

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: Установка розділення суміші бензол – толуол.
Розробити тарілчасту ректифікаційну колону

Виконав:
студент групи ХМз-63-8с

Кандибін Микола Олександрович

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 2 Група ХМз-63-8с Семестр 4

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Студент Кандибін Микола Олександрович

1 Тема проекту: Установка розділення суміші бензол – толуол. Розробити тарілчасту ректифікаційну колону

2 Вихідні дані: Розробити тарілчасту ректифікаційну колону для розділення суміші бензол – толуол продуктивністю 9800 кг/год. Вміст ЛЛК (% мол.): у початковій суміші – 28; у дистилаті – 96; у кубовому залишку – 4. Тиск у колоні – атмосферний. Тип тарілок – клапанні.

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

1. Технологічна схема ректифікаційної установки – 0,5 арк.
2. Складальне креслення апарату – 1,0 арк.
3. Складальні креслення 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.; 2. Иоффе И.Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии / И.Л. Иоффе. – Л. : Химия, 1991. – 352 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

асистент Литвиненко А.В.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 59 с., 8 рис., 1 табл., 2 додатки, 17 джерел.

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

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра «Установка розділення суміші бензол – толуол. Розробити тарілчасту ректифікаційну колону».

Наведено теоретичні основи та особливості процесу ректифікації для розділення двокомпонентних сумішей на окремі складові, виконані технологічні розрахунки процесу, визначені габаритні розміри апарата, його гідравлічний опір, обґрунтований вибір матеріалу для виготовлення апарата, розраховане і вибране допоміжне обладнання. Розрахунками на міцність і герметичність показана надійність роботи спроектованого апарата.

У розділі «Охорона праці» наведено причини виробничого травматизму, методи його аналізу, показники травматизму.

Ключові слова: УСТАНОВКА, РЕКТИФІКАЦІЯ, БЕНЗОЛ, ТОЛУОЛ, АПАРАТ, ГІДРАВЛІЧНИЙ ОПІР, ТОВЩИНА, ВИРОБНИЧИЙ ТРАВМАТИЗМ.

Зміст

	С.
Вступ	5
1 Технологічна частина	6
1.1 Опис технологічної схеми ректифікаційної установки	6
1.2 Теоретичні основи процесу	7
1.3 Опис об'єкта розроблення та вибір основних конструктивних матеріалів	10
2 Технологічні розрахунки процесу і апарата	15
2.1 Технологічні розрахунки	15
2.2 Конструктивні розрахунки	21
2.3 Гідравлічний опір апарата	26
2.4 Вибір допоміжного обладнання	30
3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність	34
3.1 Визначення товщини стінки апарата, кришки	34
3.2 Розрахунок опори апарата	38
3.3 Зміцнення отворів	39
3.4 Розрахунок на вітрове навантаження	43
4 Монтаж та ремонт апарата	45
5 Охорона праці	52
Список літератури	58
Додаток А – Побудова рівноважної і робочих ліній на діаграмі х – у	
Додаток Б – Специфікації	

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ		
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>			
<i>Разраб.</i>		<i>Кандибін</i>			<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		<i>Литвиненко</i>			4	59	
<i>Реценз.</i>					СумДУ, ХМз-63-8с		
<i>Н. Контр.</i>							
<i>Утверд.</i>		<i>Склабінський</i>					

**Тарілчаста
ректифікаційна
колона**
Пояснювальна записка

Вступ

У сучасній хімічній промисловості широке застосування знайшли високоефективні технологічні процеси з використанням агрегатів з великою одиничною потужністю, засобів механізації та автоматизації.

Колонні апарати є основним типом масообмінного обладнання хімічних, нафтохімічних, харчових, фармацевтичних та інших виробництв. У колонних апаратах проводяться такі найважливіші масообмінні процеси як абсорбція, адсорбція, десорбція, ректифікація, екстракція тощо.

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

Кваліфікаційна робота бакалавра є важливою і заключною складовою навчального плану підготовки фахівця за освітньою програмою «Комп'ютерний інжиніринг обладнання хімічних виробництв» спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» для одержання освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр».

У результаті комплексної роботи над проектом закріплюються практичні навички в розрахунках і проектуванні апаратів хімічної технології.

Кваліфікаційна робота бакалавра виконана у відповідності до методичних вказівок [1] із дотриманням усіх нормативних вимог і представленням регламентованих розділів.

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

насиченою водяною парою. Нагріта суміш надходить на поділ у ректифікаційну колону КР (на тарілку живлення), де змішується з флегмою із зміцнюючої частини колони. Стікаючи вниз по колоні, рідина взаємодіє з парою, що підіймається угору, яка утворюється при вскипанні кубової рідини у кожухотрубному кип'ятильнику К.

У результаті протікання вищеописаного процесу з рідини видаляється легколеткий компонент (далі ЛЛК). Пар, збагачений ЛЛК, піднімається вгору по колоні і надходить в дефлегматор Д. Із дефлегматора сконденсована пара надходить на розподільний стакан Р, де конденсат розділяється на два потоки: перший (флегма) повертається на зрошення колони, а другий (дистиллят) надходить в холодильник дистилляту Х1 і далі в проміжну ємність Е3.

У свою чергу, з кубової частини колони безперервно відводиться кубовий залишок – продукт, збагачений труднолетким компонентом (ТЛК), який охолоджується в холодильнику Х2 і направляється в ємність Е2. Підігрівач вихідної суміші і кип'ятильник обігриваються насиченою водяною парою, а конденсат, який при цьому утворюється, повертається на ТЕЦ [2].

1.2 Теоретичні основи процесу

Теоретичні основи процесу ректифікації, які наведено у цьому підрозділі, виконано на підставі аналізу літературних джерел [2–6].

Ректифікація – масообмінний процес поділу однорідної суміші летючих компонентів, здійснюваний шляхом протиточної багаторазової взаємодії парів, що утворюються при перегонці, з рідиною, яка утворюється при конденсації цієї пари.

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

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

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

Ступінь поділу суміші рідин на складові компоненти і чистота одержуваних дистилату і кубового залишку залежать від того, наскільки розвинена поверхня контакту фаз, від кількості що подається на зрошення флегми і внутрішніх пристроїв ректифікаційної колони.

Метою розрахунку ректифікаційної колони є визначення температури процесу і кількості відведеної теплоти, вибір швидкості пари, насадки (для насадкових колон) і типу тарілок (для тарілчастих колон), розмірів і гідравлічного опору апарату.

При проектуванні ректифікаційних установок, із яких газ відводиться в атмосферу, необхідно враховувати питання охорони навколишнього середовища – концентрація того чи іншого компонента в паровій фазі на виході з колони не повинна перевищувати гранично-допустимого значення. Якщо це не досягається в одному апараті, то необхідно встановлювати додаткове обладнання [7].

У промисловості застосовують тарілчасті, насадкові, плівково-трубчасті і відцентрові плівкові апарати. Вони розрізняються в основному за конструкцією внутрішнього устрою апарата, призначення якого – забезпечити активну взаємодію рідини і пари.

При розрахунках ректифікаційних колон кількість і склад фаз зручно виражати в молярних величинах. Отже, можна вважати, що при конденсації з пари n моль труднолеткого компонента з рідини випаровується n моль легколеткого компонента, тобто кількість фаз по всій висоті колони буде постійною.

Також приймемо допущення, які мало спотворюють фактичні умови протікання процесу, але значно спрощують розрахунки:

1) склад пари, яка виходить з колони до дефлегматора (y_D), і склад флегми, яка повертається в колону (x_D), однакові, тобто $y_D = x_D$;

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

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

Складемо матеріальний баланс ректифікаційної колони:

$$\text{– за потоками: } G_F = G_D + G_W; \quad (1.1)$$

$$\text{– за легколетким компонентом: } G_F x_F = G_D x_D + G_W x_w, \quad (1.2)$$

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

x_F , x_D , x_w – склад легколеткого компонента в живленні, дистиляті та кубовому залишку відповідно.

Тепловий баланс ректифікаційної колони

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

прихід тепла:

– з гріючою парою в кубі випарника Q_k ;

$$\text{– з вихідною сумішшю } Q_F = G_F \cdot I_F; \quad (1.3)$$

витрата тепла:

– з водою від сконденсованих у дефлегматорі парів Q_d ;

$$\text{– з дистилятом } Q_D = G_D \cdot I_D; \quad (1.4)$$

$$\text{– з кубовим залишком } Q_W = G_W \cdot I_W; \quad (1.5)$$

– втрати в навколишнє середовище $Q_{\text{втр}}$,

де I_D , I_F , I_W – відповідно ентальпії дистиляту, вихідної суміші та кубового залишку.

Таким чином, рівняння теплового балансу запишеться у вигляді:

$$Q_k + Q_F = Q_d + Q_D + Q_W + Q_{\text{втр}}. \quad (1.6)$$

Підставляючи замість Q відповідні значення, вирішимо рівняння теплового балансу відносно Q_k :

$$Q_k = G_D(R+1) \cdot I_D + G_D I_D + G_W I_W - G_F I_F + Q_{\text{втр}}. \quad (1.7)$$

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

Тарілчасті колони

Визначення висоти тарілчастої колони проводиться за рівнянням:

$$H = H_T + h_1 + h_2, \quad (1.8)$$

де $H_T = (n-1) \cdot h$ – висота тарільчастої частини колони, м;

h_1 – висота сепараційної частини колони, м;

h_2 – відстань від нижньої тарілки до днища, м;

n – кількість тарілок;

h – відстань між тарілками, м.

Для наближених розрахунків застосовують теоретично менш обґрунтований, але більш простий метод визначення числа тарілок за допомогою, так званого, середнього к. к. д. тарілок:

$$n = n_T / \eta \quad (1.9)$$

де n_T – число теоретичних тарілок.

