МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра хімічної інженерії

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 ректифікаційну колону з ситчастими тарілками

Виконав:
студент групи ХМз-71с

Дудченко Артем Володимирович

_____
підпис

Залікова книжка
№ _____

Кваліфікаційна робота бакалавра захищена на засіданні ЕК

з оцінкою _____

"___" _____ 20___ р.

Керівник:
канд. техн. наук, ст. викладач

Острога Руслан Олексійович

_____
підпис, дата

Підпис голови
(заступника голови) комісії _____

СУМИ 2021

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-71с Семестр 8

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Студенту Дудченку Артему Володимировичу

1 Тема роботи: Установка розділення суміші бензол – толуол. Розробити ректифікаційну колону з ситчастими тарілками

2 Вихідні дані: Розробити ректифікаційну колону для розділення суміші бензол – толуол. Продуктивність проектованого апарату становить 96 т/добу. Вміст легколеткого компоненту в початковій суміші 26,7 % мас.; у дистиляті 94 % мас.; у кубовому залишку 4,3 % мас. Тиск у колоні 0,1 МПа. Типа тарілок – ситчасті.

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

1. Технологічна схема ректифікаційної установки – 0,5 арк.
2. Складальне креслення ректифікаційної колони – 1,0 арк.
3. Складальні креслення тарілки і кришки – 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. Врагов А. П. Матеріали до розрахунків процесів та обладнання хімічних і газонафтопереробних виробництв: Навчальний посібник / А. П. Врагов, Я. Е. Михайловський, С. І. Якушко. – Суми : СумДУ, 2008. – 170 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 _____ ст. викл. Острога Р.О.
підпис

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 58 с., 5 рис., 2 табл., 3 додатки, 17 джерел.

Графічні матеріали: технологічна схема ректифікаційної установки, складальне креслення ректифікаційної колони, складальне креслення ситчастої тарілки, складальне креслення кришки – усього 4 аркуша графічної частини (3,0 × формат А1).

Тема кваліфікаційної роботи «Установка розділення суміші бензол – толуол. Розробити ректифікаційну колону з ситчастими тарілками».

У роботі наведено теоретичні основи та особливості процесу ректифікації для розділення бінарних сумішей на окремі компоненти, виконані технологічні розрахунки процесу, визначені габаритні розміри апарату та його гідравлічний опір, обґрунтовано вибір матеріалу для виготовлення основних деталей та вузлів проектованого апарату, розраховано і підібрано допоміжне обладнання. Розрахунками на міцність і герметичність показана надійність роботи запроектованого апарату. Окремим розділом представлені монтаж і ремонт ректифікаційної колони. У розділі «Охорона праці» розглянуто основні ізолювальні електрозахисні засоби для роботи на електроустановках, а також правила користування ними та терміни випробувань.

Ключові слова: ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА, РЕКТИФІКАЦІЙНА КОЛОНА, СИТЧАСТА ТАРІЛКА, БЕНЗОЛ, ТОЛУОЛ, МІЦНІСТЬ, ЕЛЕКТРОЗАХИСНИЙ ЗАСІБ.

Зміст

	С.
Вступ	5
1 Технологічна частина	6
1.1 Опис технологічної схеми установки	6
1.2 Теоретичні основи ректифікаційних процесів	7
1.3 Опис об’єкта розроблення та вибір основних конструкційних матеріалів	12
2 Технологічні розрахунки процесу і апарата	17
2.1 Технологічні розрахунки	17
2.2 Конструктивні розрахунки	25
2.3 Гідравлічні розрахунки	30
2.4 Вибір допоміжного обладнання	36
3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність	42
3.1 Визначення товщини стінки апарата, кришки	42
3.2 Розрахунок опори апарата	45
4 Монтаж та ремонт апарата	48
4.1 Монтаж апарата	48
4.2 Ремонт апарата	50
5 Охорона праці	53
Список використаних джерел	57
Додаток А – Рівноважна і робоча лінії на х – у діаграмі	
Додаток Б – Крива рівноваги бінарної суміші	
Додаток В – Специфікації	

Вступ

Ректифікація – це один із способів розділення рідких сумішей заснований на різному розподілі компонентів суміші між рідкою і паровою фазами. У якості апаратів для проведення ректифікації використовуються ректифікаційні колони, які складаються із власне самої колони, де здійснюється протитечійне контактування пари і рідини, та пристроїв, в яких відбувається випаровування рідини і конденсація пари – куба і дефлегматора відповідно [1].

Ректифікаційна колона являє собою вертикальний порожнистий циліндр, усередині якого встановлені контактні пристрої різної конструкції (тарілки) або поміщений фігурний кусковий матеріал (насадка). Куб і дефлегматор – це звичайні кожухотрубні теплообмінники (також знаходять застосування апарати повітряного охолодження, трубчасті печі і куби-випаровувачі) [2].

Основне призначення тарілок і насадки – поділ міжфазної поверхні і поліпшення контакту між рідиною і парою. Тарілки, як правило, забезпечуються пристроєм для переливу рідини. У якості насадки ректифікаційних колон зазвичай використовуються кільця, діаметр яких дорівнює їх висоті. В тарілчастих ректифікаційних колонах, так само як і в насадкових, кінетична енергія пари використовується для подолання гідравлічного опору контактних пристроїв і для створення динамічної дисперсної системи пара – рідина з великою міжфазною поверхнею. Існують також ректифікаційні колони з підведенням механічної енергії, в яких дисперсна система створюється при обертанні ротора, встановленого по осі колони. Роторні апарати мають менший перепад тиску по висоті, що особливо важливо для процесів, що ведуться під вакуумом [2].

У даній кваліфікаційній роботі розроблено ректифікаційну колону з ситчастими тарілками у якості внутрішніх контактних пристроїв, яка служить для розділення бінарної суміші бензол – толуол. Загалом проект виконано у відповідності до методичних вказівок [3] із представленням усіх регламентованих розділів.

1 Технологічна частина

1.1 Опис технологічної схеми установки

Технологічна схема ректифікаційної установки для розділення суміші бензол – толуол представлена на рис. 1.1.

