

РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота на тему:

«Установка ректифікації суміші бензол-толуол продуктивністю 5,5 т/год. по вихідній суміші з розробкою дефлегматора».

Листів – 77, ілюстрацій – 10, таблиць – 4, посилань – 24.

В даному дипломному проєкті розглянуто установку ректифікації суміші бензол-толуол продуктивністю 5,5 т/год. по вихідній суміші з розробкою дефлегматора:

На основі аналітичного огляду вибрана конструкція дефлегматора, розміри якого отримані з технологічного розрахунку.

Виходячи з умов роботи і характеристик робочого середовища підібрані конструкційні матеріали;

Роботоспроможність дефлегматора підтверджена розрахунками на міцність, які виконані згідно з діючою в хімічному машинобудуванні нормативно-технічною документацією;

Розглянуті питання технології виготовлення дефлегматора, його монтаж і ремонт;

Висвітлені питання техніки безпеки.

ЗМІСТ

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД	
1.1 Перегонка рідини	8
1.2 Апаратурне оформлення процесів перегонки рідини	10
1.3 Конструкції теплообмінного обладнання	14
2 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ТА КОНСТРУКЦІЇ КОЛОНИ І ДЕФЛЕГМАТОРА	17
2.1 Технологічна схема	17
2.2 Опис конструкції колони з ситчастими тарілками	18
2.3 Опис конструкції дефлегматора	21
3 КОНСТРУКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕФЛЕГМАТОРА	23
4 ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ РОЗМІРІВ КОЛОНИ ТА ДЕФЛЕГМАТОРА	25
4.1 Визначення продуктивності по дистилляту і кубовому залишку	25
4.2 Визначення мінімального і дійсного флегмового числа	25
4.3 Визначення середніх значень параметрів по колоні, фізико- хімічних і термодинамічних констант фаз	29
4.4 Визначення діаметру колони	33
4.5 Визначення висоти колони	33
4.6 Визначення гідравлічного опору колони з ситчастими тарілками	34
4.7 Теплові розрахунки. Розрахунок дефлегматора	35
5 РОЗРАХУНКИ НА МІЦНІСТЬ ЕЛЕМЕНТІВ ДЕФЛЕГМАТОРА	37
5.1 Початкові дані	37
5.2 Визначення розрахункових параметрів	37
5.3 Розрахунок товщини стінки кожуха	42
5.4 Розрахунок розподільної камери	43
5.5 Розрахунок на міцність, жорсткість і стійкість елементів	46
5.6 Розрахунок лінзового компенсатора теплообмінних апаратів з компенсатором на кожусі	48

5.7 Аналіз впливу конструктивних особливостей контактних пристроїв на розміри колонного апарата	52
6 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕФЛЕГМАТОРА	
6.1 Виготовлення основних елементів дефлегматора	55
6.2 Збирання теплообмінника	61
6.3 Випробування після виготовлення	61
7 РЕМОНТ ДЕФЛЕГМАТОРА	63
7.1 Методи виконання планово-попереджувальних ремонтів	63
7.2 Розбирання кип'ятильника, виявлення і усунення дефектів	64
7.3 Ремонт вузла кріплення труб до трубної решітки	66
8 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ	69
ВИСНОВКИ	75
Перелік джерел посилання	76

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

a - вміст низькокиплячого компонента А в бінарній суміші, мас.долі;

a_{cp} - середня масова концентрація;

C_A, C_B - питома теплоємність ацетону і етилового спирту при середній температурі, $\frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$;

M_A - мольна маса компонента А;

M_B - мольна маса компонента В;

$M_{x\text{ cp}}$ - середня мольна маса;

R_{\min} - мінімальне флегмове число;

R - дійсне флегмове число;

X_{cp} - середня мольна концентрація ;

X - концентрація низькокиплячого компонента А в бінарній суміші, мол. долі;

ρ_A - щільність компоненту А;

ρ_B - щільність компоненту В;

μ_A – динамічний коефіцієнт в'язкості компоненту А;

μ_B – динамічний коефіцієнт в'язкості компоненту В;

μ_{yA} – динамічний коефіцієнт в'язкості пари компонента А;

μ_{yB} – динамічний коефіцієнт в'язкості пари компонента В;

Y_{cp} - середня мольна концентрація;

ε - вільний об'єм, $\text{м}^3/\text{м}^3$;

