год}$$

$$G_R = 2565,4 / 3600 = 0,71 \text{ кг / с}$$

і парів, що піднімаються,

$$G_v = G_R + G_d = (R + 1) \cdot G_d, \quad (2.10)$$

$$G_v = (2,54 + 1) \cdot 1010 = 3575,4 \text{ кг / год}$$

$$G_v = 3575,4 / 3600 = 0,99 \text{ кг / с}$$

Рівняння робочих ліній:

– для верхньої частини колони:

$$y'_f = \frac{R}{R + 1} \cdot x + \frac{x_d}{R + 1}, \quad (2.11)$$

$$y'_f = \frac{2,54}{2,54 + 1} \cdot x + \frac{0,94}{2,54 + 1} = 0,72 \cdot x + 0,266$$

– для нижньої частини колони:

$$y''_f = \frac{F + R}{R + 1} \cdot x_f + \frac{F - 1}{R + 1} \cdot x_w, \quad (2.12)$$

$$y''_f = \frac{2,54 + 3,56}{2,54 + 1} \cdot x_f + \frac{3,56 - 1}{2,54 + 1} \cdot 0,05 = 1,7 \cdot x - 0,036.$$

Визначення фізико-хімічних властивостей компонентів бінарної суміші "бензол-толуол".

Наносимо на графік стан робочої лінії. Відклавши на осі ординат 0,266 (26,6%), проводимо робочу лінію АВ на верхній частині циліндра. Через точки А і С проводимо робочу лінію для низу стовпа.

Середні мольні концентрації рідини визначимо за середньоарифметичними залежностями:

– у верхній частині колони:

$$x'_{cp} = \frac{(x_f + x_d)}{2} \quad (2.13)$$

$$x'_{cp} = \frac{(0,3 + 0,94)}{2} = 0,62$$

– у нижній частині колони:

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

$$x''_{cp} = \frac{(0,3 + 0,05)}{2} = 0,175$$

Середні мольні концентрації парової фази визначають за рівняннями робочих ліній:

– у верхній частині колони:

$$y'_f = 0,72 \cdot x'_{cp} + 0,266, \quad (2.15)$$

$$y'_f = 0,72 \cdot 0,62 + 0,266 = 0,712$$

– у нижній частині колони:

					<i>XI.P.00.00.00. ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	Немає докум.	Підпис	Дата		26

$$y_f'' = 1,7 \cdot x_{cp}'' - 0,036, \quad (2.16)$$

$$y_f'' = 1,7 \cdot 0,175 - 0,036 = 0,262$$

Середні температури пара знаходимо з таблиці 2.1 методом інтерполяції

При $y_f' = 0,712$ $t' = 91,7^\circ\text{C}$

При $y_f' = 0,262$ $t' = 104,7^\circ$

Середні мольні маси парів та їх щільність розрахуємо за залежностями:

– у верхній частині колони:

$$M'_{cp} = y'_{cp} M_{ллк} + (1 - y'_{cp}) M_{влк}, \quad (2.17)$$

$$M'_{cp} = 0,712 \cdot 78 + 0,288 \cdot 92 = 82 \text{ кг / кмоль}$$

$$\rho'_y = \frac{M'_{cp} \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + t'_y)}, \quad (2.18)$$

$$\rho'_y = \frac{82 \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + 91,7)} = 2,74 \text{ кг / м}^3$$

– у нижній частині колони:

$$M''_{cp} = y''_{cp} M_{ллк} + (1 - y''_{cp}) M_{влк}, \quad (2.19)$$

$$M''_{cp} = 0,262 \cdot 78 + 0,738 \cdot 92 = 88,33 \text{ кг / кмоль}$$

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

$$\rho''_y = \frac{88,33 \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + 104,7)} = 2,85 \text{ кг / м}^3$$

Температура зверху колони при $x_D = 0,94$ дорівнює $81,3\text{ }^\circ\text{C}$, а в кубі випарника при $x_w = 0,05$ дорівнює $108,3\text{ }^\circ\text{C}$. Щільність бензолу при $81,3\text{ }^\circ\text{C}$ $\rho_{\text{ЛЛК}} = 815\text{ кг / м}^3$, толуолу при $108,3\text{ }^\circ\text{C}$ $\rho_{\text{ВЛК}} = 810\text{ кг / м}^3$ (4, с. 49, табл. А.5).

Мольна маса вихідної суміші і дистилляту:

$$M_f = M_{\text{ЛЛК}} \cdot x_f + M_{\text{ВЛК}} \cdot (1 - x_f), \quad (2.21)$$

$$M_f = 78 \cdot 0,3 + 92 \cdot 0,7 = 87,8\text{ кг / кмоль}$$

$$M_d = M_{\text{ЛЛК}} \cdot x_d + M_{\text{ВЛК}} \cdot (1 - x_D), \quad (2.22)$$

$$M_d = 78 \cdot 0,94 + 92 \cdot 0,06 = 78,8\text{ кг / кмоль}$$

В'язкість рідких шарів обчислимо за формулою (4, табл.11)

$$\lg \mu_x = x_{\text{cp}} \cdot \lg \mu_{\text{ЛЛК}} + (1 - x_{\text{cp}}) \cdot \lg \mu_{\text{ВЛК}}, \quad (2.23)$$

де $\mu_{\text{ЛЛК}}$ і $\mu_{\text{ВЛК}}$ - в'язкість бензолу та толуолу при температурі суміші.

$$\mu_{\text{ЛЛК}} = 0,261 \cdot 10^{-3}\text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$\mu_{\text{ВЛК}} = 0,271 \cdot 10^{-3}\text{ Па} \cdot \text{с}.$$

2.2 Технологічні розрахунки

Приймаємо відстань $H = 400\text{ мм}$ між плитами. Величина коефіцієнта C залежить від структури тарілок, відстані між тарілками.

					<i>XI.P.00.00.00. ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	Немає докум.	Підпис	Дата		28

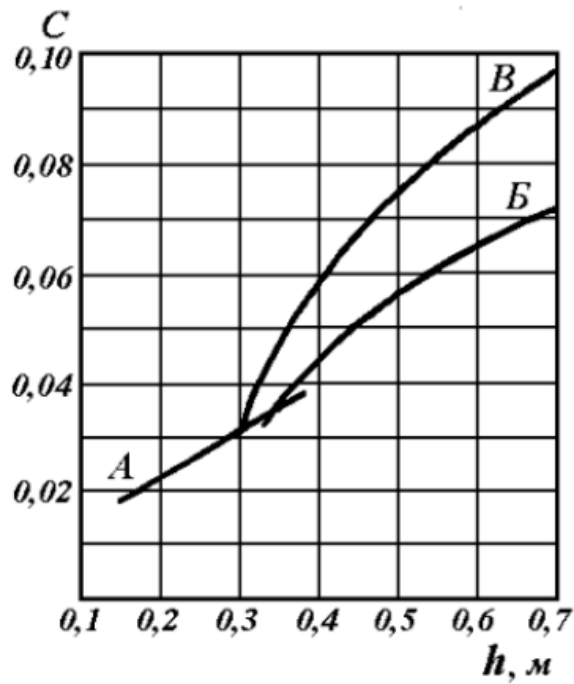


Рисунок 2.1 – Значення коефіцієнта С: А, Б – ковпачкові тарілки; В – ситчасті тарілки

Значення коефіцієнта С приймаємо $C = 0,06$.