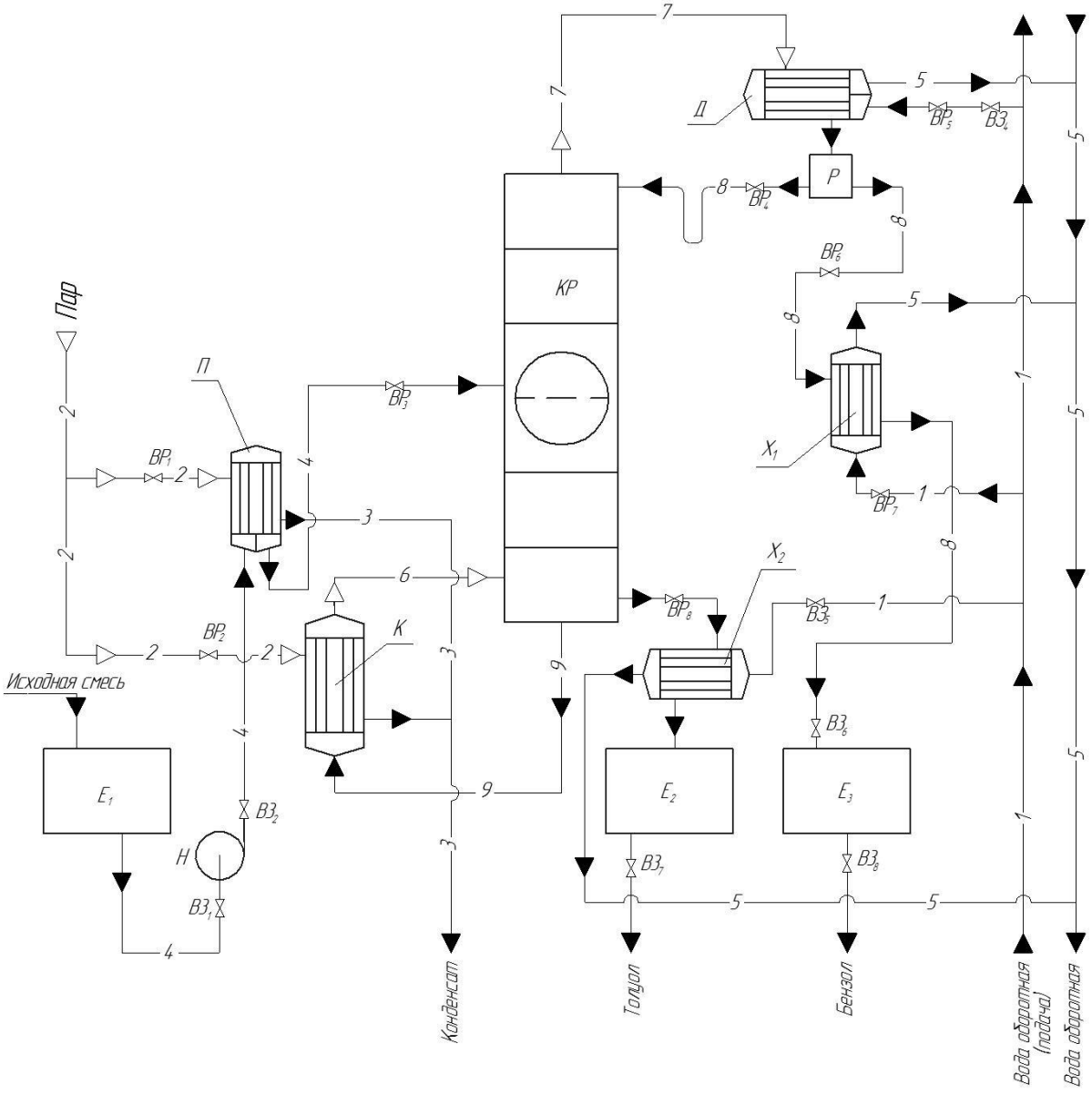


Рисунок 1.1 – Технологічна схема ректифікаційної установки:

$Е_1$, $Е_2$, $Е_3$ – ємності; Н – відцентровий насос; П – підігрівач;

К – кип’ятильник; КР – колона ректифікаційна;

$Х_1$, $Х_2$ – холодильники; Д – дефлегматор; Р – розподілювач

Принцип роботи даної установки полягає у наступному. Бінарна суміш, яка складається з толуолу і бензолу, із первісної ємності за допомогою відцентрового насосу подається у підігрівач, де нагрівається до температури початку кипіння.

Уже підігріта суміш спрямовується у секцію живлення атмосферної ректифікаційної колони з ситчастими тарілками. Тарілка живлення умовно розділяє колону на дві частини: верхню – зміцнюючу і нижню – вичерпну. На тарілці живлення склад рідини відповідає складу вихідної бінарної суміші.

У результаті розділення суміші з нижньої частини колони відводиться толуол, який спрямовується до споживача. Частина толуолу відбирається із нижньої частини колони і виходить у кип'ятильник, де відбувається його вскипання. Таким чином утворюється пара висококиплячого компоненту, який повертається під нижню тарілку ректифікаційної колони у якості парового зрошення.

У верхній частині колони відбувається процес зміцнення пари низькокиплячим компонентом за рахунок багатоступеневого контактування на масообмінних тарілках зі стікаючою зверху униз флегмою. Пара, що відводяться з верхньої частини колони, надходять у дефлегматор, де конденсується у міжтрубному просторі апарату за рахунок відведення тепла холодоагенту, що рухається у трубному просторі. Частина отриманого конденсату відбирається і у вигляді флегми повертається в колону на зрошення її верхньої частини. Дистилят додатково охолоджується в холодильнику і спрямовується до відповідного збірника. Далі отриманий рідкий бензол може бути використаний, як вихідний реагент для синтезу найрізноманітніших сполук, а також у якості розчинника для інших реакцій.

1.2 Теоретичні основи ректифікаційних процесів [2, 4, 5]

При ректифікації перенесення речовини *M*, що розподіляється, відбувається за умов турбулентного руху фаз. Приймемо також, що речовина переходить із фази Φ_y, де концентрація речовини *M* вище рівноважної, у фазу

Φ_X. Таким чином, здійснюється процес масовіддачі із основної маси фази Φ_Y до поверхні розділу фаз і процес масовіддачі від поверхні розділу до основної маси фази Φ_X. У результаті таких частинних процесів, а також подолання опору перенесення через саму поверхню розділу фаз (якщо він має суттєву величину), і відбувається процес масопередачі – перехід речовини із однієї фази в іншу.

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

Такий характер зміни концентрацій пояснюється гальмуючою дією сил тертя між фазами і сил поверхневого натягу на кордоні рідкої фази. Дією цих сил обумовлена схожість між зміною концентрації розподілюваної речовини при масовіддачі і зміною температур біля твердої стінки в процесі тепловіддачі.

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

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

В основу більшості моделей покладені наступні припущення:

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

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

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

$$q = \frac{D}{\delta_{ЕФ}} \cdot \left(c_0 - c_{ГР}\right), \qquad (1.1)$$

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

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

Для фази по іншу сторону поверхні розділу величина q пропорційна різниці концентрацій на кордоні і в ядрі фази.

У рівнянні (1.1) $D/\delta_{ЕФ}$ – коефіцієнт, що характеризує швидкість масовіддачі, а величина $\delta_{ЕФ}$ за своїм змістом – товщина деякого прикордонного шару, опір якого молекулярній дифузії еквівалентно опору перенесення, зумовленого в дійсності конвективною дифузією.

У плівковій моделі значно спрощено справжні гідродинамічні умови поблизу кордону розділення фаз, де відбувається загасання турбулентності. З цієї причини більшість дослідних даних не підтверджують залежності $q \sim D$, як випливає із рівняння (1.1), якщо вважати, що величина $\delta_{ЕФ}$ не залежить від D.

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

Матеріальний баланс ректифікаціної колони.

За потоками:

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

За легколетючим компонентом:

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

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

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

Тепловой баланс ректификационной колонны.

Прихід тепла:

- з теплоносієм в кип’ятильнику Q_K;
- з вихідною сумішшю Q_F;
- з флегмою $Q_Ф$.

Витрата тепла:

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

Таким чином, рівняння теплового балансу:

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

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

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

де R = Ф / D – флегмове число.

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

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

де f = F / D.

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

Положеннння робочих ліній безперервної ректифікації на у-х-діаграмі відображено на рис. 1.2.