σ - питома поверхня, $\text{м}^2/\text{м}^3$;

G_y – кількість пари, $\text{кг}/\text{с}$;

G'_x – кількість рідини, $\text{кг}/\text{с}$;

$H_{в.ч.к.}$ – висота насадки в верхній частині колони, м;

$H_{н.ч.к.}$ висота насадки в нижній частині колони, м;

h - висота насадки в одній секції, м;

n – число секцій;

h_p - висота проміжків між секціями насадки, в яких встановлюються розподільники рідини, м;

h_b і h_n - відповідно висота простору сепарації над насадкою і відстань між

днищем колони і насадкою, м;

D - діаметр колони, м;

$H_{\text{кол}}$ - загальна висота колони, м;

λ - коефіцієнт опору зрошеної насадки:

$\lambda_{\text{сух}}$ - коефіцієнт опору сухої насадки;

m - коефіцієнт зрошення;

d - діаметр штуцера, м;

F - поверхня теплообміну, м^2 ;

D - зовнішній діаметр кожуха, мм;

l - довжина теплообмінних труб, мм;

d_o - зовнішній діаметр теплообмінної труби, мм;

S_o - товщина стінки труби, мм;

$P_{\text{тр}}$ - розрахунковий тиск в трубному просторі, МПа;

$P_{\text{к}}$ - розрахунковий тиск в міжтрубному просторі, МПа;

$t_{\text{т}}$ - розрахункова температура труб, $^{\circ}\text{C}$;

$t_{\text{к}}$ - розрахункова температура кожуха, $^{\circ}\text{C}$;

$[\sigma]$ - допустима напружина при розрахунковій температурі, МПа;

$[\sigma]_{20}$ - допустима напружина і при температурі 20°C , МПа;

$\varphi_{\text{р}}$ - коефіцієнт міцності зварних швів;

$H_{\text{с}}$ - висота стовпа води в трубному просторі, м;

C_1 - добавка для компенсації корозії і ерозії, мм;

C_2 - добавка для компенсації мінусового допуску, мм;

Π - швидкість проникнення корозії, мм/рік;

τ - термін служби апарата, років;

D - внутрішній діаметр обичайки, мм;

H - висота опуклої частини днища, мм;

$S_{\text{рр}}$ - розрахункова товщина трубної решітки, мм;

ВСТУП

Масообмінні процеси - такі технологічні процеси, швидкість протікання яких визначається швидкістю перенесення речовини (маси) з однієї фази в іншу конвективною і молекулярною дифузією. Рушійною силою масообмінних процесів є різниця концентрацій речовини, що розподіляється, у взаємодіючих фазах.

Масообмінні процеси класифікуються за трьома основними ознаками: агрегатному стану речовини, способу контакту фаз і характеру їх взаємодії.

По агрегатному стану речовини можна представити основні фази: "газ - рідина" (Г-Р), "газ - тверде тіло" (Г-Тв.т), "рідина - рідина" (Р-Р), "рідина - тверде тіло" (Р-Тв.т) та ін.

Залежно від поєднання фаз є способи їх розподілу. Так, при поєднанні Г-Р розподіл можливий дистиляцією, ректифікацією, абсорбцією і десорбцією, сушкою і зволоженням; Г-Тв.т - сушкою сублімації, адсорбцією, іонним обміном, фракційною адсорбцією; Р-Р - рідинною екстракцією; Р-Тв.т - фракційною кристалізацією, екстрагуванням, адсорбцією, іонним обміном.

Перенесення розподілюваної речовини відбувається завжди з фази, в якій її вміст вищий за рівноважний, у фазу, в якій концентрація цієї речовини нижча за рівноважну.

За способом контакту фаз масообмінні процеси розділяють на процеси з безпосереднім контактом фаз, контактом через мембрани і без видимої (чіткої) межі фаз.

Основні завдання, що вирішуються за допомогою масообмінних процесів в хімічній технології:

- витягування компонентів з сумішей з отриманням цільових продуктів або напівпродуктів;
- очищення різних речовин або середовищ від забруднюючих компонентів.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Перегонка рідини

Перегонкою називається процес розподілу рідкої суміші з різною летючістю компонентів, який здійснюється шляхом її часткового випарювання з наступною конденсацією пари, в результаті якої утворюються продукти з більшою долею більш летких і менш летких компонентів в порівнянні з початковою сумішшю. Розподілу можуть піддаватися як двух-, так і багатокомпонентні суміші. Компоненти можна підрозділити по летючості на легколетучий і труднолетучий. Чистий легколетучий компонент має при фіксованій температурі вищий тиск насиченої пари, а при фіксованому тиску нижчу температуру кипіння, чим труднолетучий. Тому легколетучий компонент також називають низькокиплячим, а труднолетучий - висококиплячим. У простому випадку бінарної (двокомпонентної) суміші доля легколетучого компонента в умовах рівноваги в парі вище чим в рідині, а труднолетучого навпаки в парі нижче чим в рідині (за винятком азеотропних сумішей).