Значення η визначають за дослідними даними і воно знаходиться в межах 0,3–0,8 [5].

1.3 Опис об'єкта розроблення та вибір основних конструктивних матеріалів

Тарілчасті колони (рис. 1.2) складають основну групу масообмінних апаратів.

Ректифікаційна колона являє собою вертикальний циліндр (суцільнозварний або із декількох царг, з'єднаних між собою наглухо або роз'ємними фланцями), по висоті якого розташовані спеціальні контактні пристрої – тарілки, що дозволяють створити тісний контакт між парою, що піднімається вгору по колоні, і рідиною, що стікає вниз.

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

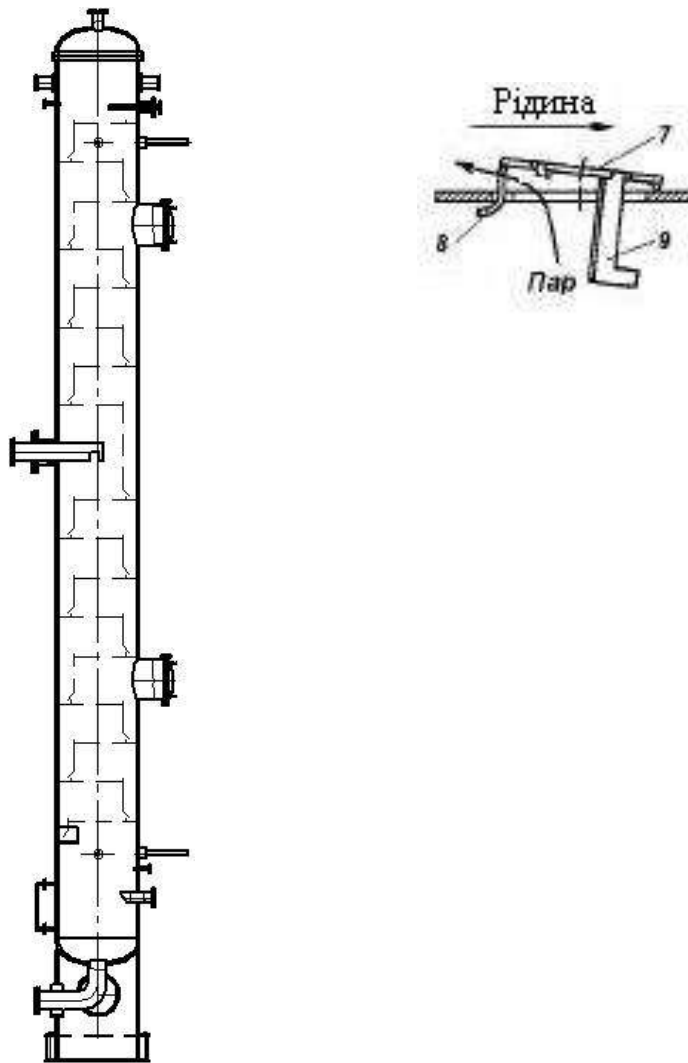


Рисунок 1.2 – Схема ректифікаційної колони з клапанними тарілками

У середню частину колони, у вигляді парорідинної суміші, подається сировина, яку необхідно розділити на дві частини – висококиплячу і низькокиплячу.

Пара і рідина, що надходять на тарілку, не перебувають в стані рівноваги, однак, вступаючи в контакт, прагнуть до цього стану.

У цілому за способом перетікання рідини з тарілки на тарілку розрізняють тарілки зі спеціальними перетічними пристроями і тарілки провального типу. У тарілках першого типу рідина рухається з тарілки на тарілку по спеціальних каналах окремо від потоку пари. При використанні тарілок провального типу пара і рідина проходять через одні й ті ж канали (отвори). При цьому місця стоку рідини і проходу пари розподіляються

випадковим чином по площі тарілки. Клапанна тарілка відноситься до тарілок зі спеціальними перетічними пристроями.

За схемою руху рідини і пари клапанна тарілка відноситься до перехресноточних тарілок. У цих тарілках рідина подається в спеціальні приймальні кармани, проходить по полотна тарілки без провалу і через зливні пристрої надходить в приймальний карман нижчерозташованої тарілки.

Клапанна тарілка являє собою полотно з отворами, при цьому кожен отвір прикрито зверху рухомою пластиною під дією власної маси і тиску шару рідини. Дана тарілка зі змінним прохідним перетином для пари, яка змінюється зі зміною навантаження колони за парою (рис. 1.3).



Рисунок 1.3 – Схема положення клапана при різних навантаженнях за парою

Коли подачі пари немає пластина повністю перекриває перетин отвору. При подачі пари клапан починає підніматися. Причому тим вище, чим більше витрата пари. Висоту підйому клапана обмежують кронштейни. Є кронштейни, які розташовані знизу і зверху. Клапани, у свою чергу, розрізняються за формою: круглі і прямокутні.

Основна перевага клапанної тарілки – це приблизно постійна швидкість, із якою пара входить в шар рідини (це відбувається за рахунок того, що при збільшенні витрати пари клапан піднімається і збільшується перетин входу пари на тарілку).

Конструктивні особливості клапанних тарілок дозволяють зберігати високу інтенсивність масопередачі в допустимому інтервалі зміни навантажень колони при приблизно стабільному опорі. Площа вільного перетину клапанних тарілок становить 15 % від загальної площі перетину колони.

Рідкий потік з вищерозташованої тарілки надходить в зону більш високої температури, і тому з нього випаровується деяка кількість низькокиплячого компонента, в результаті чого концентрація останнього в рідині зменшується. З іншого боку, паровий потік, що надходить з нижчерозташованої тарілки, потрапляє в зону нижчої температури і частина висококиплячого продукту з цього потоку конденсується, переходячи в рідину. Концентрація висококиплячого компонента в парі таким чином знижується, а низькокиплячого – підвищується.

Частина ректифікаційної колони, яка розташована вище штуцера введення сировини, називається концентраційною, а нижче – відгінною [4].

Проектований колонний апарат конструктивно складається з кришки і днища, патрубків для введення і виведення парових і рідинних потоків. Як правило, знизу до корпусу апарата приварюють спеціальну опору, яка дозволяє надійно кріпити колону до фундаменту.

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

Основними вимогами, яким повинні відповідати хімічні апарати, є механічна надійність, довговічність, конструктивну досконалість, простота виготовлення, зручність транспортування, монтажу та експлуатації [8–10]. Тому до конструкційних матеріалів проектованої апаратури висувають наступні вимоги [8]:

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

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

2) висока механічна міцність при заданих робочих тисках, температурі і додаткових навантаженнях, що виникають при гідравлічних випробуваннях та експлуатації апаратів;

3) гарна зварюваність матеріалів із забезпеченням високих механічних властивостей зварних з'єднань;

4) низька вартість і доступність матеріалів.

Здійснимо підбір конструкційного матеріалу для корпусу апарата. Підбір будемо здійснювати, беручи до уваги робочу температуру, агресивність середовища та значення робочого тиску.

Для деталей колони, які контактують із рідиною вибираємо матеріал – сталь 09Г2С, для інших – сталь Ст 3. Матеріал опори – ВСтЗсп. Матеріал прокладок – пароніт ПОН-1.

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

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 [2]:

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

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

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

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

де $M_f = 78,11 \cdot 0,28 + 92,1 \cdot (1 - 0,28) = 88,18$ кг/кмоль

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

$$M_D = 78,11 \cdot 0,96 + 92,1 \cdot (1 - 0,96) = 78,67 \text{ кг/кмоль}$$

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

$$M_W = 78,11 \cdot 0,04 + 92,1 \cdot (1 - 0,04) = 91,54 \text{ кг/кмоль}$$

$M_{\text{ллк}} = 78,11$ кг/кмоль, $M_{\text{тлк}} = 92,1$ кг/кмоль – молярні маси легколеткого і важколеткого компонентів [11].

$$\bar{x}_f = 0,28 \cdot \frac{78,11}{88,18} = 0,248$$

$$\bar{x}_D = 0,96 \cdot \frac{78,11}{78,67} = 0,953$$

$$\bar{x}_W = 0,04 \cdot \frac{78,11}{91,54} = 0,034$$

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

Матеріальний баланс ректифікаційної колони складається з потоків [2]:

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

по легколеткому компоненту:

$$G_f \cdot \bar{x}_f = G_D \cdot \bar{x}_D + G_W \cdot \bar{x}_W; \quad (2.6)$$

Спільне розв'язання рівнянь (2.4) і (2.5) дозволяє отримати залежність для визначення масових витрат дистилляту і кубового залишку:

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

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

$$G_D = 9800 \cdot \frac{0,248 - 0,034}{0,953 - 0,034} = 2282 \text{ кг/ГОД.}$$

$$G_W = 9800 \cdot \frac{0,953 - 0,248}{0,953 - 0,034} = 7518 \text{ кг/ГОД.}$$

Криву рівноваги (рис. 2.1) будемо в координатах у-х за довідковими даними про рівноважних складах рідини і пари у залежності від температури.