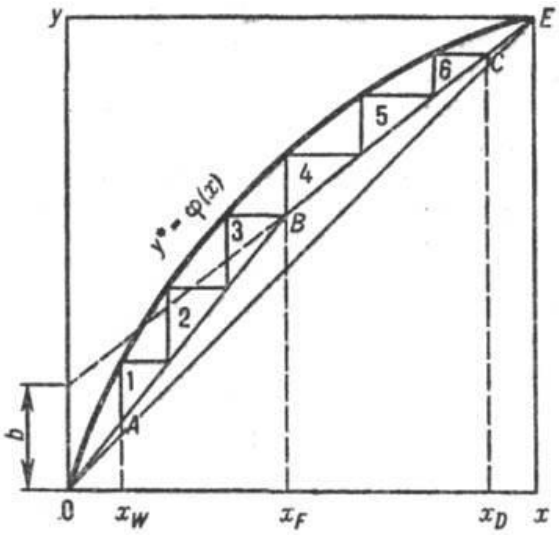
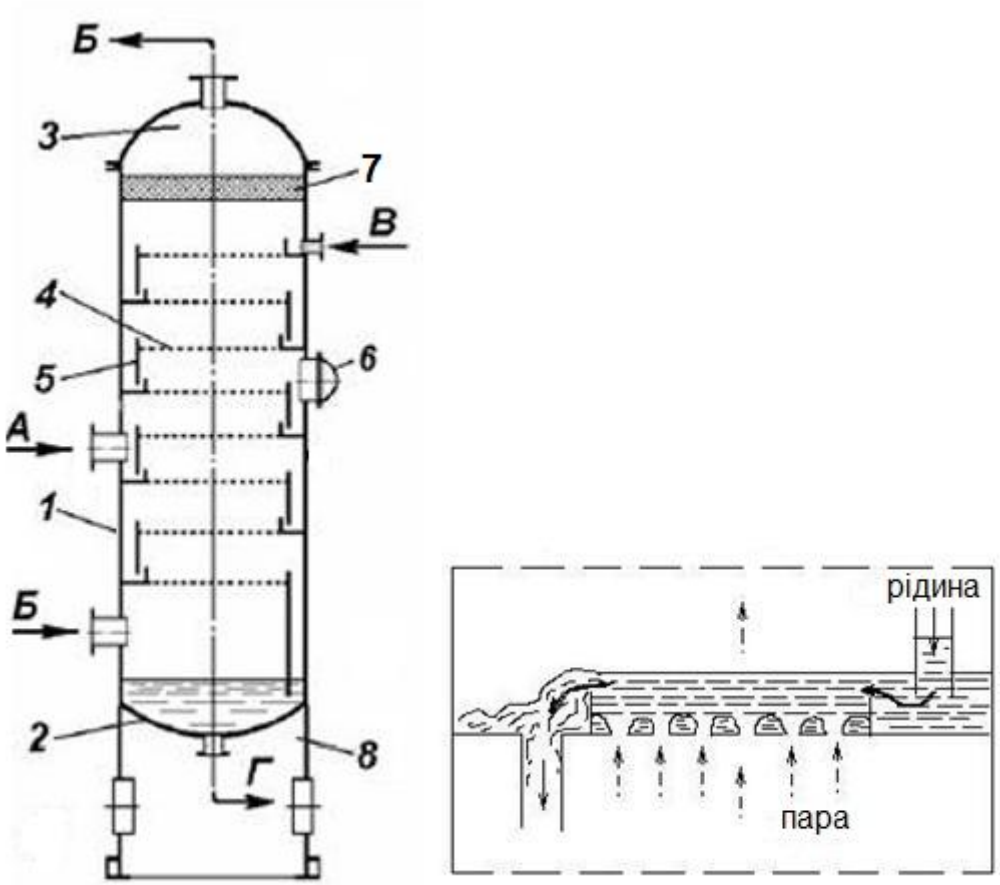


Рисунок 1.2 – Графічне визначення числа теоретичних тарілок:
ОЕ – рівноважна крива; АВ и ВС – робочі лінії для зміцнюючої в вичерпної частин колони; 1–6 – тарілки

Для аналізу роботи колони, розрахунку складу дистиляту і залишку і розподілу концентрацій ЛЛК по висоті апарату використовують поняття про теоретичні ступені поділу, або теоретичні тарілки ($Т_Т$). Така ступінь (тарілка) відповідає деякій гіпотетичній ділянці апарату, де рідина і пар знаходяться в рівновазі. Число $Т_Т$ ($n_т$), необхідне для отримання дистиляту і залишку заданого складу, можна знайти графічно за допомогою у-х-діаграми (рис. 1.2), описує залежність між рівноважними молярними концентраціями парової (у*) і рідкої (х) фаз. Для визначення nт на графіку будують ступінчасту лінію між рівноважною кривою у* = f(x) і ламаною лінією АВС. Лінія АВ відповідає рівнянню (1.6), лінія ВС – рівнянню (1.5). У представленому прикладі для поділу вихідної суміші на дистилят складу X_D і залишок складу X_W потрібно по 3 $Т_Т$ в зміцнюючій і вичерпній частинах колони.

1.3 Опис об’єкта розроблення та вибір основних конструкційних матеріалів

Нашим об’єктом дослідження є тарілчаста ректифікаційна колона (рис. 1.3, а).



а б

Рисунок 1.3 – Схема тарілчастої колони (а)
та принцип роботи ситчастої тарілки (б):
1 – корпус; 2 – днище; 3 – кришка; 4 – ситчаста тарілка; 5 – переливна стінка;
6 – люк-лаз; 7 – бризкоуловлювач; 8 – циліндрична опора

За конструкцією це вертикальний циліндричний апарат, до якого приварені днище і кришка відповідно. Усередині апарату у якості контактних пристроїв встановлені ситчасті тарілки (рис. 1.3, б). За допомогою тарілок секціонується простір усередині колони та створюється спрямований рух газової та рідинної фаз.

Перевагою ситчастих тарілок є великий вільний перетин тарілки, висока продуктивність за парою, простота виготовлення, мала металоємність. Продуктивність за парою у цих тарілок на 30–60 % більша, аніж у ковпачкових. Недоліком є висока чутливість до точності установки.

Ситчасті тарілки зі зливним пристроєм застосовують у колонних апаратах діаметром 400–4000 мм при відстані між тарілками більше 200 мм. Принцип кріплення секцій полотна до корпусу і пристрою переливів у ситчастих тарілок аналогічний із ковпачковими і клапанними тарілками.

Принцип роботи колони полягає у наступному. Пара, що утворилася у випарнику, повертається під нижню тарілку колони, тим самим забезпечуючи її паровим зрошенням. Унизу колони температура майже дорівнює температурі кипіння толуолу.

Попередньо нагріта до кипіння вихідна суміш подається на тарілку живлення колони, яка ділить колону на дві частини: нижню (вичерпну) і верхню (зміцнюючу). Вихідна суміш із живильної тарілки стікає на нижче розташовані, взаємодіючи на своєму шляху з парою , що рухається від низу до верху по колоні. У результаті такої взаємодії пара збагачується бензолом, а стікаюча вниз рідина, навпаки, збіднюється цим компонентом, а збагачується толуолом. У нижній частині колони йде процес вичерпання легколеткого компоненту із вихідної суміші.

Для збереження високої чистоти розділюваних компонентів, необхідно здійснювати рідинне зрошення верхньої частини колони. Утворений дистилят ділиться на два потоки: один у вигляді продукту спрямовується на подальше охолодження і на склад готової продукції, а інший повертається назад у колону в якості флегми. На верхній тарілці колони температура майже дорівнює температурі кипіння бензолу.

На колоні також передбачені технологічні штуцери для обв’язки апарату технологічними трубопроводами та підключення до загальної технологічної лінії. Також до корпусу колони знизу приварена циліндрична опора, яка забезпечена лапами і кріпиться до фундаменту.

У хімічній промисловості умови роботи апаратів характеризуються широким діапазоном температур – приблизно від мінус 254 до плюс 2500°С при тисках від 0,015 Па до 600 МПа при агресивному впливі середовищ [6].

Основними вимогами, яким повинні відповідати хімічні апарати, є механічна надійність, довговічність, конструктивнf досконаліть, простота виготовлення, зручність транспортування, монтажу, експлуатації тощо [6–8].

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

Із огляду на перераховані вище параметри, вибираємо сталь 16ГС.

Сталь 16ГС відноситься до класу низьколегованих сталей. Спосіб поставки – листова сталь. Характеризується підвищеною міцністю і ударною в'язкістю в інтервалі температур від мінус 70 до плюс 475°С. Добре деформується як в гарячому, так і холодному стані, легко піддається обробці різанням. Дуже добре зварюється усіма видами зварювання. Однак через велику в'язкість вона гірше піддається механічній обробці. Крім того, сталь нестійка в багатьох агресивних середовищах. Основні фізико-механічні властивості сталі 16ГС наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Основні фізико-механічні властивості сталі 16ГС

E, МПа	G, МПа	ρ, кг/м^3	σ_B, МПа	σ_T, МПа	ψ, %	δ, %
200000	77000	7850	305	175	51	27

Сталь Ст3 – конструкційна вуглецева звичайної якості. Застосування: несучі елементи зварних і незварних конструкцій, які працюють при плюсових температурах. Добре зварюється усіма видами зварювання, не схильна до відпускної крихкості. Основні фізико-механічні властивості сталі Ст3 наведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Основні фізико-механічні властивості сталі Ст3

E, МПа	G, МПа	ρ, кг/м^3	σ_B, МПа	σ_T, МПа	ψ, %	δ, %
200000	74000	7850	420	250	40	16

Для усіх інших деталей використана конструкційна легована сталь 35Х.