Суть перегонки полягає в тому, що в результаті в парі, а після її конденсації в дистиляті збільшується доля легколетучих компонентів, в рідині ж (кубовому залишку) збільшується доля труднолетучих компонентів в порівнянні з початковою сумішшю.

За допомогою перегонки має сенс розділяти гомогенні рідкі суміші. Гетерогенні рідкі системи із взаємно нерозчинними компонентами (наприклад, газ-вода) дешевше розділяти за допомогою таких гідромеханічних процесів як відстоювання або центрифугування. Недоліком перегонки є велика витрата енергії, необхідна для випарювання рідини.

Перегонка підрозділяється на просту перегонку і ректифікацію.

Проста перегонка - розподіл рідкої суміші за рахунок її часткового випарювання з наступною конденсацією рівноважної з нею пари.

Ректифікація - розподіл рідкої суміші за рахунок взаємодії нерівноважних потоків рідини і пари, в результаті якої пара збагачується більш леткими, а рідина менш леткими компонентами.

Просту перегонку застосовують, в основному, для розподілу сумішей компонентів, що істотно розрізняються по летючості. З цієї точки зору вона займає проміжне положення між випарюванням, що служить для концентрації практично нелетких речовин в рідких летких розчинниках, і ректифікацією, за допомогою якої можна розділяти компоненти досить близькі по летючості. За допомогою ректифікації можна досягти скільки завгодно високої міри розподілу неазеотропних сумішей.

За способом розподілу парової і рідкої фаз перегонку можна підрозділити на: одноразову, багатократну і поступову.

При одноразовій перегонці уся кількість початкової рідкої суміші рідкого залишку і рівноважної з ним пари, що утворилися при частковому випарюванні, відділяються один від одного одноразово. У разі багатократної дистиляції процес одноразової дистиляції застосовується багаторазово по відношенню до рідкого залишку. Тобто спочатку відбувається процес відділення рівноважної пари від рідкого залишку, а потім цей залишок знову частково випарюється з наступним відділенням від нього пари, що утворилася, і так далі. Багатократна перегонка дозволяє у результаті отримати кубовий залишок з великою часткою труднолетучого компонента, але кількість цього залишку буває незначною. При поступовій перегонці пара відділяється від рідкого залишку по мірі їх утворення. Таким чином, поступову перегонку можна розглядати як граничний випадок багатократної.

Можна класифікувати процес перегонки і за іншими ознаками. Так якщо в результаті процесу виходять декілька фракцій кінцевого продукту різного складу, то таку перегонку називають фракційною. Якщо для підвищення міри розподілу суміші пара, що утворилася, частково конденсується і конденсат (флегму), збагачений труднолетучим компонентом, змішують з рідким залишком, то цей процес називають перегонкою з дефлегмацією.

Як вже відзначалося добитися високої міри розподілу початкової суміші можна за допомогою безперервної багатократної перегонки, проте для цього буде потрібно велика кількість як дистиляторів, так і витрат тепла на випарювання

суміші. З меншими витратами досягти того ж результату можна за допомогою безперервної ректифікації, в ході якої багатократне часткове випарювання рідини і конденсація пари здійснюються в одному апараті (колоні ректифікації) при контакті нерівноважних парової і рідкої фаз, рухомих протитечією.

1.2 Апаратурне оформлення процесів перегонки рідини

Для проведення процесу ректифікації використовують наступні апарати: колону ректифікації, дефлегматор, холодильники, підігрівач початкової суміші, кип'ятильник, ємності дистиляту і кубового залишку.

За типом контактних пристроїв розрізняють тарілчасті, плівкові ректифікаційні колони та колони з насадкою. Сфера застосування тих або інших апаратів визначається властивостями сумішей, що розділяються, продуктивністю і т. д.