Граничну швидкість пари в тарілчастій колоні розрахуємо за формулою:

$$w_{гр} = C \cdot \sqrt{\frac{\rho_x - \rho_y}{\rho_y}} \approx C \cdot \sqrt{\frac{\rho_x}{\rho_y}} \quad (2.24)$$

– у верхній частині колони

$$w'_{гр} \approx 0,06 \cdot \sqrt{\frac{815 - 2,74}{2,74}} = 1,03 \text{ м / с}$$

– у нижній частині колони

$$w''_{гр} \approx 0,06 \cdot \sqrt{\frac{810 - 2,85}{2,85}} = 1 \text{ м / с}$$

Середній масовий потік в колоні

$$G' = G_d \cdot (R + 1) \cdot \frac{M'_{\text{сп}}}{M_{\text{ллк}}} \quad (2.25)$$

$$G' = 0,28 \cdot (2,54 + 1) \cdot \frac{82}{78} = 1,04 \text{ кг / с}$$

$$G'' = G_d \cdot (R + 1) \cdot \frac{M'_{\text{сп}}}{M_{\text{влк}}} \quad (2.25)$$

$$G'' = 0,28 \cdot (2,54 + 1) \cdot \frac{88,33}{92} = 0,95 \text{ кг / с}$$

2.3 Конструктивні розрахунки

Відношення масових витрат рідкої і парової фаз дорівнює:

– у верхній частині колони

$$\left(\frac{L}{G}\right)' = \frac{G_R}{G_V} = \frac{R}{R + 1} \quad (2.27)$$

– у нижній частині колони

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

$$\left(\frac{L}{G}\right)' = \frac{G_R}{G_V} = \frac{2,54}{2,54 + 1} = 0,72$$

$$\left(\frac{L}{G}\right)'' = \frac{G_R + G_f}{G_V} = \frac{2,54 + 3,56}{2,54 + 1} = 1,72$$

Об'ємну витрату парів визначимо за рівнянням:

– у верхній частині колони

					<i>XI.P.00.00.00. ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	Немає докум.	Підпис	Дата		30

$$V' = G_V / \rho'_y \quad (2.29)$$

$$V' = 3575,4 / 2,74 = 1304,9 / 3600 = 0,36 \text{ м}^3 / \text{с}$$

– у нижній частині колони

$$V'' = G_V / \rho''_y \quad (2.30)$$

$$V'' = 3575,4 / 2,85 = 1254,5 / 3600 = 0,35 \text{ м}^3 / \text{с}$$

Діаметр колони ректифікації визначаємо з рівняння витрати (5, с. 51, табл. А.7):

–для верхньої частини колони

$$D' = \sqrt{\frac{4 \cdot G'}{\pi \cdot w'_{\text{гп}} \cdot \rho_y}}, \quad (2.31)$$

$$D' = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,04}{3,14 \cdot 1,03 \cdot 2,74}} = 0,69 \text{ м}$$

$D' = 800 \text{ мм};$

–для нижньої частини колони

$$D'' = \sqrt{\frac{4 \cdot G''}{\pi \cdot w''_{\text{гп}} \cdot \rho_y}}, \quad (2.32)$$

$$D'' = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,95}{3,14 \cdot 1 \cdot 2,85}} = 0,65 \text{ м}$$

$D'' = 800 \text{ мм};$

Приймаємо стандартне значення діаметра колони, однакове для верхньої

					<i>XI.P.00.00.00. ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	Немає докум.	Підпис	Дата		31

та нижньої частини $D=800$ мм. При цьому фактичні швидкості руху пари в башті будуть рівні між собою.

$$w' = w'_{\text{гр}} \cdot \left(\frac{D'}{D} \right)^2, \quad (2.33)$$

$$w' = 1,03 \cdot \left(\frac{0,69}{0,8} \right)^2 = 0,77 \text{ м / с}$$

$$w'' = w''_{\text{гр}} \cdot \left(\frac{D''}{D} \right)^2, \quad (2.34)$$

$$w'' = 1 \cdot \left(\frac{0,65}{0,8} \right)^2 = 0,68 \text{ м / с}$$

Для плитних колон кількість теоретичних пластин визначається графічно з діаграми у-х (див. рис. 2.2). Для цього між робочою лінією і лінією балансу побудуємо ступінчасту лінію, що складається з горизонтальних і вертикальних відрізків. Кількість кроків відповідає кількості теоретичних тарілок N_m .

					<i>XI.P.00.00.00. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>Немає докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		32

$$\alpha' = 1081 / 480 = 2,25$$

Динамічний коефіцієнт в'язкості бензону дорівнює $\mu_{\text{ллк}} = 0,293 \cdot 10^{-3}$ Па·с,
толуолу $\mu_{\text{влк}} = 0,299 \cdot 10^{-3}$ Па·с.

Динамічний коефіцієнт в'язкості вихідної суміші

$$\ln \mu_f = x_{\text{ср}} \cdot \lg \mu_{\text{ллк}} + (1 - x_{\text{ср}}) \cdot \lg \mu_{\text{влк}}, \quad (2.36)$$

$$\ln \mu_f = 0,3 \cdot \lg(0,293 \cdot 10^{-3}) + 0,7 \cdot \lg(0,299 \cdot 10^{-3})$$

Звідки

$$\mu_f = 0,296 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Тоді

$$\alpha' \mu_f = 2,25 \cdot 0,296 = 0,67$$

За графіком (2, рис. 7.4) знаходимо $\eta = 0,48$.

Довжина шляху рідини н тарілці (3, табл. 86) $L_{\text{ж}} = 0,59$ м.

За графіком (2, рис. 7.5) знаходимо значення поправки на довжину шляху
 $\Delta = 0$.