У якості прокладкового матеріалу для ущільнення фланцевих та інших з’єднань використовуємо пароніт. Це листовий прокладковий матеріал, виготовлений пресуванням азбокаучукової маси, що складається з азбесту, каучуку і порошкових інгредієнтів.

2 Технологічні розрахунки процесу і апарата

2.1 Технологічні розрахунки

Технологічні розрахунки виконуємо у відповідності до методики, що представлена у джерелі [9].

Матеріальний баланс ректифікаційної колони за потоками:

$$G_f = G_D + G_W; \tag{2.1}$$

Матеріальний баланс ректифікаційної колони за легколетким компонентом:

$$G_f \cdot \overline{x_f} = G_D \cdot \overline{x_D} + G_W \cdot \overline{x_W}; \tag{2.2}$$

Спільне розвязання рівнянь (2.1) і (2.2) дозволяє отримати залежність для визначення масових витрат дистиляту і кубового залишку:

$$G_D = G_f \cdot \frac{\overline{x_f} - \overline{x_W}}{\overline{x_D} - \overline{x_W}}; \tag{2.3}$$

$$G_D = \frac{96 \cdot 1000}{24 \cdot 3600} \cdot \frac{0,267 - 0,043}{0,940 - 0,043} = 0,28 \text{ кг/с.}$$

$$G_W = G_f \cdot \frac{\overline{x_D} - \overline{x_f}}{\overline{x_D} - \overline{x_W}}; \tag{2.4}$$

$$G_W = \frac{96 \cdot 1000}{24 \cdot 3600} \cdot \frac{0,940 - 0,267}{0,940 - 0,043} = 0,83 \text{ кг/с.}$$

Будуємо рівноважну криву в координатах у – х (див. Додаток Б).

Визначаємо мінімальне флегмовое число за рівнянням:

$$R_{\min} = \frac{x_D - y_f^*}{y_f^* - x_f}; \qquad (2.5)$$

де y_f^* – склад пари, яка перебуває в рівновазі з вихідної сумішшю; y_f^*=0,485 – визначається з кривої рівноваги.

$$R_{\min} = \frac{0,94 - 0,485}{0,485 - 0,267} = 2,09$$

Визначаємо оптимальне флегмовое число R при β = 1,47:

$$R = \beta \cdot R_{\min} = 1,47 \cdot 2,09 = 3,075 \qquad (2.6)$$

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

$$G_R = R \cdot G_D; \qquad (2.7)$$

$$G_R = 3,075 \cdot 0,28 = 0,861 \text{ кг/с.}$$

$$G_V = (R + 1) \cdot G_D; \qquad (2.8)$$

$$G_V = (3,075 + 1) \cdot 0,28 = 1,141 \text{ кг/с.}$$

Робочі лінії процесу визначаються рівняннями:

– для верхньої частини колони:

$$y = \frac{R}{R+1} \cdot x + \frac{x_D}{R+1}; \qquad (2.9)$$

– для нижньої частини колони:

$$y = \frac{F+R}{R+1} \cdot x - \frac{F-1}{R+1} \cdot x_W, \qquad (2.10)$$

де F – число живлення, що визначається за формулою:

$$F = \frac{G_F}{G_D} \cdot \frac{M_D}{M_F}; \qquad (2.11)$$

$$F = \frac{1,11}{0,28} \cdot \frac{78,8}{87,8} = 3,6.$$

Ордината точки А (див. додаток А), в якій перетинаються робочі лінії, визначається за рівнянням (2.10) і (2.11) підстановкою в них замість x значення x_f:

$$y_f^{'} = \frac{3,075}{3,075+1} \cdot 0,30 + \frac{0,94}{3,075+1} = 0,46$$

$$y_f^{//} = \frac{3,6+3,075}{3,075+1} \cdot 0,30 - \frac{3,6-1}{3,075+1} \cdot 0,05 = 0,46$$

Рівність значень $y_f^{/} = y_f^{//}$ засвідчує про відсутність помилок у виконаних розрахунках.

Середні молярні концентрації рідини визначаються за средньоарифметичними залежностями:

– у верхній частині колони:

$$x_{cp}^{/} = \frac{\left(x_f + x_D\right)}{2}; \qquad (2.12)$$

– у нижній частині колони:

$$x_{cp}^{//} = \frac{\left(x_f + x_W\right)}{2}; \qquad (2.13)$$

$$x_{cp}^{/} = \frac{\left(0,30 + 0,94\right)}{2} = 0,62;$$

$$x_{cp}^{//} = \frac{\left(0,30 + 0,05\right)}{2} = 0,175.$$

Середні молярні концентрації парової фази визначаються за рівняннями робочих ліній:

– у верхній частині колони:

$$y_{cp}^{/} = \frac{R}{R+1} \cdot x_{cp}^{/} + \frac{x_D}{R+1}; \qquad (2.14)$$

– у нижній частині колони:

$$y_{cp}^{//} = \frac{F+R}{R+1} \cdot x_{cp}^{//} - \frac{F-1}{R+1} \cdot x_W; \qquad (2.15)$$

$$y_{ср}^{'} = \frac{3,075}{3,075+1} \cdot 0,62 + \frac{0,94}{3,075+1} = 0,70;$$

$$y_{ср}^{//} = \frac{3,6+3,075}{3,075+1} \cdot 0,175 - \frac{3,6-1}{3,075+1} \cdot 0,05 = 0,25.$$

Середня молярна маса парів розраховується за формулами:

– у верхній частині колони:

$$M_{ср}^{/} = y_{ср}^{/} \cdot M_{ллк} + \left(1 - y_{ср}^{/}\right) \cdot M_{тлк}; \qquad (2.16)$$

– у нижній частині колони:

$$M_{ср}^{//} = y_{ср}^{//} \cdot M_{ллк} + \left(1 - y_{ср}^{//}\right) \cdot M_{тлк}; \qquad (2.17)$$

$$M_{ср}^{/} = 0,70 \cdot 78 + (1 - 0,70) \cdot 92 = 82,2 \text{ кг/кмоль}$$

$$M_{ср}^{//} = 0,25 \cdot 78 + (1 - 0,25) \cdot 92 = 88,5 \text{ кг/кмоль}$$

Середні густини парів визначаються за рівнянням Клайперона:

– у верхній частині колони:

$$\rho_{y}^{/} = \frac{M_{ср}^{/} \cdot 273}{22,4 \cdot \left(273 + t_{y}^{/}\right)}; \qquad (2.18)$$

– у нижній частині колони:

$$\rho_{y}^{//} = \frac{M_{ср}^{//} \cdot 273}{22,4 \cdot \left(273 + t_{y}^{//}\right)}; \qquad (2.19)$$

де $t_y^{/}$=90°С – середня температура пари у верхній частині колони в залежності від концентрації $y_{ср}^{/}$ (визначається за діаграмою [10]);

$t_y^{//}$=105°С – середня температура пара в нижній частині колони в залежності від концентрації $y_{ср}^{//}$ (визначається по діаграмі [10]).

$$\rho_y^{/} = \frac{82,2 \cdot 273}{22,4 \cdot (273+90)} = 2,76 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_y^{//} = \frac{88,5 \cdot 273}{22,4 \cdot (273+105)} = 2,85 \text{ кг/м}^3.$$

Середні густини рідини знаходяться за правилом адитивності:

– у верхній частині колони:

$$\rho_x^{/} = x_{ср}^{/} \cdot \rho_{ллк}^{/} + (1 - x_{ср}^{/}) \cdot \rho_{тлк}^{/}; \qquad (2.20)$$

– у нижній частині колони:

$$\rho_x^{//} = x_{ср}^{//} \cdot \rho_{ллк}^{//} + (1 - x_{ср}^{//}) \cdot \rho_{тлк}^{//}; \qquad (2.21)$$

де $\rho_{ллк}^{/}$, $\rho_{ллк}^{//}$, $\rho_{тлк}^{/}$, $\rho_{тлк}^{//}$ – густини рідини легколеткого і труднолеткого компонентів при температурах $t_x^{/}$, $t_x^{//}$;