За способом організації відносного руху контактуючих потоків рідини і пари розрізняють контактні пристрої з протитечієвим, прямоточним і перехрестноточним рухом фаз. Незалежно від схеми руху потоків в межах окремого контактного пристрою в цілому по апарату, як правило, здійснюється протитечія пари і рідини.

Колони з насадкою знайшли застосування в тих випадках, коли необхідно забезпечити малу величину затримки рідини в колоні, невеликий перепад тиску, а також для малотонажних виробництв. Були створені типи насадок (кільця Рашига, просічені з металу, сіток та ін.), які виявилися досить ефективними в колонах великого діаметру.

Насадки є твердими тілами різної форми, які завантажують в корпус колони навалом або укладають певним чином. Розвинена поверхня насадок обумовлює значну поверхню контакту пари і рідини.

Для заповнення колон з насадкою широко застосовують кільця Рашига, виготовлені з різних матеріалів, що забезпечує універсальність їх практичного використання. Проте кільця Рашига володіють відносно невисокою

продуктивністю і порівняно високим опором. Останнє обмежує їх застосування для вакуумних процесів. Створені різні модифікації кілець Рашига: кільця Паля, кільця Борад і інші, що дозволили отримати кращі робочі характеристики, чим при кільцях Рашига.

У зв'язку з необхідністю створення насадки з низьким гідравлічним опором були розроблені різні варіанти регулярного укладання тіл насадки, блокові насадки, а також насадки з сіток різних конструкцій.

До регулярних відносяться насадки, розташування елементів яких в об'ємі колони підпорядковане певному геометричному порядку що створює впорядковані канали для проходження елементів.

У тарілчастих ректифікаційних колонах пара (чи газ) проходить через шар рідини, що знаходиться на тарілці. При цьому пара дробиться на дрібні пухирі і струмені, які з великою швидкістю рухаються в рідині. Утворюється газорідинна система, яку називають піною. У ректифікаційних колонах тарілчастого типу застосовуються ситчасті, ковпачкові, клапанні, S - подібні, гратчасті провальні, дірчасті хвилеподібні тарілки та ін.

Ситчасті тарілки використовують в колонах невеликого діаметру (до 2,0-2,5 м). Нині часто використовуються варіанти ситчастих тарілок, полотно яких виконане з витяжного листа для просічення. Потік пари, проходячи через таке полотно, відхиляється від вертикалі і на виході з барботажного шару спрямований під кутом 40-60° до горизонталі. Щоб інтенсифікувати роботу тарілки на шляху пари, що виходить з барботажного шару, похило встановлюють відбійні елементи, виготовлені з того ж просіченого листа. Ударяючись об ці елементи, парорідинна суміш сепарується: рідина плівкою стікає по елементу вниз в зону барботажу, а пара через щілини проходить в міжтарілчастий простір. Такі тарілки мають дуже малий гідравлічний опір (0,1-0,2 кПа) і забезпечують досить високу ефективність масообмінних процесів.

Недолік таких тарілок (як і інших варіантів ситчатої тарілки) полягає в тому, що при щонайменшій не горизонтальності, або місцевих опуклостях або вм'ятинах полотна тарілки, вона працює нерівномірно по усій площі - в точках,

що пролягають нижче, провалюється рідина, а у вищерозміщених - пара проскакує без барботажу. В результаті знижується ефективність тарілки.

Одним із старих по тривалості використання і масових досі типів тарілок є ковпачкова тарілка з круглими ковпачками. Її відмінність від попередніх - наявність у кожного отворі патрубк певної висоти, над яким укріплений ковпачок з прорізами для проходу пари по усьому нижньому його краю. Такий пристрій дозволяє ввести потік пари в шар рідини на тарілці паралельно її площини роздробленим на безліч дрібних струменів. Крім того, зустрічні струмені від сусідніх ковпачків, вдаряючись, створюють завихорення в міжковпачковій зоні, внаслідок чого підвищується ефективність тарілки. Дійсно, в переважній більшості випадків середній к.к.д. такої тарілки на практиці виявляється найбільшим - 0,6-0,8.

На заміну ковпачковим тарілкам прийшли два нові типи тарілок - з S - подібних елементів і клапанні.