Середній ККД тарілок:

$$\eta = 0,49 \cdot (\mu_f \cdot \alpha)^{-0,245} \quad (2.37)$$

$$\eta = 0,49 \cdot (0,296 \cdot 2,25)^{-0,245} = 0,54$$

Тоді число тарілок:

– у верхній частині колони

$$N'_\partial = 8 / 0,54 = 15;$$

– у нижній частині колони

$$N'_\partial = 4 / 0,54 = 8;$$

Загальні число тарілок $N_\partial = 23$, з запасом $N_\partial = 25$, з них у верхній частині колони, з них у верхній частині колони $N_{\partial'} = 16$ і в нижній частині $N_{\partial''} = 9$.

Висота тарілчастої колони залежить від числа дійсних тарілок N_∂ і прийнятої відстані між ними H :

$$H_m = (N_\partial - 1) \cdot H, \quad (2.38)$$

$$H_m = (25 - 1) \cdot 0,4 = 9,6 \text{ м}$$

Діаметр штуцера:

$$d = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot w}}, \quad (2.39)$$

де V -об'ємна витрата відповідного середовища, $\text{м}^3/\text{с}$; w - швидкість руху середовища, $\text{м}/\text{с}$.

Діаметр штуцера для введення вихідної суміші:

$$d = \sqrt{\frac{G_f}{0,785 \cdot w \cdot \rho_{\text{ж}}}}, \quad (2.40)$$

де $w = 0,8-1,5 \text{ м}/\text{с}$ [3]; приймаємо $w = 0,8 \text{ м}/\text{с}$.

Визначимо щільність рідини в штуцері введення вихідної суміші:

$$d = \sqrt{\frac{1,11}{0,785 \cdot 820 \cdot 1}} = 0,041 \text{ м}$$

					<i>XI.P.00.00.00. ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	Немає докум.	Підпис	Дата		35

Приймаємо $d_y = 50$ мм [2, с. 175, табл. 10.2].

Діаметр штуцера для введення флегми:

$$d = \sqrt{\frac{G_R}{0,785 \cdot w \cdot \rho'_x}}, \quad (2.41)$$

де $w = 1$ м/с

$$d = \sqrt{\frac{0,71}{0,785 \cdot 810 \cdot 1}} = 0,033 \text{ м}$$

Приймаємо $d_y = 40$ мм [2, с. 175, табл. 10.2].

Діаметр штуцера для відведення кубової рідини з колони:

$$d = \sqrt{\frac{G_w}{0,785 \cdot w \cdot \rho''_x}}, \quad (2.42)$$

де $w = 1$ м/с

$$d = \sqrt{\frac{0,83}{0,785 \cdot 815 \cdot 1}} = 0,036 \text{ м}$$

Приймаємо $d_y = 40$ мм [2, с. 175, табл. 10.2].

Діаметр штуцера для підведення пари:

$$d = \sqrt{\frac{G_w}{0,785 \cdot w \cdot \rho''_y}}, \quad (2.43)$$

де $w = 10-20$ м/с [3]; приймаємо $w = 15$ м/с.

$$d = \sqrt{\frac{0,83}{0,785 \cdot 2,85 \cdot 15}} = 0,16 \text{ м}$$

Приймаємо $d_y = 200$ мм [2, с. 175, табл. 10.2].

Діаметр штуцера для відведення пари з верхньої частини колони:

$$d = \sqrt{\frac{G_d}{0,785 \cdot w \cdot \rho'_y}}, \quad (2.44)$$

де $w = 15$ м/с.

$$d = \sqrt{\frac{0,28}{0,785 \cdot 2,74 \cdot 15}} = 0,093 \text{ м}$$

Приймаємо $d_y = 100$ мм [2, с. 175, табл. 10.2].

2.4 Гідравлічний опір апарата

Гідравлічний розрахунок проводимо у відповідності до методики [6].

Обчислимо гідравлічний опір ситчастої тарілки у верхній і нижній частинах колони:

$$\Delta p_{\text{заг}} = \Delta p_{\text{сух}} + \Delta p_{\sigma} + \Delta p_{\text{пр}}, \text{ Па} \quad (2.45)$$

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.

Гідравлічний опір сухої тарілки:

$$\Delta p_{\text{сух}} = \xi \cdot \frac{\rho_{\text{п}} \cdot w_{\text{отв}}^2}{2}, \quad (2.46)$$

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

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

Швидкість пари в отворах тарілки:

					<i>XI.P.00.00.00. ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	Немає докум.	Підпис	Дата		37

$$w_{\text{отв}} = \frac{W}{F} \quad (2.47)$$

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

F – вільний перетин тарілки (сумарна площа отворів); $F=5,14\%$ [6].

Опір, зумовлений силами поверхневого натягу:

$$\Delta p_{\sigma} = \frac{4 \cdot \sigma}{d_0} \quad (2.48)$$

де $\sigma = 20,5 \cdot 10^{-3}$ Н/м – поверхневий натяг рідини при середній температурі у верхній частині колони [13];

$\sigma = 18,5 \cdot 10^{-3}$ Н/м – поверхневий натяг рідини при середній температурі у нижній частині колони [13];

$d_0 = 0,004$ м – діаметр отворів тарілки [6].

Опір парорідинного шару на тарілці

$$\Delta p_{\text{пр}} = 1,3 \cdot h_{\text{пр}} \cdot \rho_{\text{пр}} \cdot g \cdot k, \text{ Па} \quad (2.49)$$

Де $h_{\text{пр}}$ – висота парорідинного шару, м.

$$h_{\text{пр}} = h_{\text{п}} + \Delta h \quad (2.50)$$

де $h_{\text{п}}$ – висота зливної перегородки, м;

Δh – висота шару над зливною перегородкою, м.

$$\Delta h = \left(\frac{V_p}{1,85 \cdot \Pi \cdot k} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (2.51)$$

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

Π – периметр зливної перегородки, м;

$k = \rho_{\text{пр}} / \rho_p$ – відношення густини парорідинного шару (піни) до густини рідини, $k \approx 0,5$ [6].

Об'ємна витрата рідини:

$$V_p = \frac{G_D \cdot R \cdot M}{M_D \cdot \rho_p} \quad (2.52)$$

де R – флегмове число;

M_{cp} – середня мольна маса рідини, кг/кмоль.

Периметр зливної перегородки знаходимо, розв'язуючи систему рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} \left(\frac{\Pi}{2} \right)^2 + (R - b)^2 = R^2 \\ 0,1 \cdot \pi \cdot R^2 = \frac{2}{3} \cdot \Pi \cdot b \end{array} \right. \quad (2.53)$$

де R=0,5 м – радіус тарілки;

$\frac{2}{3} \cdot \Pi \cdot b$ – наближене значення площі сегмента.

Умова нормальної роботи тарілок:

$$H_m > 1,8 \cdot \frac{\Delta p}{\rho_p \cdot g} \quad (2.54)$$

де H – міжтарілчаста відстань, м.