$\rho_{ллк}^{/} = 805$ кг/м^3; $\rho_{тлк}^{/} = 800$ кг/м^3 при температурі $t_x^{/}$ = 87°С [10];

$t_x^{/}$ = 87°С – середня температура рідини у верхній частині колони в залежності від концентрації $x_{ср}^{/}$;

$\rho_{ллк}^{//} = 790$ кг/м^3; $\rho_{тлк}^{//} = 785$ кг/м^3 при температурі $t_x^{//}$ = 102°С [10];

$t_x^{//}$ = 102°С – середня температура рідини в нижній частині колони в залежності від концентрації $x_{ср}^{//}$.

$$\rho_x^{/} = 0,62 \cdot 805 + (1 - 0,62) \cdot 800 = 803 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_x^{//} = 0,175 \cdot 790 + (1 - 0,175) \cdot 785 = 786 \text{ кг/м}^3.$$

Середні в'язкості рідини обчислюються за формулами:

– у верхній частині колони:

$$\lg \mu_x^{/} = x_{ср}^{/} \cdot \lg \mu_{ллк}^{/} + \left(1 - x_{ср}^{/}\right) \cdot \lg \mu_{тлк}^{/}; \qquad (2.22)$$

– у нижній частині колони:

$$\lg \mu_x^{//} = x_{ср}^{//} \cdot \lg \mu_{ллк}^{//} + \left(1 - x_{ср}^{//}\right) \cdot \lg \mu_{тлк}^{//}; \qquad (2.23)$$

де $\mu_{ллк}^{/}$, $\mu_{ллк}^{//}$, $\mu_{тлк}^{/}$, $\mu_{тлк}^{//}$ – в'язкості рідких легколеткого і труднолеткого компонентів при температурах $t_x^{/}$ і $t_x^{//}$.

$\mu_{ллк}^{/} = 0,295 \cdot 10^{-3}$ Па·с, $\mu_{тлк}^{/} = 0,3 \cdot 10^{-3}$ Па·с;

$\mu_{ллк}^{//} = 0,26 \cdot 10^{-3}$ Па·с, $\mu_{тлк}^{//} = 0,27 \cdot 10^{-3}$ Па·с;

$\mu_x^{/} = 0,000293$ Па·с, $\mu_x^{//} = 0,000268$ Па·с.

Теплове навантаження кип'ятильника визначається за формулою:

$$Q_W = G_V \cdot r_w = G_V \cdot \left(r_{ллк} \cdot \bar{x}_w + r_{тлк}\left(1 - \overline{x_w}\right)\right); \qquad (2.24)$$

де $r_{ллк}$= 379,2 кДж/кг, $r_{тлк}$= 390,1 кДж/кг – питома теплота випаровування легколетючого і важколетючого компонентів при усереднених температурах [10].

$$Q_W = \frac{4071}{3600} \cdot \left(379,2 \cdot 0,043 + 390,1 \cdot \left(1 - 0,043\right)\right) = 440 \text{ кВт.}$$

Витрата гріючої пари у кип'ятильнику визначається за формулою:

$$G_{г.п} = Q_W \,/\, r_{г.п.}, \tag{2.25}$$

де $r_{г.п}$ = 2250 кДж/кг – питома теплота випаровування гріючої пари [10].

$$G_{г.п} = \frac{440}{2250} = 0,20 \text{ кг/с.}$$

Теплове навантаження дефлегматора розраховується за формулою:

$$Q_D = G_V \cdot r_d = G_V \cdot \left(r_{ллк} \cdot \overline{x_D} + r_{тлк} \cdot \left(1 - \overline{x_D}\right)\right); \tag{2.26}$$

$$Q_D = \frac{4071}{3600} \cdot \left(379,2 \cdot 0,94 + 390,1 \cdot \left(1 - 0,94\right)\right) = 430 \text{ кВт.}$$

Витрата води в дефлегматорі визначається за формулою:

$$G_в = \frac{Q_D}{C_в \cdot \left(t_{кв} - t_{нв}\right)}, \tag{2.27}$$

де $C_в$ = 4,2 кДж/кг·К – питома теплоємність охолоджуючої води [10].

$$G_в = \frac{430}{4,2 \cdot 20} = 5,1 \text{ кг/с.}$$

2.2 Конструктивні розрахунки

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

$$\omega^{/} = \left(0,75 \div 0,9\right) \cdot \omega_{пр}; \tag{2.28}$$

де $\omega_{пр}$ – швидкість газу, що відповідає точці захлинання.

$$\omega_{пр} = c \cdot \sqrt{\frac{\rho_р - \rho_п}{\rho_п}}; \tag{2.29}$$

де с=0,043 при відстані між тарілками Н=400 мм – коефіцієнт, який вибирається в залежності від конструкції тарілок і відстані між ними.

Гранична швидкість парів:

– для верхньої частини колони

$$\omega^{/}_{пр} = 0,043 \cdot \sqrt{\frac{803 - 2,76}{2,76}} = 0,73 \text{ м/с}$$

– для нижньої частини колони

$$\omega^{//}_{пр} = 0,043 \cdot \sqrt{\frac{786 - 2,85}{2,85}} = 0,71 \text{ м/с}$$

Робоча швидкість парів:

– для верхньої частини колони

$$\omega^{/} = 0,8 \cdot 0,73 = 0,58 \text{ м/с}$$

– для нижньої частини колони

$$\omega'' = 0,8 \cdot 0,71 = 0,57 \text{ м/с}$$

Відношення масових витрат рідкої і парової фаз дорівнює [9]:

– 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:

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

$$\left(\frac{L}{G}\right)' = \frac{3,075}{3,075+1} = 0,75$$

$$\left(\frac{L}{G}\right)'' = \frac{3,075+3,6}{3,075+1} = 1,64$$

Об’ємна витрата парів дорівнює:

– у верхній частині колони

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

– у нижній частині колони

$$V^{//} = \frac{G_V}{\rho_y^{//}}; \qquad (2.33)$$

$$V^{/} = \frac{4071}{3600 \cdot 2,76} = 0,41 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$V^{//} = \frac{4071}{3600 \cdot 2,85} = 0,40 \text{ м}^3/\text{с}$$

Діаметр колони розраховується за формулою [9]:

$$D = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot \omega}}; \qquad (2.34)$$

– для верхньої частини колони:

$$D^{/} = \sqrt{\frac{0,41}{0,785 \cdot 0,58}} = 0,95 \text{ м}$$

– для нижньої частини колони:

$$D^{//} = \sqrt{\frac{0,40}{0,785 \cdot 0,57}} = 0,95 \text{ м}$$

Приймаємо найближчий більший діаметр колони зі стандартного ряду $D_к$=1000 мм.

Дійсні робочі швидкості пари в колоні дорівнюють:

$$w_в = 0,58 \cdot \left(\frac{0,95}{1,0}\right)^2 = 0,52 \text{ м/с}$$

$$w_н = 0,57 \cdot \left(\frac{0,95}{1,0} \right)^2 = 0,51 \text{ м/с}$$

У результаті побудови горизонтальних і вертикальних відрізків між робочою та рівноважною лініями (див. Додаток А) отримуємо наступне число теоретичних тарілок: у верхній частині $N_m^{/} = 8$ шт.; у нижній частині $N_m^{//} = 6$ шт.

Число дійсних тарілок можна визначити за допомогою середнього к.к.д. тарілки [9]:

$$N_д = N_т / \eta; \qquad (2.35)$$

де η – к.к.д. тарілки; за графіком [11] знаходимо η'=0,5; η''=0,46.

Число тарілок:

– у верхній частині колони

$$N_д=8/0,5=16 \text{ шт.}$$

– у нижній частині колони

$$N_д=6/0,46=13 \text{ шт.}$$

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

$$H_T = \left(N_Д - 1\right) \cdot H , \qquad (2.36)$$

де $N_д$=29 – загальна кількість тарілок;

H=0,4 м – відстань між тарілками.

$$H_т = (29–1) \cdot 0,4 = 11,2 \text{ м.}$$

Діаметр патрубка визначається за формулою [9]:

$$D = \sqrt{\frac{G}{\rho \cdot 3600 \cdot 0.785 \cdot \omega}}; \qquad (2.37)$$

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:

$$d_V = \sqrt{\frac{4071}{3600 \cdot 2,85 \cdot 0,785 \cdot 15}} = 0,184 \text{ м}$$

Приймаємо діаметри патрубків d_V=200 мм.