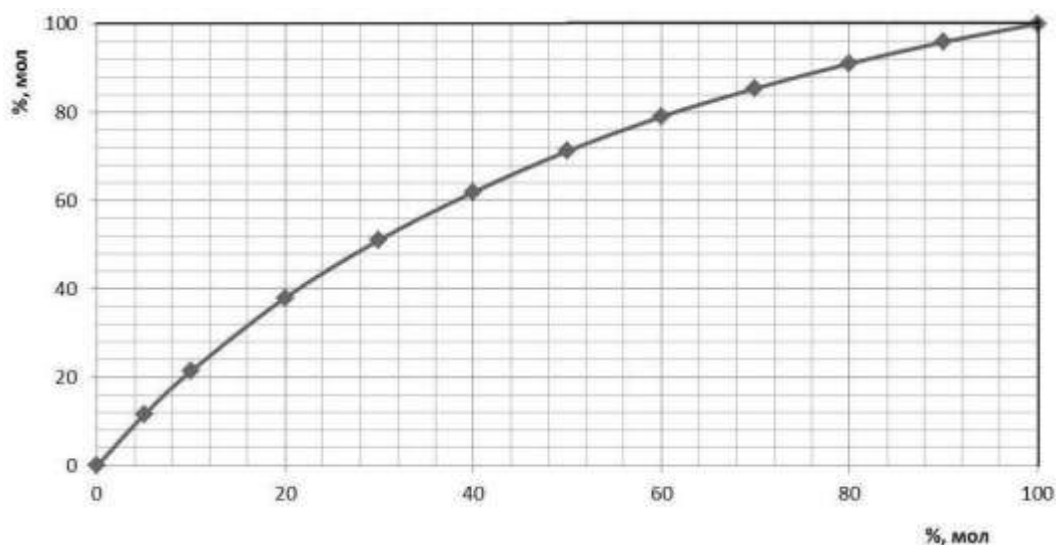


Рисунок 2.1 – Діаграма у-х суміші бензол – толуол

Визначаємо мінімальне флегмове число за рівнянням [1]:

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

де y_f^* – склад пара, що перебуває в рівновазі з вихідною сумішшю;
 $y_f^* = 0,49$ – визначається з кривою рівноваги.

$$R_{\min} = \frac{0,96 - 0,49}{0,49 - 0,28} = 2,2$$

Визначаємо оптимальне флегмове число R , $\beta = 1,55$ [3]:

$$R_{\min} = \beta \cdot R_{\min} = 1,55 \cdot 2,2 = 3,41 \quad (2.10)$$

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

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

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

$$G_R = 3,41 \cdot 2282 = 7782 \text{ кг/год.}$$

$$G_V = (3,41 + 1) \cdot 2282 = 10064 \text{ кг/год.}$$

Робочі лінії процесу визначаються рівняннями [2]:

– для верхньої частини колони:

$$y = \frac{R}{R+1} \cdot x + \frac{x_D}{R+1}; \quad (2.13)$$

– для нижньої частини колони:

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

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

де F – число живлення, яке визначається за формулою:

$$F = \frac{G_f}{G_d} \cdot \frac{M_d}{M_f}; \quad (2.15)$$

$$F = \frac{9800}{2282} \cdot \frac{78,67}{88,18} = 3,83.$$

Ордината точки А (див. додаток А), в якій перетинаються робочі лінії, визначається за рівнянням (2.13) і (2.14) підстановкою в них замість x значення x_f :

$$y_f' = \frac{3,41}{3,41+1} \cdot 0,28 + \frac{0,96}{3,41+1} = 0,434$$

$$y_f'' = \frac{3,83+3,41}{3,41+1} \cdot 0,28 - \frac{3,83-1}{3,41+1} \cdot 0,04 = 0,434$$

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

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

– у верхній частині колони:

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

– у нижній частині колони:

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

$$x_{cp}' = \frac{(0,28+0,96)}{2} = 0,62;$$

$$x_{cp}'' = \frac{(0,28+0,04)}{2} = 0,16.$$

Середні молярні концентрації парової фази визначаються за рівняннями робочих ліній [2]:

– у верхній частині колони:

$$y'_{cp} = \frac{R}{R+1} \cdot x'_{cp} + \frac{x_D}{R+1}; \quad (2.18)$$

– у нижній частині колони:

$$y''_{cp} = \frac{F+R}{R+1} \cdot x''_{cp} - \frac{F-1}{R+1} \cdot x_W; \quad (2.19)$$

$$y'_{cp} = \frac{3,41}{3,41+1} \cdot 0,62 + \frac{0,96}{3,41+1} = 0,697;$$

$$y''_{cp} = \frac{3,83+3,41}{3,41+1} \cdot 0,16 - \frac{3,83-1}{3,41+1} \cdot 0,04 = 0,237.$$

Середня молярна маса парів розраховується за формулами [2]:

– у верхній частині колони:

$$M'_{cp} = y'_{cp} \cdot M_{ллк} + (1 - y'_{cp}) \cdot M_{тлк}; \quad (2.20)$$

– у нижній частині колони:

$$M''_{cp} = y''_{cp} \cdot M_{ллк} + (1 - y''_{cp}) \cdot M_{тлк}; \quad (2.21)$$

$$M'_{cp} = 0,697 \cdot 78,11 + (1 - 0,697) \cdot 92,1 = 82,35 \text{ кг/кмоль}$$

$$M''_{cp} = 0,237 \cdot 78,11 + (1 - 0,237) \cdot 92,1 = 88,78 \text{ кг/кмоль}$$

Середні густини парів визначаються за рівнянням Клайперона:

– у верхній частині колони [2]:

$$\rho'_y = \frac{M'_{cp} \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + t'_y)}; \quad (2.22)$$

– у нижній частині колони:

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						19
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

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

де $t_y' = 92^\circ\text{C}$ – середня температура пари у верхній частині колони в залежності від концентрації y_{cp}' (визначається за діаграмою [3]);

$t_y'' = 106^\circ\text{C}$ – середня температура пара в нижній частині колони в залежності від концентрації y_{cp}'' (визначається по діаграмі [3]).

$$\rho_y' = \frac{82,35 \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + 92)} = 2,75 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_y'' = \frac{88,78 \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + 106)} = 2,86 \text{ кг/м}^3$$

Середні густини рідини знаходяться за правилом адитивності:

– у верхній частині колони:

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

– у нижній частині колони:

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

де $\rho_{ллк}'$, $\rho_{ллк}''$, $\rho_{млк}'$, $\rho_{млк}''$ – густини рідини легколеткого і труднолеткого компонентів при температурах t_x' , t_x'' ;

$\rho_{ллк}' = 805,1 \text{ кг/м}^3$; $\rho_{млк}' = 799 \text{ кг/м}^3$ при температурі $t_x' = 89^\circ\text{C}$ [11];

$t_x' = 89^\circ\text{C}$ – середня температура рідини у верхній частині колони в залежності від концентрації x_{cp}' ;

$\rho_{ллк}'' = 789,16 \text{ кг/м}^3$; $\rho_{млк}'' = 784,48 \text{ кг/м}^3$ при температурі $t_x'' = 103^\circ\text{C}$ [11];

$t_x'' = 103^\circ\text{C}$ – середня температура рідини в нижній частині колони в залежності від концентрації x_{cp}'' .

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						20
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\rho'_x = 0,62 \cdot 805,1 + (1 - 0,62) \cdot 799 = 803 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho''_x = 0,16 \cdot 789,16 + (1 - 0,16) \cdot 784,48 = 785 \text{ кг/м}^3$$

Середні в'язкості рідини обчислюються за формулами:

– у верхній частині колони:

$$\lg \mu'_x = x'_{cp} \cdot \lg \mu'_{ллк} + (1 - x'_{cp}) \cdot \lg \mu'_{млк}; \quad (2.26)$$

– у нижній частині колони:

$$\lg \mu''_x = x''_{cp} \cdot \lg \mu''_{ллк} + (1 - x''_{cp}) \cdot \lg \mu''_{млк}; \quad (2.27)$$

де $\mu'_{ллк}$, $\mu''_{ллк}$, $\mu'_{млк}$, $\mu''_{млк}$ – в'язкості рідких легколеткого і труднолеткого компонентів при температурах t'_x і t''_x .

$$\mu'_{ллк} = 0,29 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}, \quad \mu'_{млк} = 0,298 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с};$$

$$\mu''_{ллк} = 0,26 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}, \quad \mu''_{млк} = 0,27 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с};$$

$$\mu'_x = 0,000293 \text{ Па}\cdot\text{с}, \quad \mu''_x = 0,000268 \text{ Па}\cdot\text{с}.$$

2.2 Конструктивні розрахунки

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

$$\omega' = (0,75 - 0,9) \cdot \omega_{np}; \quad (2.28)$$

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

$$\omega_{np} = c \cdot \sqrt{\frac{\rho_{жс} - \rho_n}{\rho_n}}; \quad (2.29)$$

де $c=0,048$ при відстані між тарілками $H=400$ мм – коефіцієнт, який обирається в залежності від конструкції тарілок і відстані між ними.