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

$$w_{\text{оmin}} = 0,67 \cdot \sqrt{\frac{g \cdot \rho_p \cdot h_{\text{ип}}}{\xi \cdot \rho_{\Pi}}} \quad (2.55)$$

Верхня частина колони

Швидкість пари в отворах тарілки:

$$w_{\text{отв}} = \frac{0,52}{0,0514} = 10,1 \text{ м/с}$$

Гідравлічний опір сухої тарілки:

$$\Delta p_{\text{сух}} = 1,82 \cdot \frac{2,76 \cdot 10,1}{2} = 256 \text{ Па}$$

Опір, зумовлений силами поверхневого натягу:

					<i>XI.P.00.00.00. ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	Немає докум.	Підпис	Дата		39

$$\Delta p_{\sigma} = \frac{4 \cdot 20,5 \cdot 10^{-3}}{0,004} = 20,5 \text{ Па}$$

Об'ємна витрата рідини:

$$V_p = \frac{999 \cdot 3,075 \cdot 82,2}{3600 \cdot 78,8 \cdot 803} = -1,11 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$$

Розв'язавши систему рівнянь (2.51), отримуємо: $\Pi=0,73$ м, $b=0,161$ м.

Висота шару над зливною перегородкою

$$\Delta h = \left(\frac{1,11 \cdot 10^{-3}}{1,85 \cdot 0,73 \cdot 0,5} \right)^{\frac{2}{3}} = 0,014 \text{ м}$$

Висота пароріднинного шару, м.

$$h_{\text{пр}} = 0,04 + 0,014 = 0,054 \text{ м}$$

Опір пароріднинного шару на тарілці:

$$\Delta p_{\text{пр}} = 1,3 \cdot 0,054 \cdot 803 \cdot 9,81 \cdot 0,5 = 276 \text{ Па}$$

Загальний гідравлічний опір тарілки у верхній частині колони:

$$\Delta p_{\text{заг}} = 256 + 20,5 + 276 = 552,5 \text{ Па}$$

Загальний гідравлічний опір у верхній частині колони становить:

$$\Delta p' = \Delta p'_{\text{заг}} \cdot N'_d \quad (2.55)$$

$$\Delta p' = 552,5 \cdot 16 = 8840 \text{ Па}$$

Нижня частина колони

Швидкість пари в отворах тарілки:

$$w_{\text{отв}} = \frac{0,51}{0,0514} = 9,9 \text{ м/с}$$

Гідравлічний опір сухої тарілки:

$$\Delta p_{\text{сух}} = 1,82 \cdot \frac{2,85 \cdot 9,9}{2} = 254 \text{ Па}$$

Опір, зумовлений силами поверхневого натягу:

$$\Delta p_{\sigma} = \frac{4 \cdot 18,5 \cdot 10^{-3}}{0,004} = 18,5 \text{ Па}$$

					<i>XI.P.00.00.00. ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	Немає докум.	Підпис	Дата		40

Об'ємна витрата рідини:

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

$$V_p = \left(\frac{999 \cdot 3,075}{78,8} + \frac{4000}{87,8} \right) \cdot \frac{88,5}{3600 \cdot 786} = 2,6 \cdot 10^{-3}; \text{ м}^3/\text{с}$$

Висота шару над зливною перегородкою

$$\Delta h = \left(\frac{2,6 \cdot 10^{-3}}{1,85 \cdot 0,73 \cdot 0,5} \right)^{\frac{2}{3}} = 0,025 \text{ м}$$

Висота пароріднинного шару, м.

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

Опір пароріднинного шару на тарілці:

$$\Delta p_{пр} = 1,3 \cdot 0,065 \cdot 786 \cdot 9,81 \cdot 0,5 = 326 \text{ Па}$$

Загальний гідравлічний опір тарілки у верхній частині колони:

$$\Delta p''_{заг} = 254 + 18,5 + 326 = 598,5 \text{ Па}$$

Загальний гідравлічний опір у нижній частині колони становить:

$$\Delta p'' = \Delta p''_{заг} \cdot N''_d \quad (2.56)$$

$$\Delta p'' = 598,5 \cdot 1,3 = 7780 \text{ Па}$$

Перевіримо умову нормальної роботи тарілки нижньої частини колони, у якої гідравлічний опір більший, аніж у тарілки верхньої частини:

$$1,8 \cdot \frac{\Delta p''}{\rho_p \cdot g} = 1,8 \cdot \frac{598,5}{786 \cdot 9,81} = 0,14$$

Це підтверджує правильність прийнятої раніше відстані між тарілками $H_T = 400$ мм, оскільки $0,4 > 0,14$.

Перевіримо рівномірність роботи тарілок:

$$w_{\text{оmin}} = 0,67 \cdot \sqrt{\frac{9,81 \cdot 786 \cdot 0,065}{1,82 \cdot 2,85}} = 6,59 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$9,9 \text{ м/с} > 6,59 \text{ м/с}$ – отже, тарілки працюватимуть усіма отворами. Загальний гідравлічний опір колони:

					<i>XI.P.00.00.00. ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	Немає докум.	Підпис	Дата		41

$$\Delta p = \Delta p' \cdot \Delta p''$$

$$\Delta p = 8840 \cdot 7780 = 16620 \text{ Па}$$

2.5 Вибір допоміжного обладнання

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

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

Діаметр трубопроводу визначаємо за рівнянням:

$$d = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot w}}, \quad (2.57)$$

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

$$V = \frac{4000}{3600 \cdot 800} = 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 / \text{с}$$

$$d = \sqrt{\frac{1,4 \cdot 10^{-3}}{0,785 \cdot 2}} = 0,03 \text{ м.}$$

Приймаємо стандартизований діаметр трубопроводу 32 мм.

Визначаємо критерій Рейнольдса для рідини у трубопроводі:

$$Re = \frac{w \cdot d \cdot \rho}{\mu}, \quad (2.58)$$

$$Re = \frac{2 \cdot 0,032 \cdot 810}{2,71 \cdot 10^{-4}} = 191291,5$$

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

					<i>XI.P.00.00.00. ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	Немає докум.	Підпис	Дата		42

$$e = \frac{\Delta}{d} = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{0,032} = 0,00625; \quad (2.59)$$

$$\frac{1}{e} = 160; \quad 560 \cdot \frac{1}{e} = 89600; \quad 10 \cdot \frac{1}{e} = 1600;$$

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

Для зони, що є автомодельною по відношенню до Re:

$$\lambda = 0,11 \cdot e^{0,25}, \quad (2.60)$$

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

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° $\xi_2 = 2 \cdot 1,1 = 2,2$.

$$\sum \xi = \xi_1 + \xi_2, \quad (2.61)$$

$$\sum \xi = 0,5 + 2,2 = 2,7$$

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 з $\xi = 3,05$;
- 4) вихід з труби з $\xi = 1$.

$$\sum \xi = \xi_1 + \xi_2 + \xi_3 + \xi_4, \quad (2.62)$$

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

Втрату напору у всмоктуючій лінії знаходимо за рівнянням:

$$h_{\text{п.всм}} = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d_E} + \sum \xi \right) \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g}, \quad (2.63)$$

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

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

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:

$$h = h_{\text{п.нап}} + h_{\text{п.всм}}, \quad (2.64)$$

$$h = 1,1 + 3,0 = 4,1 \text{ м.}$$

Знаходимо напір насосу за рівнянням:

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho_{\text{ж}} \cdot g} + H_{\Gamma} + h_{\text{п}}, \quad (2.65)$$

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.