Діаметр патрубка для входу флегми:

$$d_R = \sqrt{\frac{3072}{3600 \cdot 803 \cdot 0,785 \cdot 0,5}} = 0,05 \text{ м}$$

Приймаємо діаметр патрубка d_R=50 мм.

Діаметр патрубка для входу вихідної суміші:

$$d_f = \sqrt{\frac{4000}{3600 \cdot 785 \cdot 0,785 \cdot 0,5}} = 0,06 \text{ м}$$

Приймаємо діаметр патрубка d_f=60 мм.

Діаметр патрубка для виходу кубового залишку:

$$d_W = \sqrt{\frac{3001}{3600 \cdot 786 \cdot 0,785 \cdot 0,5}} = 0,052 \text{ м}$$

Приймаємо діаметр патрубка d_W=60 мм.

2.3 Гідравлічні розрахунки

Гідравлічний розрахунок проводимо у відповідності до методики [11].

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

$$\Delta p_{заг} = \Delta p_{сух} + \Delta p_{\sigma} + \Delta p_{пр}, \text{ Па} \qquad (2.38)$$

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

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

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

Гідравлічний опір сухої тарілки:

$$\Delta p_{сух} = \xi \cdot \frac{\rho_п \cdot \omega_{отв}^2}{2}, \qquad (2.39)$$

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

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

Швидкість пари в отворах тарілки:

$$\omega_{отв} = \frac{w}{F}, \qquad (2.40)$$

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

F – вільний перетин тарілки (сумарна площа отворів); F=5,14 % [11].

Опір, зумовлений силами поверхневого натягу:

$$\Delta p_{\sigma} = \frac{4 \cdot \sigma \cdot}{d_0}; \qquad (2.41)$$

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

σ=18,5·10^{-3} Н/м – поверхневий натяг рідини при середній температурі у нижній частині колони [10];

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

Опір пароріднного шару на тарілці:

$$\Delta p_{пр} = 1,3 \cdot h_{пр} \cdot \rho_{пр} \cdot g \cdot k \text{, Па} \qquad (2.42)$$

де $h_{пр}$ – висота пароріднинного шару, м.

$$h_{пр} = h_n + \Delta h \text{, м} \qquad (2.43)$$

де h_n – висота зливної перегородки, м;

Δh – висота шару над зливною перегородкою, м.

$$\Delta h = \left(\frac{V_p}{1,85 \cdot П \cdot k} \right)^{\frac{2}{3}} \text{, м} \qquad (2.44)$$

де V_p – об'ємна витрата рідини, м^3/с;

$П$ – периметр зливної перегородки, м;

$k = \rho_{пр} / \rho_p$ – відношення густини пароріднного шару (піни) до густини рідини, $k \approx 0,5$ [11].

Об’ємна витрата рідини:

$$V_p = \frac{G_D \cdot R \cdot M_{cp}}{M_D \cdot \rho_p} \tag{2.45}$$

де R – флегмове число;

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

Периметр зливної перегородки знаходимо, розв’язуючи систему рівнянь:

$$\begin{cases} \left(\frac{П}{2}\right)^2 + \left(R - b\right)^2 = R^2 \\ 0{,}1 \cdot \pi \cdot R^2 = \frac{2}{3} \cdot П \cdot b \end{cases} \tag{2.46}$$

де R=0,5 м – радіус тарілки;

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

Умова нормальної роботи тарілок:

$$H_m > 1{,}8 \cdot \frac{\Delta p}{\rho_p \cdot g} \tag{2.47}$$

де Н – міжтарілчаста відстань, м.

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

$$w_{o\ мін} = 0{,}67 \cdot \sqrt{\frac{g \cdot \rho_p \cdot h_{пр}}{\xi \cdot \rho_n}}, \tag{2.48}$$

Верхня частина колони

Швидкість пари в отворах тарілки:

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

Гідравлічний опір сухої тарілки:

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

Опір, зумовлений силами поверхневого натягу:

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

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 (2.50), отримуємо: П=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:

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

Опір пароріднного шару на тарілці:

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

Загальний гідравлічний опір тарілки у верхній частині колони:

$$\Delta p'_{заг} = 256 + 20,5 + 276 = 552,5 \text{ Па.}$$

Загальний гідравлічний опір у верхній частині колони становить:

$$\Delta p' = \Delta p'_{заг} \cdot N'_{д}, \qquad (2.49)$$

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

Нижня частина колони

Швидкість пари в отворах тарілки:

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

Гідравлічний опір сухої тарілки:

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

Опір, зумовлений силами поверхневого натягу:

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

Об’ємна витрата рідини:

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

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

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:

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

Опір парорідинного 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:

$$\Delta p'' = \Delta p''_{заг} \cdot N''_{д}, \qquad (2.50)$$

$$\Delta p'' = 598,5 \cdot 13 = 7780 \text{ Па.}$$

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 $H_т = 400$ мм, оскільки 0,4 > 0,14.

Перевіримо рівномірність роботи тарілок:

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

9,9 м/с > 6,59 м/с – отже, тарілки працюватимуть усіма отворами.

Загальний гідравлічний опір колони:

$$\Delta p = \Delta p' + \Delta p''; \qquad (2.51)$$

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

2.4 Вибір допоміжного обладнання

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

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

Діаметр трубопроводу визначаємо за рівнянням:

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

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

$$V = \frac{1{,}11}{800} = 1{,}39 \cdot 10^{-3} \ \frac{м^3}{с};$$

$$d = \sqrt{\frac{1{,}39 \cdot 10^{-3}}{0{,}785 \cdot 2}} = 0{,}029 \ м.$$

Приймаємо стандартизований діаметр трубопроводу 32 мм.

Визначаємо критерій Рейнольдса для рідини у трубопроводі:

$$\mathrm{Re} = \frac{w \cdot d \cdot \rho_p}{\mu}, \qquad (2.53)$$

$$\mathrm{Re} = \frac{2 \cdot 0{,}032 \cdot 800}{2{,}65 \cdot 10^{-4}} = 193208,$$

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

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

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

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

Для зони, що є автомодельною по відношенню до Re:

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

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

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° $\xi_2 = 2 \cdot 1{,}1 = 2{,}2$.

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

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

Для напірної лінії:

1) вентиль прямоточний $\xi_1 = 0{,}65$;

2) 3 коліна з кутом 90° $\xi_2 = 3 \cdot 1{,}1 = 3{,}3$;

3) 1 кожухотрубний теплообмінник $\xi_3 = 3{,}05$;

4) вихід з труби $\xi_3 = 1$.

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

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

Втрату напору у всмоктуючій лінії знаходимо за рівнянням:

$$h_{П.ВС.} = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d_E} + \Sigma\xi \right) \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g}, \qquad (2.55)$$

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

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

Втрата напору в напірній лінії:

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

Загальні втрати напору:

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

$$h_П = 1,1 + 3,0 = 4,1 \text{ м}.$$

Знаходимо напір насосу за рівнянням:

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho_ж \cdot g} + H_Г + h_П, \quad (2.57)$$

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

$H_Г$ – геометрична висота піднімання рідини.

$$H = 5 + 4,1 = 9,1 \text{ м}.$$

Корисну потужність насосу визначаємо за рівнянням:

$$N_{П} = \rho_{р} \cdot g \cdot V \cdot H, \qquad (2.58)$$

$$N_{П} = 800 \cdot 9{,}81 \cdot 1{,}39 \cdot 10^{-3} \cdot 9{,}1 = 99 \ Вт.$$

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

$$N = \frac{N_{П}}{\eta_{пер} \cdot \eta_{н}}, \qquad (2.59)$$

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

$$N = \frac{99}{1 \cdot 0{,}6} = 165 \ Вт.$$

Вибираємо відцентровий насос марки НМШ 8-25-8,5/25-5 із наступними параметрами: об'ємна подача насосу 8,5 м^3/год.; напір насосу 25 м; потужність, яку потребляє насосом 7,5 кВт; частота обертів 1450 об/хв.