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

Гранична швидкість парів:

– для верхньої частини колони

$$\omega'_{np} = 0,048 \cdot \sqrt{\frac{803 - 2,75}{2,75}} = 0,82 \text{ м/с}$$

– для нижньої частини колони

$$\omega''_{np} = 0,048 \cdot \sqrt{\frac{785 - 2,86}{2,86}} = 0,79 \text{ м/с}$$

Робоча швидкість парів:

– для верхньої частини колони

$$\omega' = (0,75 \div 0,9) \cdot 0,82 = (0,615 \div 0,738) \text{ м/с}$$

– для нижньої частини колони

$$\omega'' = (0,75 \div 0,9) \cdot 0,79 = (0,593 \div 0,711) \text{ м/с}$$

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

– у верхній частині колони:

$$\left(\frac{L}{G}\right)' = \frac{G_R}{G_V} = \frac{R}{R+1}; \quad (2.30)$$

– у нижній частині колони:

$$\left(\frac{L}{G}\right)'' = \frac{G_R + G_f}{G_V} = \frac{R + F}{R+1}; \quad (2.31)$$

$$\left(\frac{L}{G}\right)' = \frac{3,41}{3,41+1} = 0,773$$

$$\left(\frac{L}{G}\right)'' = \frac{3,41+3,83}{3,41+1} = 1,642$$

Об'ємна витрата парів дорівнює:

					<i>ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		22

– у верхній частині колони

$$V' = \frac{G_V}{\rho_y'}; \quad (2.32)$$

– у нижній частині колони

$$V'' = \frac{G_V}{\rho_y''}; \quad (2.33)$$

$$V' = \frac{10064}{3600 \cdot 2,75} = 1,0 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$V'' = \frac{10064}{3600 \cdot 2,86} = 0,98 \text{ м}^3/\text{с}$$

Діаметр колони розраховується за формулою [12]:

$$D = \sqrt{\frac{G_v}{\rho_y \cdot 0,785 \cdot \omega}}; \quad (2.34)$$

– для верхньої частини колони:

$$D' = \sqrt{\frac{1,0}{0,785 \cdot 0,7}} = 1,35 \text{ м}$$

– для нижньої частини колони:

$$D'' = \sqrt{\frac{0,98}{0,785 \cdot 0,65}} = 1,38 \text{ м}$$

Приймаємо найближчий більший діаметр колони зі стандартного ряду
 $D_k = 1400 \text{ мм}$.

Дійсні робочі швидкості пари в колоні дорівнюють:

$$w_g = 0,7 \cdot \left(\frac{1,35}{1,4} \right)^2 = 0,65 \text{ м/с}$$

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

$$w_n = 0,65 \cdot \left(\frac{1,38}{1,4} \right)^2 = 0,63 \text{ м/с}$$

У результаті побудови горизонтальних і вертикальних відрізків між робочою і рівноважною лініями число теоретичних тарілок дорівнює $N_m' = 9$ шт., $N_m'' = 7$ шт.

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

$$N_d = N_T / \eta; \quad (2.35)$$

де η – к.к.д. тарілки.

Для визначення середнього к.к.д. тарілок знаходимо коефіцієнт відносної летючості розділюваних компонентів α і динамічний коефіцієнт в'язкості вихідної суміші μ .

$$\alpha = P_{лк}' / P_{лк}'' ,$$

де $P_{лк}'$, $P_{лк}''$ – тиск насиченої пари легколеткого і труднолеткого компонентів при середній температурі в колоні.

$$P_{лк}' = 400 \text{ мм.рт.ст}; P_{лк}'' = 600 \text{ мм.рт.ст};$$

$$P_{тлк}' = 140 \text{ мм.рт.ст}; P_{тлк}'' = 200 \text{ мм.рт.ст}.$$

$$\alpha' = 400/140 = 2,86$$

$$\alpha'' = 600/200 = 3$$

$$\mu_x' = 0,000293 \text{ Па}\cdot\text{с}, \mu_x'' = 0,000268 \text{ Па}\cdot\text{с};$$

$$\alpha' \cdot \mu_x' = 1,07; \alpha'' \cdot \mu_x'' = 1,01$$

За графіком [12] знаходимо $\eta' = 0,48$, $\eta'' = 0,48$.

Число тарілок:

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

– у верхній частині колони

$$N_d = 9/0,48 = 18,75 \approx 19 \text{ шт.}$$

– у нижній частині колони

$$N_d = 7/0,48 = 14,85 \approx 15 \text{ шт.}$$

Висота тарільчастої частини колони залежить від числа дійсних тарілок N_d і прийнятої відстані між ними:

$$H_T = (N_d - 1) \cdot H, \quad (2.36)$$

де $N_d = 34$ – загальна кількість тарілок;

$H = 400$ мм – відстань між тарілками.

$$H_T = (34 - 1) \cdot 400 = 13200 \text{ мм.}$$

Визначення діаметра патрубків.

Діаметр патрубка визначається за формулою [12]:

$$D = \sqrt{\frac{G}{\rho \cdot 3600 \cdot 0,785 \cdot \omega}}; \quad (2.37)$$

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:

$$d_v = \sqrt{\frac{10064}{3600 \cdot 2,86 \cdot 0,785 \cdot 15}} = 0,288 \text{ м}$$

Приймаємо діаметри патрубків $d_v = 300$ мм.

Діаметр патрубка для входу флегми:

$$d_R = \sqrt{\frac{7782}{3600 \cdot 803 \cdot 0,785 \cdot 0,5}} = 0,08 \text{ м}$$

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

Приймаємо діаметр патрубку $d_R=80$ мм.

Діаметр патрубка для входу вихідної суміші:

$$d_f = \sqrt{\frac{9800}{3600 \cdot 785 \cdot 0,785 \cdot 0,5}} = 0,094 \text{ м}$$

Приймаємо діаметр патрубка $d_f=100$ мм.

Діаметр патрубка для виходу кубового залишку:

$$d_w = \sqrt{\frac{7518}{3600 \cdot 890 \cdot 0,785 \cdot 0,5}} = 0,077 \text{ м}$$

Приймаємо діаметр патрубка $d_w=80$ мм.

2.3 Гідравлічний опір апарата

Застосовуємо клапанну тарілку (див. завдання на кваліфікаційну роботу). Основні параметри клапанної тарілки у залежності від діаметра колони і кроку між клапанами наведено у табл. 2.1 [12].

Таблиця 2.1 – Основні параметри клапанних тарілок з круглими клапанами

Діаметр колони D, мм	Вільний перетин колони, м ²	Шаг між рядами клапанів, мм		Робочий перетин тарілки, м ²	Периметр зливу, м	Перетин переливу, м ²
		50				
		Відносний вільний перетин тарілки, %	Кількість клапанів			
1	2	3	4	5	6	7
1400	1,54	11,42	140	1,10	1,12	0,22

Гідравлічний опір клапанної тарілки:

$$h > 0,98 \cdot \frac{\Delta P}{g \cdot \rho_{ж}} \quad (2.38)$$

де ΔP_C – перепад тиску на сухий тарілці, Па;

ΔP_{σ} – перепад тиску, необхідний для подолання сил поверхневого натягу рідини, Па;

$\Delta P_{\text{ж}}$ – перепад тиску, необхідний для подолання опору стовпа рідини на тарілці, Па.

Верхня (зміцнююча) частина колони.

Перепад тиску на сухий тарілці:

$$\Delta P_c = \xi \cdot \frac{w_0^2}{2} \cdot \rho_{\text{п}}, \text{ Па} \quad (2.39)$$

де ξ – коефіцієнт місцевого опору, який для клапанних тарілок дорівнює 2,5...3,5. Приймаємо $\xi = 3,0$;

$\rho_{\text{п}}$ – густина парів в робочих умовах колони, кг/м^3 ;

w_0 – швидкість пара в отворах під клапанами, м/с.

$$w_0 = \frac{V_{\text{сек}}}{f_o \cdot N_o}, \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (2.40)$$

де $V_{\text{сек}}$ – секундний об'єм, $\text{м}^3/\text{с}$;

N_o – число отворів (клапанів) на тарілці, $N_o = 140$;

f_o – перетин одного отвору під клапаном, м^2 .

$$f_o = \frac{\pi \cdot d_o^2}{4}, \text{ м}^2 \quad (2.41)$$

де d_o – діаметр отвору під клапаном, $d_o = 0,038 \text{ м}$ [12].

$$f_o = \frac{3,14 \cdot 0,038^2}{4} = 0,001809 \text{ м}^2$$

$$w_0 = \frac{0,882}{0,001809 \cdot 140} = 3,48 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\Delta P_c = 3,0 \cdot \frac{3,48^2}{2} \cdot 18,2 = 50 \text{ Па}$$

Перепад тиску, необхідний для визначення сил поверхневого натягу рідини:

$$\Delta P_{\sigma} = \frac{4 \cdot \sigma}{d_{\text{э}}}, \text{ Па} \quad (2.42)$$

де σ – поверхневий натяг рідини при температурі в верхній частині колони; при 89°C $\sigma = 20,5 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$;

$d_{\text{э}}$ – еквівалентний (гідрравлічний) діаметр щілини під клапаном; для клапанних тарілок $d_{\text{э}} = 0,012 \text{ м}$.

$$\Delta P_{\sigma} = \frac{4 \cdot 20,5 \cdot 10^{-3}}{0,012} = 6,8 \text{ Па}$$

Перепад тиску, необхідний для подолання опору стовпа рідини на тарілці:

$$\Delta P_{\text{ж}} = 9,81 \cdot K \cdot h_{\text{сл}} + 28 \cdot \sqrt[3]{K \cdot \left(\frac{Q}{L_D}\right)^2}, \text{ Па} \quad (2.43)$$

де K – коефіцієнт, для клапанних тарілок $K = 0,5$.

$h_{\text{сл}}$ – висота зливної перегородки [12], $h_{\text{сл}} = 40 \text{ мм} = 0,04 \text{ м}$;

L_D – довжина лінії зливу, $L_D = 0,65 \text{ м}$;

Q – годинний обсяг рідини, що стікає з нижньої зміцнюючої тарілки колони.

$$Q = \frac{G_R \cdot M_d}{\rho_d}, \frac{\text{м}^3}{\text{год}} \quad (2.44)$$

$$Q = \frac{6748,4 \cdot 78,67}{803} = 661 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$$

$$\Delta P_{\text{ж}} = 9,81 \cdot 0,5 \cdot 0,04 + 28 \cdot \sqrt[3]{0,5 \cdot \left(\frac{661}{0,65}\right)^2} = 2248 \text{ Па}$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

Визначаємо гідравлічний опір клапанної тарілки у верхній частині колони:

$$\Delta P_B = 50 + 6,8 + 2248 = 2304,8 \text{ Па}$$

Нижня (відгонна) частина колони.