Оригінальність тарілки з S - подібних елементів полягає в тому, що у неї полотно і ковпачки утворюють однакові елементи (у розрізі - S - подібного профілю), але кожен ковпачок при цьому має прорізи для проходу пари тільки з одного боку, тобто на одиницю площі барботажу тарілки паровий потік вводиться в рідину меншим "фронтом" подрібнених струменів. Рідина на цій тарілці рухається упоперек тунельних ковпачків, затоплюючи їх.

Тарілки з S - подібних елементів знайшли дуже велике поширення в усіх колонах, окрім вакуумних (із-за підвищеного гідравлічного опору), завдяки малій металоємності, простоті виготовлення (штампування) і монтажу у поєднанні з високою ефективністю (середній к.к.д. 0,4-0,7).

Невисока ефективність тарілок з S - подібних елементів частково пов'язана з меншою долею подрібнених струменів пари на одиницю площі барботажу. Тому з'явилася комбінована тарілка такого типу, у якій по верхній площині ковпачків з кроком 100-120 мм розташовані отвори прямокутного перерізу, перекриті клапанами, що відкриваються по ходу руху рідини. Це збільшує

барботажний ефект, знижує гідравлічний опір тарілки і в результаті підвищує її к.к.д.

Клапанні тарілки поєднують в собі ряд переваг (мала металоємність, простота зборки, рівномірний барботаж в широкому інтервалі навантажень по парі і рідині та ін.), які дозволили їм стати найпоширенішим типом тарілки, починаючи з 1970-х років і до теперішнього часу. Ці тарілки застосовують практично в усіх типах колон - від газорозподільних до вакуумних.

Клапанні тарілки дозволяють регулювати прохідний переріз отворів для пари. Для цього над кожним отвором (діаметром від 30 до 50 мм) є пристрій (клапан), який залежно від кількості пари під їх натиском підводиться (чи обертається) над отвором, змінюючи таким чином прохідний переріз для пари.

Проте існує безліч різних конструкцій клапанних тарілок, клапанів, що розрізняються устроєм.

Клапан з різними ніжками спочатку під дією потоку пари піднімається з боку короткої ніжки (оскільки центр тяжіння такого клапана зміщений у бік довгих ніжок) до тих пір, поки вона упреться в полотно. У цьому положенні потік пари вводиться під кутом до площини тарілки назустріч рухомому потоку рідини, тобто тарілка працює в протитечійному режимі. При наступному збільшенні кількості пари клапан піднімається з боку довгих ніжок (точніше, обертається навколо точки упору - короткої ніжки), і коли площини клапана і полотна тарілки стають паралельними, тарілка працює в режимі перехресного струму рідини і пари.

Гратчаста провальна тарілка є полотном з геометрично впорядкованими рядами щілин (розмірами приблизно 10 x 150 мм), через які вгору проходить пара, барботуючи через шар рідини на тарілці, і через які частина надмірної рідини стікає (провалюється) струменями на тарілку, що пролягає нижче.

Така тарілка дуже чутлива до зміни навантаження по рідині, при змінах якої від розрахункової на 20-30% тарілка може або захлинутися, або не утримувати на полотні шар рідини. Такий же ефект матиме місце і при коливаннях навантаження по парі.

Дірчаста хвилеподібна тарілка є вдосконаленою ґратчастою. Полотно її має не щілини, а отвори діаметром 10-15 мм. Профіль полотна в розрізі - синусоїдальний. Це дозволяє розділити зони переважного проходу пари (верхні вигини тарілки) і стоку рідини (нижні вигини полотна тарілки). Шар рідини на тарілці утримується вище за верхні вигини, і тому пара барботує через цей шар.

1.3 Конструкції теплообмінного обладнання

Кожухотрубчасті теплообмінники позначаються індексами і розподіляються:

- за призначенням (перша буква індексу): Т - теплообмінники; Х - холодильники; К - конденсатори; В - випарники;
- по конструкції (друга буква індексу): Н - з нерухомими трубними решітками; К- з температурним компенсатором на кожусі; П - з плаваючою голівкою; У - з U - подібними трубами; ПК - з плаваючою голівкою і компенсатором на ній;
- по розташуванню (третья буква індексу): Г - горизонтальні; В - вертикальні.

Кожухотрубчасті теплообмінники також класифікуються за:

- числом ходів у трубному просторі – одноходові та багатходові;
- матеріальним виконанням – основні вузли і деталі з вуглецевої, низьколегованої, корозійностійкої сталі, латуні та титану;
- компонованням – одинарні або здвоєні.