					<i>XI.P.00.00.00. ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	Немає докум.	Підпис	Дата		44

$$H = 5 + 4,1 = 9,1 \text{ м.}$$

Корисну потужність насосу визначаємо за рівнянням:

$$N_{\Pi} = \rho_p \cdot g \cdot V \cdot H, \quad (2.66)$$

$$N_{\Pi} = 810 \cdot 9,81 \cdot 1,39 \cdot 10^{-3} \cdot 9,1 = 100 \text{ Вт.}$$

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

$$N = \frac{N_{\Pi}}{\eta_{\text{пер}} \cdot \eta_{\text{н}}}, \quad (2.67)$$

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

$$N = \frac{100}{1 \cdot 0,6} = 166,6 \text{ Вт.}$$

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 насос 7,5 кВт; частота обертів 1450 об/хв.

Розрахунок і вибір ємності для вихідної суміші [11. Місткість зберігання попередньої суміші розраховується виходячи з резерву робочого часу 6-8 годин і враховує коефіцієнт заповнення $\psi = 0,8 \dots 0,85$. Приймаємо $\psi = 0,83$

Розрахунковий об'єм ємності:

$$V_{\text{ем}} = \frac{G \cdot \tau}{\psi \cdot \rho}, \quad (2.68)$$

$$V_{\text{ем}} = \frac{4000 \cdot 7}{0,82 \cdot 810} = 41,65 \text{ м}^3.$$

					<i>XI.P.00.00.00. ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	Немає докум.	Підпис	Дата		45

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

$$H = \frac{V_{\text{ем}}}{0,785 \cdot D^2}, \quad (2.69)$$

$$H = \frac{41,65}{0,785 \cdot 3,6^2} = 4,09 \text{ м.}$$

					<i>XI.P.00.00.00. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>Немає докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		46

3. Розрахунки апарата на міцність та герметичність

3.1 Розрахунок товщини стінки корпусу та кришки апарата

Основні розрахункові параметри: робоча температура навколишнього середовища $t=105^{\circ}\text{C}$. Припустимо, що стіна працює на 5°C холодніше: $t=100^{\circ}\text{C}$. Робочий тиск в апараті $P=0,1\text{МПа}$. Відповідно до рекомендацій, наведених у [13], розрахунковий тиск для обладнання з робочим надлишковим тиском $P > 0,07\text{МПа}$ становитиме:

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

Приймаємо стандартне значення $0,25\text{МПа}$.

Пробний при гідравлічному випробуванні тиск згідно [13] складе:

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

де $[\sigma]_{20}$, $[\sigma]$ – допустиме напруження для матеріалу корпусу при розрахунковій температурі і температурі 20°C , згідно [13]:

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

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

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

$$E_{20} = 2 \cdot 10^5\text{ МПа}, [\sigma] = 2 \cdot 10^5\text{ МПа}$$

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

Розрахунок товщини стінки обичайки корпусу.

Товщина стінки циліндричної обичайки, навантаженої внутрішнім надлишковим тиском:

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

					<i>XI.P.00.00.00. ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	Немає докум.	Підпис	Дата		47

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

Виконавча товщина стінки:

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

де C – загальне значення прибавки, яка складається зі складових:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 \quad (3.5)$$

де C_1 – прибавка на корозію і ерозію, при проникності $\Pi = 0,1$ мм/рік та терміні служби колони $\tau = 15$ років складе

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

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 и C_3 враховуються лише в тому випадку, коли сума їх перевищує 5 % від розрахункової товщини обичайки.

$$C = 1,5 + 0 + 0 = 1,5 \text{ мм}$$

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

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

Допустимий внутрішній надлишковий тиск:

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

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

Умова міцності має вигляд:

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

Умова міцності виконується.

Розрахунок товщини стінки днища.

					<i>XI.P.00.00.00. ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	Немає докум.	Підпис	Дата		48

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

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

де R – радіус кривизни в вершині днища; для еліптичних днищ $R = D$.

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

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

$$C = 1,5 + 0 + 0 = 1,5 \text{ мм}$$

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

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

Допустимий внутрішній надлишковий тиск:

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

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

що більше пробного, а отже, умова міцності виконується.

3.2 Розрахунок опори апарата

Визначимо навантаження порожнього апарату на опору по формулі:

$$Q_{\text{ап}} = M_{\text{ап}} \cdot g \quad (3.9)$$

де $M_{\text{ап}}$ – маса порожнього апарату;

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

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

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

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

					<i>XI.P.00.00.00. ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	Немає докум.	Підпис	Дата		49

$$M_k = 16,1 \cdot 3,14 \cdot 1,0 \cdot 0,004 \cdot 7800 = 1577 \text{ кг}$$

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

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

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

Маса тарілок:

$$M_m = N \cdot m_m \quad (3.13)$$

де $m_m = 41,5 \text{ кг}$ – маса однієї тарілки.

$$M_m = 29 \cdot 41,5 = 1204 \text{ кг}$$

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

Маса порожнього апарату:

$$M_{\text{ап}} = 1577 + 2 \cdot 36 + 1204 + 1000 = 3853 \text{ кг}$$

$$Q_{\text{ап}} = 3853 \cdot 9,81 = 37798 \text{ Н}$$

Навантаження апарату на опору під час гідравлічних випробувань:

$$Q''_{\text{ап}} = (M_{\text{ап}} + M_{\text{в}}) \cdot g, \quad (3.14)$$

де $M_{\text{в}}$ – маса залитої в апарат води.

$$M_{\text{в}} = V \cdot \rho_{\text{в}} \quad (3.15)$$

де V – об'єм апарату

$$V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H = \frac{3,14 \cdot 1,0^2}{4} 16,1 = 12,6 \text{ м}^3$$

$$M_{\text{в}} = 12,6 \cdot 1000 = 12600 \text{ кг}$$

$$Q''_{\text{ап}} = (3853 + 12600) \cdot 9,81 = 161404 \text{ Н.}$$

Виходячи з $Q_{\text{max}}=Q_{\text{ап}}$ і $Q_{\text{min}}=Q_{\text{ап}}$, за таблицями [13] вибираємо циліндричну опору третього типу: 3-1000-30-15-350.