Визначаємо швидкість пари у отворах під клапанами:

$$w_0 = \frac{0,848}{0,001809 \cdot 140} = 3,35 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Визначаємо перепад тиску на сухий тарілці по формулі (2.39):

$$\Delta P_C = 3,0 \cdot \frac{3,35^2}{2} \cdot 2,86 = 48,1 \text{ Па}$$

Визначаємо перепад тиску, необхідний для визначення сил поверхневого натягу рідини за формулою (2.42), знаючи, що $\sigma = 19 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$ при температурі в нижній частині колони 103°C :

$$\Delta P_\sigma = \frac{4 \cdot 19 \cdot 10^{-3}}{0,012} = 6,3 \text{ Па}$$

Визначаємо годинний обсяг рідини, що стікає з нижньої відгонної тарілки колони за формулою (2.44):

$$Q = \frac{8727,4 \cdot 91,54}{785} = 1018 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$$

Визначаємо перепад тиску, необхідний для подолання опору стовпа рідини на тарілці за формулою (2.43):

$$\Delta P_{\text{ж}} = 9,81 \cdot 0,5 \cdot 0,04 + 28 \cdot \sqrt[3]{0,5 \cdot \left(\frac{1018}{0,65}\right)^2} = 2997,3 \text{ Па}$$

Визначаємо гідравлічний опір клапанної тарілки в нижній частині колони:

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

$$\Delta P_H = 48,1 + 6,3 + 2997,3 = 3051,7 \text{ Па}$$

Гідрравлічний опір апарата:

$$\Delta P = N_{BP} \cdot \Delta P_B + N_{HP} \cdot \Delta P_H, \text{ Па} \quad (2.45)$$

$$\Delta P = 19 \cdot 2269,2 + 15 \cdot 3051,7 = 88890 \text{ Па}$$

Мінімальна відстань між тарілками, при якому забезпечується нормальна робота тарілок:

$$h > 0,98 \cdot \frac{\Delta P}{g \cdot \rho_{ж}} \quad (2.46)$$

Перевірку данної умови проводимо для тарілок в нижній частині колони, оскільки гідрравлічний опір у них більший, ніж у тарілок верхньої частини колони.

$$h_0 > 0,98 \cdot \frac{3051,7}{9,81 \cdot 785}$$

$$h_0 > 0,39$$

$h_T = 0,4 \text{ м} > 0,39 \text{ м}$ – умова виконана.

Отже, відстань між тарілками вибрана правильно.

2.4 Вибір допоміжного обладнання

Розрахунок і підбір насосу Н для подачі вихідної суміші [6].

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

Діаметр трубопроводу визначаємо за рівнянням:

$$d = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot w}}, \quad (2.47)$$

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

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

$$V = \frac{9800}{3600 \cdot 790} = 3,45 \cdot 10^{-3} \frac{M^3}{c}.$$

$$d = \sqrt{\frac{3,45 \cdot 10^{-3}}{0,785 \cdot 2}} = 0,047 \text{ м.}$$

Приймаємо стандартизований діаметр трубопроводу 50 мм.

Визначаємо критерій Рейнольдса для рідини у трубопроводі:

$$Re = \frac{w \cdot d \cdot \rho_{ж}}{\mu}, \quad (2.48)$$

$$Re = \frac{2 \cdot 0,050 \cdot 790}{2,65 \cdot 10^{-4}} = 298113,$$

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

$$e = \frac{\Delta}{d} = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{0,050} = 0,004.$$

$$\frac{1}{e} = 250; \quad 560 \cdot \frac{1}{e} = 140000; \quad 10 \cdot \frac{1}{e} = 2500;$$

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

Для зони, що є автотурбулентною по відношенню до Re :

$$\lambda = 0,11 \cdot e^{0,25}, \quad (2.49)$$

$$\lambda = 0,11 \cdot 0,004^{0,25} = 0,028.$$

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:

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

- 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:

$$h_{П.ВС.} = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d_E} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g}, \quad (2.50)$$

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

$$h_{П.ВС.} = \left(0,028 \cdot \frac{3}{0,050} + 2,7 \right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 0,9 \text{ м.}$$

Втрата напору в напірній лінії:

$$h_{П.НАП.} = \left(0,028 \cdot \frac{7}{0,050} + 8 \right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 2,4 \text{ м.}$$

Загальні втрати напору:

$$h_{П.} = h_{П.ВС.} + h_{П.НАП.}, \quad (2.51)$$

$$h_{П.} = 0,9 + 2,4 = 3,3 \text{ м.}$$

Знаходимо напір насосу за рівнянням:

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho_{ж} \cdot g} + H_{Г.} + h_{П.}, \quad (2.52)$$

де $(P_2 - P_1)$ – різниця тисків у апараті та в ємності, із якої подається рідина. У нашому випадку, враховуючи, що тиск у колоні атмосферний, ця різниця дорівнює 0 МПа;

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

$$H = 5 + 3,3 = 8,3 \text{ м.}$$

Корисну потужність насосу визначаємо за рівнянням:

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

$$N_{II} = \rho_p \cdot g \cdot V \cdot H, \quad (2.53)$$

$$N_{II} = 790 \cdot 9,81 \cdot 3,45 \cdot 10^{-3} \cdot 8,3 = 222 \text{ Вт}.$$

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

$$N = \frac{N_{II}}{\eta_{пер} \cdot \eta_n}, \quad (2.54)$$

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

$$N = \frac{222}{1 \cdot 0,6} = 370 \text{ Вт}.$$

Вибираємо відцентровий насос марки НМШ 8-25-15,3/25-5 із наступними параметрами: об'ємна подача насосу 15,3 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 [5]. 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:

$$V_{EP} = \frac{G \cdot \tau}{\psi \cdot \rho}, \quad (2.55)$$

$$V_{EP} = \frac{9800 \cdot 7}{0,82 \cdot 850} = 98 \text{ м}^3.$$

Для зберігання вихідної суміші встановлюємо дві незалежних ємності.

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

$$H = \frac{V_{EP} / 2}{0,785 \cdot D^2}, \quad (2.56)$$

$$H = \frac{98 / 2}{0,785 \cdot 3,6^2} = 4,82 \text{ м} \approx 5 \text{ м}.$$

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

3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність

3.1 Визначення товщини стінки апарата, кришки

Основні розрахункові параметри:

Робоча температура середовища $t=106^{\circ}\text{C}$. Робочу температуру стінки приймаємо на $5-7^{\circ}\text{C}$ меншою: $t=100^{\circ}\text{C}$.

Робочий тиск в апараті $P = 0,1$ МПа.

Розрахункова схема обичайки корпусу, навантаженого внутрішнім тиском, представлена на рис. 3.1.

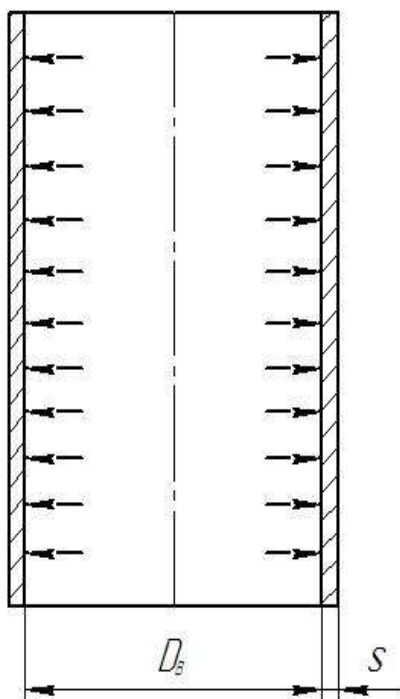


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема обичайки корпусу, навантаженого внутрішнім тиском

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

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

Приймаємо стандартне значення $0,25$ МПа.

Пробний при гідравлічному випробуванні тиск згідно [13] складе:

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

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

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

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

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

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

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

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

Розрахунок товщини стінки обичайки корпусу.

Товщина стінки циліндричної обичайки, навантаженої внутрішнім надлишковим тиском:

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

$$S_k = \frac{0,55 \cdot 1,4}{2 \cdot 152 \cdot 0,9 - 0,55} = 0,0028 \text{ м}.$$

Виконавча товщина стінки:

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

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

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

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

де C_1 – прибавка на корозію і ерозію, при проникності $\Pi = 0,4$ мм/рік та терміні служби колони $\tau=10$ років складе

$$C_1 = \Pi \cdot \tau = 0,4 \cdot 10 = 4 \text{ мм};$$

C_2 – прибавка на мінусове значення граничного відхилення по товщині листа, мм;

C_3 – технологічна прибавка, яка враховується в залежності від прийнятої технології виготовлення і не включає в себе округлення розрахункової товщини елемента до номінальної товщини за стандартом, мм.

Прибавки C_2 і C_3 враховуються лише в тому випадку, коли сума їх перевищує 5 % від розрахункової товщини обичайки.

$$C = 4 + 0 + 0 = 4 \text{ мм.}$$

$$S = 0,0028 + 0,004 = 0,0068 \text{ м.}$$

Приймаємо $S=0,008\text{м} = 8 \text{ мм.}$

Допустимий внутрішній надлишковий тиск:

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

$$[p] = \frac{2 \cdot 152 \cdot 0,9 \cdot (0,008 - 0,004)}{1,4 + (0,008 - 0,004)} = 0,78 \text{ МПа}$$

Умова міцності має вигляд:

$$P < [P]: 0,55 \text{ МПа} < 0,78 \text{ МПа.}$$

Умова міцності виконується.

Розрахунок товщини стінки днища.

Розрахункова схема еліптичного днища представлена на рис. 3.2.