Розрахунок і вибір ємності для вихідної суміші [9]. Ємність для зберігання вихідної суміші розраховуємо, виходячи з 6–8 годинного резерву робочого часу, а також з урахуванням коефіцієнту заповнення $\psi = 0{,}8...0{,}85$. Приймаємо $\psi = 0{,}82$.

Розрахунковий об'єм ємності:

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

$$V_{EP} = \frac{4000 \cdot 7}{0,82 \cdot 800} = 42,7 \ м^3.$$

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

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

$$H = \frac{42,7}{0,785 \cdot 3,6^2} = 4,2 \text{ м.}$$

3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність

3.1 Визначення товщини стінки апарата, кришки

Основні розрахункові параметри:

Робоча температура середовища t=105°C. Робочу температуру стінки приймаємо на 5°C меншою: t=100°C.

Робочий тиск в апараті P = 0,1 МПа.

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

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

Приймаємо стандартне значення 0,25 МПа.

Пробний при гідравлічному випробуванні тиск згідно [13] складе:

$$P_{пр}=\max\begin{Bmatrix}1,5Pp[\sigma]_{20}/[\sigma]\\ Pp+0,3\end{Bmatrix}, \quad (3.2)$$

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

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

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

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

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

Коефіцієнт проточності зварного шва, згідно [13], складе: φ=0,9.

Розрахунок товщини стінки обичайки корпусу.

Товщина стінки циліндричної обичайки, навантаженої внутрішнім надлишковим тиском:

$$S_к = \frac{P_{пр} \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_р - P_{пр}}, \qquad (3.3)$$

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

Виконавча товщина стінки:

$$S \geq S_К + C, \qquad (3.4)$$

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

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

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

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

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 м = 4 мм.

Допустимий внутрішній надлишковий тиск:

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

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

Умова міцності має вигляд:

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

Умова міцності виконується.

Розрахунок товщини стінки днища.

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

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

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 м = 4 мм.

Допустимий внутрішній надлишковий тиск:

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

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

що більше пробного, а отже, умова міцності виконується.

3.2 Розрахунок опори апарата

Визначимо навантаження порожнього апарату на опору по формулі:

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

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

$$M_{ап} = M_к + M_{дн} + M_{кр} + M_т + M_{фл}, \quad (3.10)$$

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

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

де ρ – щільність матеріалу корпусу ρ=7800 кг/м^3;

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

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

де F – площа внутрішньої поверхні еліптичного днища (кришки) F=1,16 м^2;

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

Маса тарілок:

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

де m_m = 41,5 кг – маса однієї тарілки.

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

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

Маса порожнього апарату:

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

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

Навантаження апарату на опору під час гідравлічних випробувань:

$$Q_{ап}^{и} = (M_{ап} + M_{в}) \cdot g\,, \qquad (3.14)$$

де $M_в$ – маса залитої в апарат води.

$$M_{в} = V \cdot \rho_{в}\,, \qquad (3.15)$$

де V – об'єм апарату

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

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

$$Q_{ап}^{и} = (3853 + 12600) \cdot 9{,}81 = 161404 \text{ Н}.$$

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

4 Монтаж та ремонт апарата

4.1 Монтаж апарата [14]

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

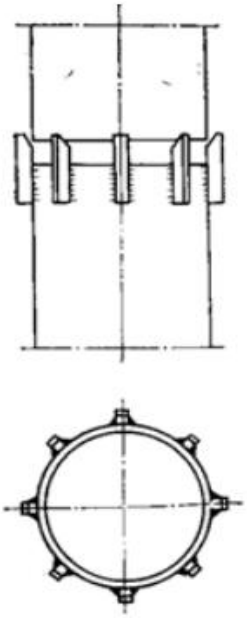


Рисунок 4.1 – Стиковка обичайок

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

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

зварювання, виконують електродами, передбаченими проектом. Стики, що виконані з двошарової сталі, прихоплюють на основному шарі. Технологія зварювання (спосіб і режим зварювання, порядок накладення швів і термооброблення) наводиться в проектній документації заводу-виготовлювача.

Ділянка території, де проводиться зварювання, повинна бути захищена від атмосферних опадів та вітру для запобігання забруднення шва. Бажано зварювання виконувати на роликовому стенді, на рамі якого встановлюють один або два зварювальних автомати. Для зварювання внутрішнього шва один автомат розміщують всередині апарату. Після завершення зварювання остаточно перевіряють всі розміри зібраного апарату, які повинні бути в межах допусків. Корпуси відповідальних колонних апаратів повинні відповідати таким вимогам: відхилення довжини не повинно перевищувати 0,3 % від проектного; кривизна циліндра на ділянці 1 м повинна бути не більше 2 мм, а для апаратів вище 10 м – не більше 3 мм.

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

При горизонтальному положенні апарата тарілки встановлюють строго вертикально; їх положення перевіряють по схилу, що накладають на декількох точках, і по заздалегідь нанесеним на внутрішніх стінках апарату мітках, для чого апарат доводиться повертати навколо осі на 90°.

Значно легше забезпечити строго горизонтальне положення тарілок в уже установленому, вивіреному і закріпленому на фундаменті корпусі апарата. У цьому випадку достатньої точності добиваються або за допомогою рівня, або заливаючи на поверхню тарілки воду.

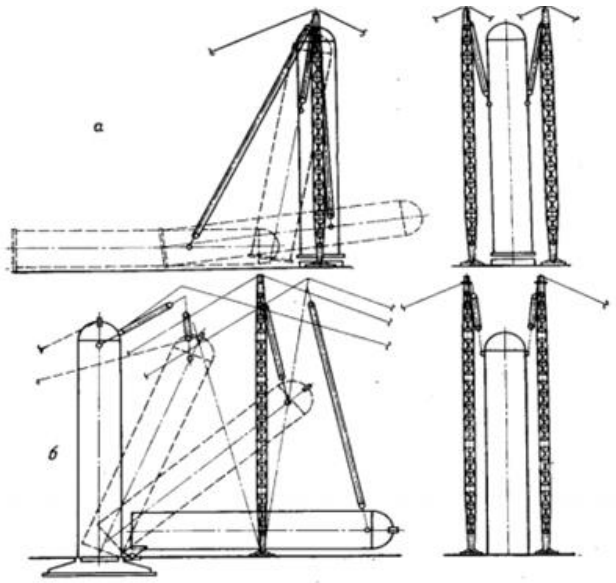


Рисунок 4.2 – Способи підйому колонного апарата:
а – способом ковзання опорної частини; б – поворотом навколо шарніра

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

4.2 Ремонт апарата [14, 15]

Ремонт апарата починають із його відкривання, яке необхідно проводити, суворо дотримуючись наступних правил. Спочатку відкривають верхній люк, причому перед цим в апарат протягом деякого часу подають

водяну пару, щоб уникнути можливого підсосу повітря, у результаті якого може утворитися вибухонебезпечна суміш. Далі послідовно (згори вниз) відкривають інші люки. Категорично забороняється одночасно відкривати верхній і нижній люки. Не можна також відкривати спочатку нижній, а потім верхній люк, оскільки внаслідок різниці температур відбувається сильний приток повітря в колону, що може призвести до утворення вибухонебезпечної суміші.

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

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

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

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

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

Під час кожного ремонту вимірюють фактичну товщину стінки корпусу експлуатованого апарату. Найбільш зношені ділянки корпусу колони

вирізають, а на їх місце вставляють нову ділянку. Зварювання проводять у стик. Вирізання великих ділянок корпусу може призвести до послаблення перерізу і порушення стійкості. Тому до вирізання дефектної ділянки цю ділянку зміцнюють спеціальними стійками.

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

Після ремонту ректифікаційну колону піддають гідравлічним або пневматичним випробовуванням.