4 Монтаж та ремонт апарата

4.1 Монтаж апарата [14]

Під час монтажу ректифікаційної колони необхідно встановити її на підходящу основу та підключити всі необхідні трубопроводи та прилади контролю. Після встановлення необхідно налаштувати обладнання та перевірити його працездатність.

Важливо правильно підібрати матеріали для виготовлення колони та її компонентів, так як бензол та толуол є агресивними хімічними речовинами, які можуть взаємодіяти з матеріалами та викликати корозію.

Також необхідно враховувати умови експлуатації ректифікаційної колони, такі як тиск, температура та потоки, щоб гарантувати її довговічність та ефективність.

Після монтажу та налаштування обладнання, оператори повинні стежити за процесом роботи колони та контролювати його параметри, щоб гарантувати ефективне розділення бензолу та толуолу.

Монтажні роботи є невід'ємною частиною процесу будівництва підприємства або одного з його об'єктів. встановлення обладнання при будівництві та реконструкції нових об'єктів. У двох останніх випадках передують демонтаж обладнання.

Монтажний майданчик оснащений необхідними механізмами та підйомним обладнанням. Зазвичай це канати, троси, стропи, поліспасти та підйомники, підйомники та лебідки всіх типів, підйомні пристрої та механізми. Елементи такелажу повинні бути простими у виготовленні, трансштурцерованні, установці, перестановці та демонтажі та, звичайно, безпечними у використанні.

Монтаж важкого обладнання на фундаменти можна здійснити в повністю зібраному вигляді або блоками шляхом нарощування.

Тарілчаста ректифікаційна колона доставляється на місце установки в максимально готовому вигляді (або в максимально великому блоці, якщо немає можливості трансштурцеровати повністю зібраний агрегат). Перед відправкою на монтажний майданчик завод-виробник повинен виконати контрольовану

					<i>XI.P.00.00.00. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>Немає докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		51

збірку обладнання, застосувавши необхідні монтажні осі та контрольні лінії.

Збірка колонного вузла відбувається безпосередньо за кріпленням, розташованим над центром ваги, за допомогою підйомного механізму (стріловий кран, щогла тощо). Підвіска обладнання здійснюється за допомогою верхньої частини, тому для зміцнення в горизонтальному положенні його прив'язують до кутів або проходів.

Складність, з якою колонний апарат може бути встановлений на проектному місці, залежить від його розміру (висота та діаметр), ваги та висоти фундаменту.

Існує два основних способи підйому : розсувний і поворотний на шарнірі. Запроектований колонний апарат має велику масу, а її підйом забезпечується двома щоглами, що полегшує установку пристрою на фундамент. Перед підйомом установіть обладнання якомога ближче до фундаменту. Щогла встановлюється вертикально або з невеликим нахилом по обидва боки від фундаменту. Необхідність нахилу щогли залежить від довжини самого обладнання, його положення відносно фундаменту, положення і висоти щогли, яка використовується для схеми підвіски.

Переконавшись у надійності такелажу та перевіривши роботу всіх механізмів, приступили до підйому обладнання. До опорної частини обладнання прикріплюють один або два натяжні канати, вільні кінці натяжних канатів намотують на барабан лебідки, і обладнання починає рух. При цьому його опорна частина ковзає по заздалегідь підготовлених полицях - на візках або простирадлах. Після відриву від землі блок встановлюється вертикально, потім трохи піднімається над фундаментом і плавно опускається на анкерні болти. Потім контролюють відхилення обладнання від вертикального напрямку і затягують анкерні болти.

Особливо ретельно вивіряють колонний пристрій біля основи, так як навіть незначні відхилення від суворо вертикального положення можуть призвести до помітної втрати стійкості і нормальної роботи внутрішнього контактного пристрою (в нашому випадку клапанної тарілки). Для тарілчастої

					<i>XI.P.00.00.00. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>Немає докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		52

ректифікаційної колони гранично допустиме відхилення у вертикальному напрямку становить 0,1% від висоти апарату, але не більше 15 мм.

Обладнання кріпиться до фундаменту анкерними болтами і покривається бетонною сумішшю.

Після встановлення обладнання на фундамент перевіряють, чи відповідає його положення в просторі проекту та чи відхилення від вертикального або горизонтального напрямку знаходиться в допустимих межах. Допуски на точність монтажу зазвичай встановлюються згідно з вимогами пасптуцера обладнання та інструкції з монтажу. Спочатку регулюють позначку на опорній частині обладнання до проектної висоти. Фактичний рівень несучої поверхні, а також рівність обладнання визначається за допомогою рівня.

Коли колонна установка готова до обслуговування, тиск всередині колони доводять до атмосферного, вуглеводні видаляють з установки і колони парою. Водяна пара витісняє залишки токсичних сполук, щоб концентрація шкідливих і легкозаймистих речовин не перевищувала гранично допустимих концентрацій (ГДК). Після випаровування колонку промивають водою. У деяких випадках пропарювання і полоскання чергують кілька разів.

Промивання колонки водою також сприяє прискоренню охолодження. Ремонтні роботи не починають, якщо температура води перевищує 50°C.

Випарена та очищена колона, від'єднана від усього обладнання та зв'язків за допомогою заглушок, встановлених на фланцевих з'єднаннях адаптерів. Встановлення та подальше видалення кожної заглушки фіксується в спеціальному журналі.

4.2 Ремонт апарата [14, 15]

Існує дві основні фази організації робіт з технічного обслуговування: підготовка та виконання. Відповідно до планово-попереджувальної системи підготовка ремонтних робіт включає наступні етапи:

- конструкторсько-технологічну
- організаційно-планову підготовку.

розрахунків за фактичні години роботи обладнання з моменту останнього ремонту, а фактичний стан обладнання може бути уточнений за результатами технічного огляду. Повинен бути порушений цикл технічного обслуговування, передбачений стандартом.

Організація ремонтних робіт. Залежно від того, яку частину ремонтних робіт виконують загальні відділи заводів і майстерень ремонтної промисловості, організаційні форми технічного обслуговування і ремонту на підприємствах поділяють на три види:

- Централізовану;
- Децентралізовану;
- Змішану.

Щоб приступити до обслуговування колонки, її необхідно відкрити відповідно до правил техніки безпеки. Перед відкриттям верхнього люка необхідно вводити пари в обладнання для запобігання аспірації та утворення вибухонебезпечних сумішей. Люки необхідно відкривати послідовно зверху вниз, при цьому верхній і нижній люки не можна відкривати одночасно або спочатку нижній, а потім верхній.