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		36

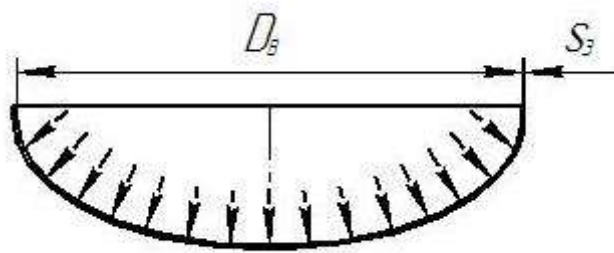


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема днища апарату, навантаженого внутрішнім тиском

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 $R = D$.

$$S_R = \frac{0,55 \cdot 1,4}{2 \cdot 152 \cdot 0,9 - 0,5 \cdot 0,55} = 0,0028 \text{ м.}$$

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

$$C = 4 + 0 + 0 = 4 \text{ мм.}$$

$$S = 0,0028 + 0,004 = 0,0068 \text{ м.}$$

Приймаємо $S = 0,008 \text{ м} = 8 \text{ мм}$.

Допустимий внутрішній надлишковий тиск:

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

$$[p] = \frac{2 \cdot (0,008 - 0,004) \cdot 0,9 \cdot 152}{1,4 + 0,5 \cdot (0,008 - 0,004)} = 0,78 \text{ МПа,}$$

що більше пробного, а отже, умова міцності виконується.

3.2 Розрахунок опори апарата

Визначимо навантаження порожнього апарату на опору по формулі:

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

де M_{an} – маса порожнього апарату;

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

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

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

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

$$M_{\kappa} = 17,05 \cdot 3,14 \cdot 1,4 \cdot 0,008 \cdot 7800 = 4677 \text{ кг}$$

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

де F – площа внутрішньої поверхні еліптичного днища (кришки)
 $F=1,62\text{м}^2$;

$$M_{\text{дн}} = M_{\text{кр}} = 1,62 \cdot 0,008 \cdot 7800 = 101 \text{ кг.}$$

Маса тарілок:

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

де $m_m=81$ кг – маса однієї тарілки.

$$M_m = 34 \cdot 81 = 2754 \text{ кг.}$$

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

Маса порожнього апарату:

$$M_{an} = 4677 + 2 \cdot 101 + 2754 + 1000 = 8633 \text{ кг}$$

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

$$Q_{\text{ап}} = 8633 \cdot 9,81 = 84690 \text{ Н}$$

Навантаження апарату на опору під час гідравлічних випробувань:

$$Q_{\text{ан}}^u = (M_{\text{ан}} + M_{\text{в}}) \cdot g, \quad (3.14)$$

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 $V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H = \frac{3,14 \cdot 1,4^2}{4} \cdot 17,05 = 26,2 \text{ м}^3$

$$M_{\text{в}} = 26,2 \cdot 1000 = 26200 \text{ кг.}$$

$$Q_{\text{ан}}^u = (84690 + 26200) \cdot 9,81 = 1087830 \text{ Н.}$$

Виходячи з $Q_{\text{max}}=Q_{\text{ап}}$ і $Q_{\text{min}}=Q_{\text{ап}}$, за таблицями [13] вибираємо циліндричну опору третього типу: 3-1400-30-15-350.

3.3 Зміцнення отворів

Як показують експерименти, максимальні напруження швидко зменшуються у міру віддалення від краю отвору, тобто приріст напружень носить локальний характер. Тому під час проектування апаратури необхідно вирішувати задачу про зниження підвищеного напруження в області отворів до допустимих значень за рахунок компенсації компенсації ослаблення, викликаного наявністю вирізу.

Компенсація ослаблення може проводитися двома способами: 1) збільшенням товщини стінки всієї оболонки виходячи з максимальних напружень у зоні краю отвору і 2) зміцненням краю отвору додатковим матеріалом, що вводиться по можливості ближче до місця розподілу максимальних напружень. Перший спосіб застосовується дуже рідко і не може бути визнаний раціональним, оскільки область підвищення напружень незначна.

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

Зміцнення отворів циліндричної обичайки

Визначаємо розрахунковий діаметр одиночного отвору, що не потребує зміцнення:

$$d_0 = 2 \cdot \left(\frac{S-c}{S_p} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (S-c)}, \quad (3.16)$$

$$d_0 = 2 \cdot \left(\frac{8-4}{2,8} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{1400 \cdot (8-4)} \approx 100 \text{ мм}.$$

Оскільки діаметр штуцера входу пари ($D_y = 300 \text{ мм}$) і люка ($D_y = 500 \text{ мм}$) то зміцнення отворів потрібне.

Зміцнення отворів еліптичного днища

Визначаємо розрахунковий діаметр одиночного отвору, що не потребує зміцнення, за формулою (3.16):

$$d_0 = 2 \cdot \left(\frac{8-4}{2,8} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{2800 \cdot (8-4)} = 133 \text{ мм},$$

де D_p – розрахунковий діаметр елемента, що укріплюється; для еліптичного днища при $H = 0,25 \cdot D$:

$$D_p = 2 \cdot D \cdot \sqrt{1 - 3 \cdot \left(\frac{x}{D} \right)^2}, \quad (3.17)$$

де x – відстань від центру отвору, що укріплюється, до осі еліптичного днища; у нашому випадку $x = 0 \text{ мм}$.

$$D_p = 2 \cdot 1400 \cdot \sqrt{1 - 3 \cdot \left(\frac{0}{1400} \right)^2} = 2800 \text{ мм}.$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

Оскільки діаметр штуцера виходу пари ($D_y = 300 \text{ мм}$), то зміцнення отвору також потрібне.

Подальший розрахунок зміцнення отворів проводимо для більшого значення $D_y = 500 \text{ мм}$.

Перевірочний розрахунок зміцнення отвору:

$$\ell_{1R} \cdot (S_1 - S_{1R} - c) \cdot \chi_1 + \ell_{2R} \cdot S_2 \cdot \chi_2 + \ell_{3R} \cdot (S_3 - 2 \cdot c) \cdot \chi_3 + \ell_R \cdot (S - S_R - c) \geq 0,5 \cdot (d_R - d_{0R}) \cdot S_R,$$

де ℓ_{1R} , ℓ_{3R} – розрахункові довжини зовнішньої та внутрішньої частини штуцера.

Приймаємо $S_2 = 0$, при цьому довжину зовнішньої частини штуцера ℓ_1 відраховуємо від зовнішньої поверхні апарату.

Розрахункова товщина стінки люка, навантаженого внутрішнім тиском:

$$S_{1R} = \frac{P \cdot (d + 2 \cdot c)}{2 \cdot \phi_1 \cdot [\sigma]_1 - P}, \quad (3.18)$$

де P – тиск в апараті;

d – внутрішній діаметр люка;

c – сумарна надбавка до розрахункової товщини стінки люка;

ϕ_1 – коефіцієнт міцності подовжнього зварного з'єднання люка;

$[\sigma]_1$ – напруга, що допускається для матеріалу зовнішньої частини при розрахунковій температурі.

$$S_{1R} = \frac{0,1 \cdot (500 + 2 \cdot 4)}{2 \cdot 0,65 \cdot 173 - 0,1} = 0,22 \text{ мм}.$$

Розрахункові довжини зовнішньої і внутрішньої частини штуцера відповідно ($S_1 = S_3 = 18 \text{ мм}$):

$$\ell_{1R} = 1,25 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c) \cdot (S_1 - c)}, \quad (3.19)$$

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

$$l_{1R} = 1,25 \cdot \sqrt{(500 + 2 \cdot 4) \cdot (18 - 4)} = 105 \text{ мм}.$$

$$l_{3R} = 0,5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c) \cdot (S_3 - 2 \cdot c)}, \quad (3.20)$$

$$l_{3R} = 0,5 \cdot \sqrt{(500 + 2 \cdot 4) \cdot (18 - 2 \cdot 4)} = 36 \text{ мм}.$$

Розрахункова ширина і діаметр отвору зони зміцнення:

$$l_R = d_{0R} = \sqrt{D_R \cdot (S - c)}, \quad (3.21)$$

$$l_R = d_{0R} = \sqrt{1400 \cdot (8 - 4)} = 75 \text{ мм}.$$

де $X_1 = \chi_2 = \chi_3 = 1$ – матеріал люка і апарату один і той же.

Розрахунковий діаметр отвору штуцера:

$$d_R = \frac{d + 2 \cdot c}{\sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot x}{D_R}\right)^2}}, \quad (3.22)$$

$$d_R = \frac{500 + 2 \cdot 4}{\sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot 0}{1400}\right)^2}} = 508 \text{ мм}.$$

Розрахункова товщина стінки, навантажених внутрішнім надмірним тиском:

$$S_R = \frac{P \cdot D_R}{4 \cdot \phi \cdot [\sigma] - P}, \quad (3.23)$$

$$S_R = \frac{0,1 \cdot 1400}{4 \cdot 0,65 \cdot 173 - 0,1} = 0,31 \text{ мм}.$$

Розрахунковий діаметр отвору, що не вимагає зміцнення за відсутності надмірної товщини стінки судини:

$$d_{0R} = 0,4 \cdot \sqrt{D_R \cdot (S - c)}, \quad (3.24)$$

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

$$d_{0R} = 0,4 \cdot \sqrt{1400 \cdot (8 - 4)} = 30 \text{ мм.}$$

$$105 \cdot (18 - 2,8 - 4) \cdot 1 + 36 \cdot (18 - 2 \cdot 4) \cdot 1 + 75 \cdot (22 - 0,31 - 4) \geq 0,5 \cdot (508 - 30) \cdot 0,31$$

$$2863 > 74$$

Умова виконується. Зміцнення отворів проведене за рахунок потовщення стінки штуцера (люка).