Кожухотрубчастий теплообмінник складається з основних елементів: кожух (корпус), трубний пучок, камери-кришки, патрубки, замочна і регулююча арматура, контрольно-вимірювальна апаратура, опори. Кожух апарату зварюють у вигляді циліндра з одного або декількох, сталевих листів. Товщина стінки кожуха визначається максимальним тиском робочого середовища в міжтрубному просторі і діаметром апарату. Днища камер можуть бути сферичними зварними,

еліптичними штампованими і рідше - плоскими. До циліндричних кромок кожуха приварюють фланці для з'єднання з кришками або днищами.

Трубний пучок теплообмінника може бути зібраний з гладких сталевих безшовних, латунних або мідних прямих або U - образних труб діаметром від декількох міліметрів до 57 мм і завдовжки від декількох сантиметрів до 6-9 м з діаметром корпусу до 1,4 м і більше. Впроваджуються, особливо в холодильній техніці і на транспорті, зразки кожухотрубчастих і секційних теплообмінників з низькими накатними подовжніми, радіальними і спіральними ребрами. Форма такої поверхні теплообміну забезпечує високу теплову ефективність апарату при робочих середовищах з різними теплофізичними властивостями.

Залежно від конструкції пучка як гладкі, так і накатні труби закріплюють в одній або двох трубних ґратах розвальцьовуванням, відбортовкою, зварюванням, спайкою або сальниковими з'єднаннями. З усіх перерахованих способів рідше застосовують складніші і дорожчі сальникові ущільнення, що витримують при теплових подовженнях подовжнє переміщення труб.

Переважно труби розміщуються рівномірно на усій площі решітки по вершинах правильних трикутників або квадратів. В апаратах, призначених для роботи на забруднених рідинах, частіше приймають прямокутне розміщення труб для полегшення очищення міжтрубного простору.

Теплообмінники з нерухомими трубними решітками застосовуються при порівняно невеликій різниці температур між корпусом і трубами (приблизно 25-30°C) і за умови виготовлення корпусу і труб з матеріалів з близькими значеннями їх коефіцієнтів подовження. При проектуванні теплообмінника необхідно розраховувати напруження, що виникає внаслідок теплових подовжень труб в трубних решітках, особливо в місцях з'єднання труб з решітками.

У кожухотрубчастом теплообміннику з лінзовим компенсатором на корпусі теплові подовження компенсуються осьовим стискуванням або розтягуванням цього компенсатора. Такі апарати рекомендується застосовувати при надмірному тиску в міжтрубному просторі не вище $2,5 \cdot 10^5$ Па і при деформації компенсатора не більше ніж на 10-15 мм.

У теплообмінниках з U -образними трубами обидва кінці труб закріплюють в одній трубній решітці. Кожна з труб пучка може вільно подовжуватися незалежно від подовження інших труб і елементів апарату. При цьому в місцях з'єднань труб з трубними решітками і в з'єднанні трубної решітки з корпусом не виникає ніякого напруження. Ці теплообмінники придатні для роботи при високих тисках теплоносіїв. Проте апарати з гнутими трубами не можуть бути визнані кращими із-за труднощі виготовлення труб з різним радіусом вигину, складнощі заміни і незручності очищення гнутих труб.

Крім того, в умовах експлуатації при рівномірному розподілі теплоносія на вході в труби буде неоднакова температура цього теплоносія на виході з них внаслідок різних площ поверхонь теплообміну цих труб.

У кожухотрубчастому теплообміннику з "плаваючою" голівкою трубний пучок збирається з прямих труб, сполучених двома трубними решітками. Нерухома решітка затискається між фланцем корпусу і фланцем камери. Рухлива трубна решітка разом з кришкою "плаваючою" голівкою усередині міжтрубного простору вільно можуть переміщатися уздовж осі теплообмінника. Ці теплообмінники досконаліші, ніж інші апарати нежорсткої конструкції. Деяке здорожчання апарату із-за збільшення діаметру корпусу в зоні плаваючої голівки і із-за необхідності виготовлення додаткової кришки "плаваючої" голівки виправдовується простотою і надійністю в експлуатації.

Трубний і міжтрубний простори теплообмінників розділені і утворюють два контури для циркуляції двох теплоносіїв. Але у разі потреби у внутрішньотрубний контур можна подавати не одне, а два і навіть три середовища, що нагріваються, розділивши при цьому ці потоки перегородками, розміщеними в кришках апаратів.