Колона повинна бути вентилярована, а після вентиляції потрібно зібрати проби повітря з різних висот, щоб проаналізувати наявність шкідливого газу. Після перевірки та аналізу встановлено, що концентрація шкідливих газів не перевищує нормативу до експлуатації в башті.

Після цього необхідно ретельно оглянути колону як зовні, так і всередині на наявність будь-яких дефектів. Знімають внутрішні елементи колони лише за необхідності. Після виявлення дефекту визначається спосіб ремонту корпусу.

Зношену арматуру і люки замінюють новими арматурою і люками, вирізаючи і встановлюючи підсилювальні кільця. При цьому діаметр кільця нового фітинга більше, ніж у старого, тому його можна приварити на новому місці. Суцільна зварна стійка не розбирається повністю, знімається лише внутрішня стійка.

					<i>XI.P.00.00.00. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>Немає докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		55

Випробування для ректифікаційної колони можуть бути наступними:

- Гідравлічне випробування - це перевірка герметичності ректифікаційної колони під тиском. Для цього колону заповнюють рідким середовищем і підвищують тиск у колонці до потрібного значення. Під час перевірки перевірте наявність витоків, які можуть призвести до небезпечної ситуації.

- Рентгенівське випробування - це перевірка на наявність тріщин, внутрішніх дефектів та інших дефектів матеріалу колони. Для цього на колонку наносять спеціальну емульсію для виявлення дефектів під впливом рентгенівського випромінювання.

- Випробування на міцність - це тест на механічну міцність ректифікаційної колони. Для цього колони піддаються навантажень, що перевищують гранично допустимі значення для забезпечення безпеки при експлуатації. Це дозволяє виявити слабкі місця в конструкції і відсутність деформації.

- Випробування на відповідність стандартам - це перевірка колони на відповідність встановленим специфікаціям і стандартам якості. Це включає перевірку розмірів, геометрії, обробки поверхні та інших параметрів, які впливають на продуктивність і безпеку колони.

Залежно від типу ректифікаційної колони та її призначення можуть бути й інші види випробувань. Наприклад:

- Тестування на ефективність - це перевірка того, наскільки ефективно колонка виконує свої функції. Для цього вони можуть використовувати стандартні розчини з відомими параметрами та складом і перевіряти якість отриманої продукції.

- Тестування на стійкість до корозії - це перевірка на здатність дистиляційної колони протистояти агресивному середовищу, яке може спричинити корозію. З цією метою колони піддаються дії висококіслотних рідин

або газів та інших корозійних компонентів.

- Тестування на стійкість до температурних змін – це перевірка здатності дистиляційної колони витримувати зміни температури, які можуть виникати під час роботи. Для цього колонку піддають випробуванню температурним циклом від найнижчої робочої температури до найвищої робочої температури.

Всі ці випробування дозволяють перевірити якість і надійність ректифікаційної колони і гарантують її безпечну роботу.

										Лист
										57
Изм.	Лист	Немає докум.	Підпис	Дата	<i>XI.P.00.00.00. ПЗ</i>					

5 Охорона праці

На промислових підприємствах пожежна безпека є одним з найважливіших аспектів роботи з охорони праці. Відповідно до інструкцій з пожежної безпеки підприємств, установ і організацій, затверджених МНС України, керівництво підприємств повинно забезпечити виконання вимог протипожежного захисту згідно з наказом від 26.09.2018: «Про затвердження Правил пожежної безпеки в компаніях, на підприємствах та в організаціях енергетичної галузі України».

Забезпечення пожежної безпеки підприємств здійснюють такі виробничі підрозділи:

- Технічні системи забезпечення надійності обладнання, використання технологій безпеки, визначення кількості вибухонебезпечних та пожежонебезпечних речовин, проектні рішення, впровадження систем виявлення та пожежогасіння тощо;
- Персонал, його навчання, положення та правила роботи;
- Система управління.

Передбачається, що впровадження системи управління пожежною безпекою призведе до підвищення пожежної безпеки. Організація протипожежних заходів на підприємстві має бути першочерговим завданням підрозділів, структурних підрозділів, пожежних підрозділів і кадрів з метою забезпечення контролю і відповідності показників пожежної небезпеки вимогам пожежної безпеки, системам пожежної безпеки, аналізу пожежної небезпеки, вимогам пожежної безпеки. Охоронний стан об'єкта, спеціальна підготовка персоналу, прийняття, прийняття та реалізація рішень щодо запобігання, розгортання та придушення для забезпечення безпеки персоналу та навколишнього середовища.

Рівень деталізації та складності EMS, а також обсяг необхідної документації та ресурсів залежатимуть від рівня ризику пожежі та розміру та характеру діяльності підприємства.

Управління національною системою пожежної безпеки здійснюється

					<i>XI.P.00.00.00. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>Немає докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>58</i>

Національною пожежною службою та іншими державними адміністративними органами.

Підприємства повинні забезпечувати функціонування системи управління пожежною безпекою та кадровими, матеріальними та фінансовими ресурсами, необхідними для проведення робіт з пожежної безпеки

Управління пожежною безпекою здійснюється шляхом зміни стану підприємств (об'єктів) і переведення їх у менш небезпечні стани.

Ключові особливості СУБП:

1. Кількісна оцінка ризику (імовірність пожежі).

Математичний розрахунок ризику з урахуванням його значення при плануванні розгортання та ліквідації надзвичайних ситуацій і НС, протипожежний захист, заводські сертифікати, декларації безпеки небезпечних промислових об'єктів, оцінка впливу на навколишнє середовище.

2. Правила пожежної безпеки.

Розробляє, впроваджує та контролює виконання загальнодержавних та відомчих нормативних документів, директив, постанов та інших документів з питань пожежної безпеки, визначає та створює системи протипожежного захисту.

3. Забезпечувати пожежну безпеку технологічних процесів, виробничого обладнання, будівель і споруд.

Систематично аналізувати пожежну небезпеку та розробляти та впроваджувати відповідні протипожежні заходи. Повне та своєчасне виконання приписів органів державного пожежного нагляду.

4. Розробка та впровадження планів запобігання пожежам та зменшення збитків.

Постійно вдосконалювати умови протипожежного захисту та технічну систему підприємства, включаючи вдосконалення системи протипожежного захисту, підвищення кваліфікації та навчання працівників, удосконалення правил пожежної безпеки. Створіть план реагування на пожежу на основі передового

					<i>XI.P.00.00.00. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>Немає докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		59

досвіду, досліджень і розробок залучених компаній, вимог державного пожежного департаменту, їх фінансування та нагляд за виконанням.