3.4 Розрахунок на вітрове навантаження

Ректифікаційну колону розраховують як консольну балку, навантажену рівномірно розподіленим вітровим навантаженням, що діє на корпус колони, і зосередженими силами, які є рівнодійними сил вітрового натиску на окремі елементи конструкції (сходи, площадки, теплообмінники тощо).

Момент від розподіленого навантаження обчислюється як рівнодіюча, прикладена до середини апарату:

$$M = \beta \cdot c \cdot q \cdot D \cdot H, \quad (3.25)$$

де β – коефіцієнт збільшення швидкісного напору вітру за рахунок динамічного впливу, викликаного поривами вітру;

c – аеродинамічний коефіцієнт обтікання (для циліндричних апаратів $c = 0,6$);

q – значення вітрового напору на висоті, що відповідає середині розрахункового ділянки, Н/м² [13];

D – зовнішній діаметр колони, м;

H – висота розрахункової ділянки (у нашому випадку висота апарату), м.

Коефіцієнт збільшення швидкісного напору вітру визначається за формулою:

$$\beta = 1 + \zeta \cdot m, \quad (3.26)$$

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

де ζ – коефіцієнт динамічності, який знаходять за графіком залежно від періоду власних коливань апарату [13];
 m – коефіцієнт пульсації швидкісного напору вітру; приймають за графіком залежно від висоти колони H [13].

$$\beta = 1 + 1,4 \cdot 0,8 = 2,12.$$

$$P = 2,12 \cdot 0,6 \cdot 3,21 \cdot 1,416 \cdot 18,450 = 106,7 \text{ МПа}$$

Умова міцності на навітряній стороні апарату:

$$P \leq [\sigma] \cdot \varphi;$$

$$106,7 \leq 152 \cdot 1 = 152 \text{ МПа}.$$

Умову виконано.

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

4 Монтаж та ремонт апарата [14]

При монтажі повністю зібраного апарата спочатку апарат збирається з блоків, а потім приварюється опора. Стикуючі частини апарату підтягують один до одного трубоукладачами або тракторами. Для збігу стиків по всьому периметру до кромки однієї зі стикуючих частин приварюють вісім і більше напрямних планок (рис. 4.1), які після прихватки стику короткими звареними швами зрізають газокисневим різанням. Стиковку роблять за заводськими контрольними рисками або Керн, нанесеним на корпусах, ретельно з'єднують, а також по маркуванню на деталях. Відхилення розмірів ділянок що стикуються повинні бути в межах допустимих норм: зміщення кромки в кільцевих швах не повинно перевищувати 10 % товщини листа апарату, а в разі двошарової сталі повинно бути не більше товщини шару.

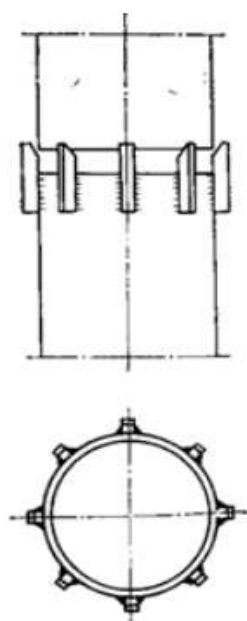


Рисунок 4.1 – Стиковка обичайок

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

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

виконані з двошарової сталі, прихоплюють на основному шарі. Технологія зварювання (спосіб і режим зварювання, порядок накладення швів і термооброблення) наводиться в проектній документації заводу-виготовлювача. Ділянка території, де проводиться зварювання, повинна бути захищена від атмосферних опадів та вітру для запобігання забруднення шва. Бажано зварювання виконувати на роликовому стенді, на рамі якого встановлюють один або два зварювальних автомати. Для зварювання внутрішнього шва один автомат розміщують всередині апарату. Після завершення зварювання остаточно перевіряють всі розміри зібраного апарату, які повинні бути в межах допусків. Корпуси відповідальних колонних апаратів повинні відповідати таким вимогам: відхилення довжини не повинно перевищувати 0,3 % від проектного; кривизна циліндра на ділянці 1 м повинна бути не більше 2 мм, а для апаратів вище 10 м – не більше 3 мм.

Тарілка – це контактний пристрій в колонній апаратурі, поверхня контакту фаз в яких утворюється в процесі руху взаємодіючих потоків по поверхні тарілки. Спосіб монтажу ректифікаційних тарілок залежить від їх конструкції і технологічного призначення. Їх можна збирати при вертикальному (робочому) і горизонтальному положенні колони. Другий спосіб дозволяє скоротити загальну тривалість монтажних робіт, але пов'язаний із застосуванням пристосувань великої вантажопідйомності для підйому апарату (рис. 4.2).

При горизонтальному положенні апарату тарілки встановлюють строго вертикально; їх положення перевіряють по схилу, що накладають на декількох точках, і по заздалегідь нанесеним на внутрішніх стінках апарату мітках, для чого апарат доводиться повертати навколо осі на 90°. Значно легше забезпечити суворе горизонтальне положення тарілок в уже установленому, вивіреному і закріпленому на фундаменті корпусі апарату; в цьому випадку достатньої точності добиваються або за допомогою рівня, або заливаючи на поверхню тарілки воду.

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

виконавця ремонтних робіт (слюсарі-ремонтники). Як правило, при ремонті колонних апаратів з внутрішніми пристроями тарільчатого типу передбачається наступний склад робіт: приймання колони в ремонт за актом представником ремонтної організації (майстром ремонтно-механічної бригади). При виконанні ремонту колони рекомендується наступний порядок проведення робіт. Перед тим як безпосередньо приступати до ремонту необхідно отримати інструктаж з охорони праці, техніки безпеки, газобезпеки, пожежної безпеки і оформити наряд допуск на проведення газонебезпечних робіт всередині колони.

Керівник ремонтного підрозділу (майстер РМЦ, виконроб) повинен ознайомитися з результатами підготовчих робіт до ремонту колони або в цілому установки, зазначених в наряді допуску, з умовами, характером та обсягом робіт на місці їх виконання. Отримати дозвіл особи, відповідальної за організацію безпечного проведення газонебезпечних робіт в цеху (начальника або заст. начальника цеху) і приступити до виконання ремонтних робіт.

Розтин люків-лазів роблять, починаючи із верхнього, і далі послідовно зверху вниз. Забороняється одночасно відкривати верхній і нижній люки-лази щоб уникнути підсосу повітря в колону і займання пароповітряної суміші (або пірофорних з'єднань).

Працівниками технологічного цеху проводиться відбір проб повітря з усіх люків колони. Результати аналізів на вміст вибухонебезпечних і вибухопожежонебезпечних речовин і на вміст кисню записуються в наряді допуску. Для проведення подальших робіт необхідно отримати акти від співробітників ГСС, які підтверджують, що зміст вибухо і пожежонебезпечних речовин в повітрі колони нижче ГДК, а вміст кисню не нижче 18% об'ємних. Для демонтажу та монтажу внутрішніх пристроїв монтують блок з оснащенням, електролебідку. Якщо існує ймовірність значної забрудненості повітряного середовища усередині апарату під час чищення встановлюють на нижній люк колони вентилятор для подачі в колону чистого повітря.

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

Перед початком ремонту перевіряють температуру повітряного середовища всередині колони, яка не повинна перевищувати 30 С. Під час чищення колони і розбирання тарілок працюють в колоні по двоє людей в кожному люку: один всередині колони в шланговому протигазі з рятувальним поясом і сигнально рятувальної мотузкою; другий спостерігаючий дублер: зовні поруч з люком зі шланговим протигазом.

Маска повинна бути в положенні "напоготові". При роботі в колонах великого діаметра (3 і більше метрів) допускається доступ всередину 4-х, 6-ти і більше осіб, дотримуючись при цьому заходів безпеки.

Очищення стінок міжтарілочного простору, опорних конструкцій тарілок, зливних кишень і стінок кубової частини колони роблять за допомогою металевих скребків і щіток, а також за допомогою механізованих пристосувань і інструментів. Відкладення і бруд видаляють з колони дерев'яними лопатами через люк-лаз і спускають їх вниз в цеберко зі спеціальними жолобами або відрами з використанням блоку.

Тарілки розбирають в кожному люку послідовно, починаючи з верхньої. Повне розбирання всіх тарілок роблять по секціях (сегментах), спуск секцій тарілок проводиться за допомогою встановленої у верхній частині колони поворотною кран-укосини потрібної вантажопідйомності.

Чистку тарілок проводять на зовнішньому майданчику в захисних окулярах за допомогою металевих скребків і щіток.

Одночасно проводять продування секцій паром і відбраковування дефектних деталей тарілок шляхом легкого обстукування молотком вагою від 0,5 до 1 кг.

Після чищення проводять заміну частини ковпачків. Деталі ковпачків виготовляють заново і збираються. Найбільш відповідальною операцією є приварка шпильки до корпусу ковпачка, так якщо ці деталі не будуть на одній осі правильне встановлення ковпачка являється неможливим. Співвісність деталей забезпечується спеціальною оправкою, яка дозволяє також змінювати

					<i>ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		49

висоту шпильки шляхом її часткового розгинання при затягуванні гайки.