5 Охорона праці

Основні ізолювальні електрозахисні засоби для роботи на електроустановках [16]. Правила користування та терміни випробувань [17].

Основними електрозахисними засобами в електроустановках напругою до 1000 В є діелектричні рукавички, ізолюючі штанги, ізолюючі і електровимірювальні кліщі, слюсарно-монтажний інструмент з ізолюючими рукоятками і покажчики напруги.

Найбільш широке застосування знаходять діелектричні рукавички, виготовлені з гуми. Перед застосуванням рукавички необхідно перевірити на герметичність. Застосовувати негерметичних рукавичок забороняється.

Слюсарно-монтажний інструмент з ізолюючими рукоятками застосовують при виконанні робіт під напругою 220/380 В. Зазвичай використовують односторонні гайкові ключі, викрутки, плоскогубці, кусачки, ножі з ізолюючими рукоятками. Ізоляція рукояток інструменту, виготовлена з пластмаси, є основним засобом захисту.

Для перевірки наявності або відсутності напруги на струмопровідних частинах без визначення його значення служать покажчики напруги: двополюсні, що працюють при активному струмі, – для електроустановок змінного і постійного струму напругою до 500 В і однополюсні, що працюють за ємнісного струму, – для електроустановок змінного струму напругою до 380 В. Сигналізатором служить газорозрядна індикаторна лампа.

Двополюсні покажчики напруги мають два щупа, з’єднані гнучким провідником. Для їх роботи необхідно одночасне дотик до двох фаз або до однієї фази і нульового проводу.

Однополюсні покажчики напруги виконують у вигляді авторучки. Для їх роботи досить доторкнутися щупом до однієї струмоведучої частини електроустановки і рукою – до металевого контакту у верхній частині

конструкції. При цьому струм протікає через тіло людини і землю. Однополюсні покажчики рекомендується застосовувати при перевірці схем вторинної комутації, визначення фазного проводу при підключенні електролічильників, патронів, вимикачів, запобіжників і т. п.

Ізолюючі кліщі застосовують для операцій зі вставками трубчастих запобіжників, а також для надягання на ножі однополюсних роз'єднувачів і зняття ковпаків. Ізолюючі кліщі виконують із пластмаси.

Додатковими електрозахисними засобами є діелектричні калоші (боти), чоботи, діелектричні гумові килимки, доріжки та ізолюючі підставки.

Діелектричні боти, калоші і чоботи застосовують для ізоляції людини від підставки, на якій він стоїть. Боти застосовують в електроустановках будь-якої напруги, а калоші і чоботи – тільки при напрузі до 1000 В.

Діелектричні килимки і доріжки – це ізолюючі підставки. Їх застосовують у закритих електроустановках будь-якої напруги. В електроустановках напругою до 1000 В ізолюючі підставки виконують без фарфорових ізоляторів, а вище 1000 В – обов'язково на порцелянових ізоляторах.

Усі електрозахисні засоби підлягають електричних випробувань для встановлення їх діелектричних властивостей після виготовлення, ремонту і періодично (в процесі експлуатації). Перед випробуванням захисний засіб оглядають і при наявності механічних пошкоджень бракують. Випробування проводять, як правило, змінним струмом промислової частоти. Після випробувань на захисні засоби ставлять штамп, що засвідчує їх придатність до подальшої експлуатації.

Терміни та норми випробувань приймають відповідно до ПТЕ. Зазвичай, тривалість випробувань не перевищує 1 хвилини. Випробувальну напругу, як правило, приймають рівною триразовій лінійній напрузі електроустановки.

Діелектричні гумові рукавички, боти, калоші, чоботи і слюсарно-монтажний інструмент з ізолюючими рукоятками випробовують на струм витоку у ванні з водопровідною водою. Струм витоку для різних виробів не

повинен перевищувати 7,5 мА при підвищеній напрузі. Якщо не стався пробій і показання міліамперметра не перевищували норму, виріб вважається таким, що витримав випробування. Рукоятки покажчиків напруги перевіряють на електричну міцність ізоляції напругою 1000 В протягом 1 хвилини, а також визначають поріг запалювання неонової лампи, який не повинен перевищувати 90 В. Струм під час випробувань не повинен перевищувати 4 мА.

Розглянемо основні правила застосування різних захисних засобів, які застосовують в електроустановках.

Наведемо основні правила застосування електрозахисних засобів, які належать до усіх засобів захисту.

За необхідності роботи з тим чи іншим засобом захисту необхідно, перш за все, перевірити його придатність до експлуатації. По-перше, звертають увагу на зовнішній вигляд ізолюючого засобу. На ньому не повинно бути забруднень, пошкоджень корпусу, в тому числі лакофарбового покриття.

Кожен захисний ізолюючий засіб періодично має проходити випробування – перевірку на придатність для експлуатації в електроустановках. Тому перед тим, як застосувати захисний засіб, необхідно перевірити його термін придатності – дату наступного випробування на штампі встановленого зразка.

Якщо електрозахисний засіб має забруднення, пошкодження корпусу або у нього прострочений термін періодичного випробування, то такий захисний засіб не можна використовувати, оскільки це може спричинити ураження людини електричним струмом. Такий захисний засіб необхідно вилучити з експлуатації для усунення несправностей та проведення випробування.

Електрозахисні засоби, які планується застосовувати, забезпечують свої ізоляційні властивості тільки в тому випадку, якщо вони сухі. Цю особливість треба враховувати при необхідності проведення робіт у відкритих розподільних пристроях, не допускаючи застосування захисних засобів, на які потрапила волога (мряка, дощ, паморозь, сніг). За необхідності виконання роботи в умовах

попадання вологи повинні застосовуватися електрозахисні засоби, спеціально призначені для цієї мети.

Крім того, необхідно тримати захисні ізолюючі засоби в чистому стані. Особливо це стосується діелектричних рукавичок, взуття та інших захисних засобів, які швидко приходять в непридатність, якщо на їх гумову поверхню потрапляють різні агресивні рідини та мастила.

Електрозахисні засоби вище 1000 В з ручками-захоплювачами мають обмежувальні кільця. При виконанні робіт необхідно брати засоби захисту за ручки не далі обмежувального кільця. Це обумовлено тим, що існує допустима безпечна відстань до струмоведучих частин і захисний засіб проектується таким чином, щоб його ізолююча частина (та частина, яка відокремлює робочу частину від рукоятки) мала достатню довжину, забезпечуючи захист від удару струмом.

Також слід зазначити, що кожен електрозахисний засіб розрахований на роботу при певній напрузі. Клас напруги вказується на корпусі захисного засобу, але це значення може відрізнятися від того значення напруги, від якого захисний засіб дійсно здатний захистити людину. Тому при проведенні випробування захисного засобу вказують величину напруги, до якої можна застосовувати даний засіб.

Список використаних джерел

1. Процес ректифікації [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://otherreferats.allbest.ru/manufacture/00243947_0.html

2. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М. : Химия, 1973. – 752 с.

3. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра / укладачі: Р. О. Острога, М. С. Скиданенко, Я. Е. Михайловський, А. В. Іванія. – Суми : Сумський державний університет, 2019. – 32 с.

4. Иоффе И.Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологи / И.Л. Иоффе. – Л. : Химия, 1991. – 352 с.

5. Плановский А. Н. Процессы и аппараты химической и нефтяной технологии / А. Н. Плановский, П. И. Николаев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия,1972. – 494 с.

6. Лащинский А. А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / А. А. Лащинский, А. Р. Толчинский. – Л. : Машиностроение, 1970. – 752 с.

7. Лащинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов : Справочник / А. А. Лащинский. – Л. : Машиностроение, 1981. – 382 с.

8. 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.

9. 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.

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

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

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

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

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

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

16. Электрозащитные средства для электроустановок напряжением до 1000 В [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://electricalschool.info/main/electrobezopasnost/60-jelektrozashhitnye-sredstva-dlja.html

17. Правила применения электрозащитных средств при проведении работ в электроустановках [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://electricalschool.info/main/electrobezopasnost/1718-pravila-primenenija-jelektrozashhitnykh.html