5. Створення пожежної охорони, пожежної служби, забезпечення та організація їх діяльності.

Розробляти та затверджувати відповідні записи, плани та робочі документи. Визначення, створення та впровадження механізмів реалізації функціональності. Фінансове, матеріально-технічне та кадрове забезпечення.

6. Створювати та організовувати роботу добровільних пожежних дружин та пожежно-технічних комітетів.

Підготовка та рішення щодо створення ДПД та ПТК. Визначити та затвердити його склад. Розробляйте, впроваджуйте та контролюйте обов'язки та робочі плани членів.

7. Організувати навчання основ пожежної безпеки та протипожежну рекламу.

Визначити рівень підготовки з пожежної безпеки для кожної посадової особи та працівника. Розробити та затвердити плани. Планувати, організувати та проводити інструктаж з питань пожежної безпеки.

8. Порядок дій у разі пожежі та надзвичайної ситуації.

Захищати особовий склад, локалізувати та ліквідувати пожежі та надзвичайні ситуації заздалегідь виробленими та підготовленими силами та засобами за заздалегідь розробленими планами.

9. Покращення.

Розробити та визначити план реалізації, створити систему стимулювання дій щодо забезпечення пожежної безпеки на всіх ділянках роботи, забезпечити контроль прийняття рішень та поточної діяльності всіх учасників процесу.

Органами управління АНБ є:

- генеральний директор;
- керівники структурних та обслуговуючих підрозділів;

									Лист
									60
Изм.	Лист	Немає докум.	Підпис	Дата	XI.P.00.00.00. ПЗ				

- пожежні експерти;
- призначення осіб, відповідальних за пожежну безпеку;
- Пожежно-технічна комісія;
- Добровільні пожежні (команди);
- транспортні послуги;
- Безпека.

Організація пожежної охорони підприємства включає створення пожежної документації, встановлення технічних засобів пожежогасіння, навчання та навчання працівників, контроль за дотриманням вимог протипожежного захисту.

Однією з важливих вимог протипожежного захисту є забезпечення обов'язкової евакуації людей із будівель у разі виникнення пожежі. Відповідно до ДБН В.2.2-12: 2014 [15] «Житлові та громадські будинки. Пожежна безпека» та ДСН 3.3.6.042-99 [16] «Пожежна безпека. Принципи евакуації при пожежі в будівлях і спорудах», підприємства повинні скласти детальний план евакуації, включаючи шляхи евакуації, пункти збору та евакуаційні проходи, і вивісити план евакуації на видному місці. Також слід проводити регулярні тренування з евакуації для перевірки роботи аварійних виходів та протипожежних засобів.

Тому організація протипожежної роботи промислових підприємств, дотримання вимог протипожежного захисту, забезпечення обов'язкової евакуації персоналу є важливими аспектами забезпечення безпеки виробництва та життя персоналу підприємства. Дотримання цих вимог може допомогти запобігти та уникнути трагічних наслідків пожеж та врятувати життя.

Вимоги щодо пожежної безпеки будівель промислових підприємств та обов'язкової евакуації персоналу деталізовано у вищевказаних документах: «Правила пожежної безпеки на підприємствах» та ДБН В.2.2-12: 2014 та ДСН 3.3.6.042-99.

					<i>XI.P.00.00.00. ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	Немає докум.	Підпис	Дата		61

Список використаної літератури

1. Лашинський А.А., Толчинський А.Р. Основи конструювання і розрахунку хімічної апаратури. Л., 1976.
2. Лашинський А.А. Конструювання зварних хімічних апаратів. Л., «Машинобудування», 1981.
3. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков П.А. Приклади і задачі по курсу процесів і апаратів хімічної технології. К., «Хімія», 1987.
4. Врагов А.П., Михайловський Я.Е. Оптимізаційне проектування ректифікаційних колон з використанням ПЕОМ: Навчальний посібник. - Суми: Вид-во СумДУ, 2000. - 65 с.
5. Методичні рекомендації та контрольні завдання для самостійної роботи з курсу "Процеси та обладнання хімічних виробництв". Частина 2 Масообмінні процеси і обладнання / Упоряд. : А.П. Врагов, Я.Е. Михайловський.- Суми: Вид-во СумДУ, 2002 - 55 с.
6. Машины та апарати хімічних виробництв. Приклади і задачі. За заг. ред. Соколова Л.М., 1982.
7. ГОСТ 14249-89. Судини і апарати. Норми і методи розрахунку на міцність. - М. : Державний комітет стандартів, 1989. - 33с.
8. Основні процеси та апарати хімічної технології. : Посібник з проектування / За ред. Ю.І.Дитнерского.- М. : Хімія, 1991.
9. Основні процеси та апарати хімічної технології: Посібник з проектування під ред. Дитнерский М. Хімія 1991-466с.
10. Загальні методичні вказівки до Виконання комплексного курсового проекту з дисциплін за професійним безпосередньо 0902 "Інженерна механіка" зі спеціальності 6.090220 "Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів" / Укладачі: С.М. Яхненко, С.І Якушко. - Суми: СумДУ, 2007. – 27
11. Машины и аппараты химических производств / под ред. д-ра техн. наук, проф. И. И. Чернобыльского. 3-е изд., перераб. и доп. Москва : Машиностроение, 1974. 456 с.

										Лист
										62
Изм.	Лист	Немає докум.	Підпис	Дата						

12. Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии : Учебное пособие для вузов / под ред. чл.-корр. АН СССР П. Г. Романкова. 10-е изд., перераб. и доп. Ленинград : Химия, 1987. 576 с.

13. Машины и аппараты химических производств : Примеры и задачи : учеб. пособие для втузов / под общ. ред. В. Н. Соколова. Ленинград : Машиностроение, 1982. 384 с.

14. Машины и аппараты химических производств : Примеры и задачи : учеб. пособие для втузов / под общ. ред. В. Н. Соколова. Ленинград : Машиностроение, 1982. 384 с.

15. ДБН В.2.2-12:2014 "Будинки житлові та громадські. Пожежна безпека" - цей документ містить вимоги до організації пожежної охорони будівель та забезпечення вимушеної евакуації людей. Режим доступу: <https://dbn.co.ua/document/dbn-v-2-2-12-2014/>

16. ДСН 3.3.6.042-99 "Пожежна безпека. Правила виїзду людей з будівель і споруд під час пожежі" - цей документ містить вимоги до організації вимушеної евакуації з будівель та споруд під час пожежі. Режим доступу: <https://dniprovska.dn.gov.ua/content/dsn-336042-99-pozhezhna-bezpeka-pravila-vijzdu-lyudej-z-budivel-i-sporud-pid-chas-pozhezhi>

					<i>XI.P.00.00.00. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>Немає докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		63