Відбраковані деталі тарілок опускають на позначку 0.00 за допомогою електролебідки. При наявності на технологічному майданчику самохідних кранів з необхідними технічними характеристиками деталі тарілок опускаються на майданчик з їх допомогою. При ремонті корпусу колони куруються ОТУ 2 - 92, відповідно до яких розробляється технологія усунення дефектів корпусу і його покриття. Ремонт опорних конструкцій тарілок, зливних кишень вогневими методами з використанням ручного дугового електрозварювання (РДЕЗ) і газозварювання проводять після оформлення дозволу на проведення вогневих робіт всередині апарату, дозволу на проведення газонебезпечних робіт і наряду - допуску на проведення робіт підвищеної небезпеки на кожен робочу зону, при позитивних аналізах повітряного середовища всередині колони. За результатами внутрішнього і зовнішнього огляду при наявності розпорядження інспектора відділу технічного нагляду або відповідного органу РТН проводять підвар дефектних ділянок зварних швів корпусу колони. Найбільш зношені ділянки корпусу колони вирізають, а на їх місце ставлять нову ділянку, заздалегідь звальцьовану по радіусу колони. Тип зварювання - встик. Вирізання великих ділянок корпусу може привести до ослаблення перетину і порушення стійкості. Тому до вирізання дефектного ділянки його зміцнюють стійками, що встановлюються всередині або зовні. Число й перетин стійок, розміри опорних лап розраховують, виходячи з умови рівності їх опорів опору вирізаного перетину. За допомогою таких стійок можна замінити весь пошкоджений пояс колони декількома частинами.

Проводять заміну штуцерів і різьбових з'єднань за окремим вогнево-мозовому дозволу, дозволу на проведення газонебезпечних робіт і нарядом - допуском, при позитивних аналізах повітряного середовища всередині колони. Ремонт тарілок зазвичай полягає в заміні зношених деталей і кріпильних виробів. Відремонтовані і замінені деталі тарілок піднімають на майданчики за допомогою електролебідки, подають їх в колону вручну мотузками через люки-

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

лази. Монтаж секцій тарілок всередині колони можна проводити за допомогою блоків і поліспастів. При наявності на майданчику самохідних кранів з відповідними технічними характеристиками подачу тарілок на майданчики можна здійснювати з їх допомогою.

Збірку тарілок проводять аналогічно розбиранню, в зворотному порядку, знизу-вгору. При складанні тарілок контролюють горизонтальність установки тарілок за шаблоном або за допомогою лінійки і рівня. Відхилення від горизонтальності має бути в допустимих межах, визначених індивідуально для кожного типу тарілок в "Інструкції з технічного нагляду, ревізії і відбракування" (ІТН-93). Перевірку правильності установки клапанів, жолобів і інших деталей тарілок здійснюють наливом води на тарілку і подачею повітря в низ колони, при цьому рівномірність барботажа свідчить про правильність встановлення тарілки. Після закінчення встановлення тарілок і ремонту колони якість проведених ремонтних робіт перевіряє представник адміністрації цеху, відповідальний за проведення ремонту (старший механік цеху, заст. начальника цеху з ремонту). Після цього з колони прибирають сторонні предмети, матеріали, інструменти, пристосування і закривають люки-лази. Люки-лази закривають знизу-вгору, починаючи з нижнього, з заміною зношених прокладок і різьбових з'єднань.

Проводять гідравлічне випробування колони пробним тиском зі здачею за актом представнику відділу технічного нагляду підприємства або інспектору відповідного органу РТН. Гідравлічне випробування проводиться відповідно до "Методичних вказівок по гідравлічному випробуванню посудин, що працюють під тиском" по інструкції, розробленій з урахуванням вимог технічного проекту і інструкції по монтажу і експлуатації апарату підприємства - виробника. Якщо апарат працює під тиском шкідливих речовин 1, 2, 3, 4-го класів небезпеки за ГОСТ 12.1.007, то проводять пневматичне випробування апарату на герметичність повітрям або інертним газом під тиском, що дорівнює робочому.

					<i>ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		51

Згідно із рішенням X Міжнародної конференції статистів рекомендовано за основний показник травматизму приймати коефіцієнт частоти травматизму на 10 відпрацьованих людино-годин, тобто:

$$K_v = T \cdot 10 / n, \quad (5.2)$$

де n – фактичне число відпрацьованих людино-годин за проаналізований період.

Коефіцієнт тяжкості травматизму – середній термін непрацездатності, що припадає на один нещасний випадок:

$$K_T = D / T, \quad (5.3)$$

де D – загальне число днів непрацездатності за проаналізований період.

Показник частоти захворюваності визначають як число випадків на 100 працюючих:

$$K_z = 3 \cdot 100 / N, \quad (5.4)$$

де 3 – число захворювань за проаналізований період.

Аналогічно визначають **тяжкість захворювань**:

$$K_{tz} = D / Z, \quad (5.5)$$

де D – загальне число днів непрацездатності.

Коефіцієнт, який враховує стійку втрату працездатності та загибель людей є коефіцієнт нещасних випадків із смертельним наслідком та каліцтвом:

$$K_{ck} = n_{ck} / n \cdot 100\%, \quad (5.6)$$

де n_{ck} - кількість нещасних випадків, що призвели до смерті і каліцтва.
 n - загальна кількість нещасних випадків.

Вищенаведені показники, дозволяють вивчати динаміку травматизму на підприємстві, в галузі, регіоні тощо, порівнювати ці показники, робити певні висновки, застосовувати організаційні заходи, спрямовані на профілактику травматизму.

основне та допоміжне обладнання, трудові прийоми, засоби індивідуального захисту, умови виробничого середовища, метеорологічні умови в приміщенні, освітленість, загазованість, запиленість, шум, вібрація, випромінювання, причини нещасних випадків, що сталися раніше на даному робочому місці. Таким чином, нещасний випадок вивчається комплексно. Цей метод дозволяє аналізувати не лише нещасні випадки, що відбулися, але й виявити потенційно небезпечні фактори, а результати використати для розробки заходів охорони праці, вдосконалення виробництва.

Економічний метод аналізу полягає у визначенні економічної шкоди, спричиненої травмами та захворюваннями, – з одного боку та економічної ефективності від витрат на розробку та впровадження заходів на охорону праці – з другого. Ці методи дозволяють знайти оптимальне рішення, що забезпечить заданий рівень безпеки, однак вони не дозволяють вивчити причини травматизму та захворювань.

Методи анкетування передбачають письмове опитування працюючих з метою отримання інформації про потенційні небезпеки трудових процесів, про умови праці. Для цього розробляються анкети для робітників, в яких в залежності від мети опитування визначаються питання та чинники. На підставі анкетних даних (відповідей на запитання) розробляють профілактичні заходи щодо попередження нещасних випадків.

Ергономічні методи ґрунтуються на комплексному вивченні системи “людина – машина – виробниче середовище”. Відомо, що кожному виду трудової діяльності відповідають певні фізіологічні, психофізіологічні і психологічні якості людини, а також антропометричні дані. Тому при комплексній відповідності вказаних властивостей людини і конкретної трудової діяльності можлива ефективна і безпечна робота. Порушення відповідності веде до нещасного випадку. Ергономічні методи дозволяють знайти невідповідності та усунути їх.

Психофізіологічні методи аналізу травматизму враховують, що здоров'я і працездатність людини залежать від біологічних ритмів функціонування організму. Такі явища, як іонізація атмосфери, магнітне і гравітаційне поле Землі, активність Сонця, гравітація Місяця та ін., викликають відповідні зміни в організмі людини, що змінюють її стан і впливають на поведінку не на краще. Це призводить до зниження сприйняття дійсності і може спричинитися до нещасних випадків.

Метод експертних оцінок базується на експертних висновках (оцінках) умов праці, на виявленні відповідності технологічного обладнання, пристроїв, інструментів, технологічних процесів вимогам стандартів та ергономічним вимогам, що ставляться до машин, механізмів, обладнання, інструментів, пультів керування. Виявлення думки експертів може бути очним і заочним (за допомогою анкет) [16].

Аналіз травматизму, тобто пізнання й виявлення його причин, розширює коло інженерних, санітарно-гігієнічних, психофізіологічних і правових знань, дозволяє поглянути на звичний виробничий процес по-новому і відкрити в ньому певні закономірності прояву небезпек. Результати аналізу дозволяють шукати заходів, необхідних для попередження травматизму, що зрештою допомагає удосконалити окремі види робіт, технологічних ліній. У зв'язку з цим, важливо удосконалювати, розширювати загальні підходи і методи вивчення виробничого травматизму у відповідності до існуючих соціально-економічних умов [17].

Список літератури

1. 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.
2. Иоффе И.Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии / И.Л. Иоффе. – Л. : Химия, 1991. – 352 с.
3. 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.
4. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М. : Химия, 1973. – 752 с.
5. 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.
6. Основные процессы и аппараты химической технологии : Пособие по проектированию / Под ред. Дытнерского Ю. И. – М. : Химия, 1983. – 272 с.
7. Охрана труда в машиностроении : Учебн. для машиностр. вузов / Под ред. Юдина Е. Я., Белова С. В. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1983. – 432 с.
8. Лазинский А. А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / А. А. Лазинский, А. Р. Толчинский. – Л. : Машиностроение, 1970. – 752 с.
9. Лазинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов : Справочник / А. А. Лазинский. – Л. : Машиностроение, 1981. – 382 с.
10. Марочник сталей и сплавов / В. Г. Сорокин, А. В. Волосникова, С. А. Вяткин [и др.]. – Под общ. ред. Сорокина В. Г. – М. : Машиностроение, 1989. – 640 с.

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58

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

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

13. 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. Основи охорони праці. Методи аналізу травматизму [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://library.if.ua/book/86/6056.html>.

16. Аналіз причин виробничого травматизму і професійної захворюваності [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://срo.stu.cn.ua/Oksana/posibnik/450.html>.

17. Єрічева Т. Ю. Виробничий травматизм: актуальні аспекти та методи аналізу причин / Т. Ю. Єрічева // Вісник НТУ «ХПІ». – 2017. – № 19 (1241). – С. 131–135.