2 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ТА КОНСТРУКЦІЇ КОЛОНИ І ДЕФЛЕГМАТОРА

2.1 Технологічна схема

Вихідну суміш з ємкості Є1 відцентровим насосом Н2 подають в підігрівач П, де вона підігрівається до температури кипіння. Нагріта суміш поступає на розділення в ректифікаційну колону КР. Схема безперервно діючої ректифікаційної установки наведена на рисунку 2.1.

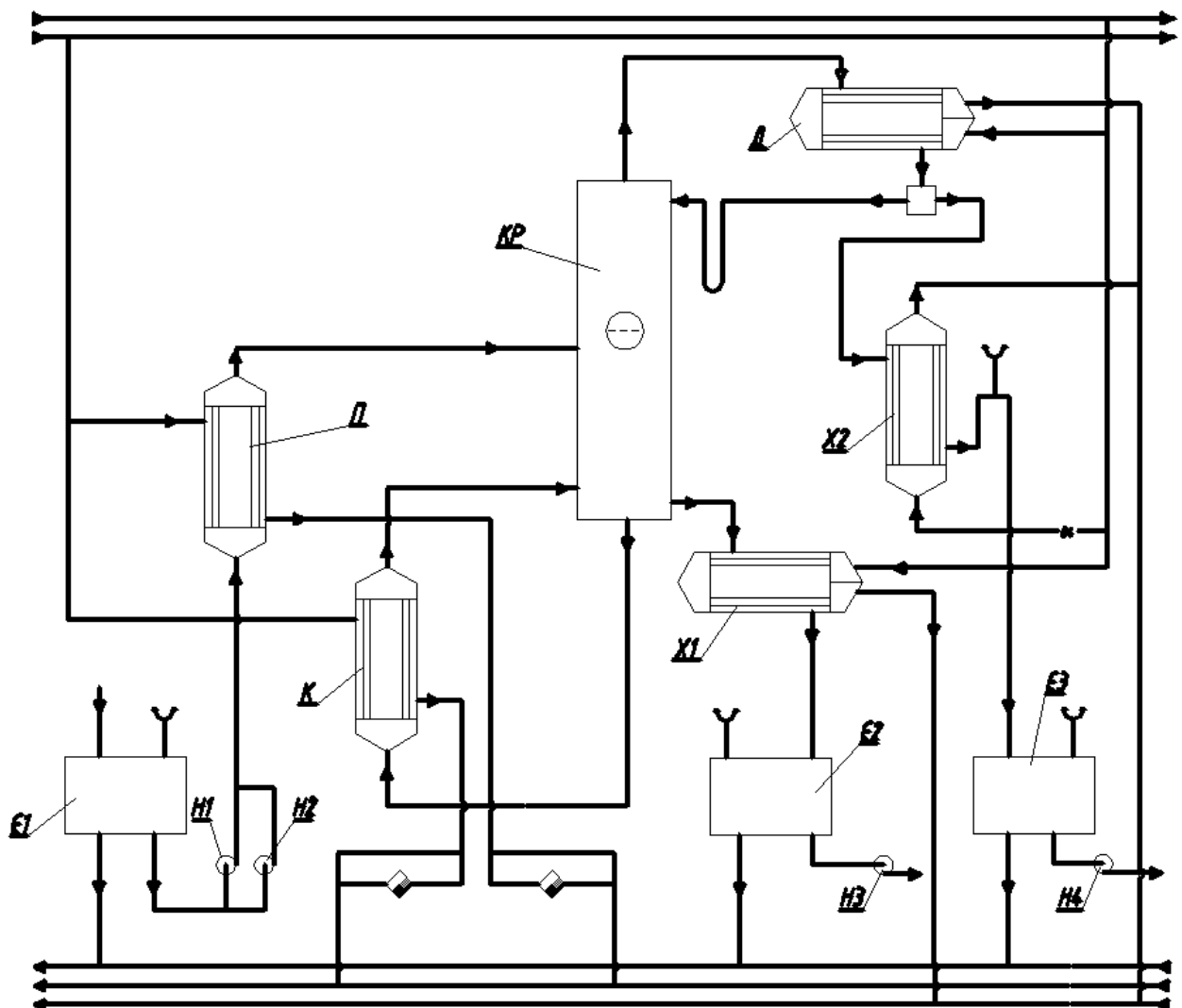


Рисунок 2.1 - Схема безперервно діючої ректифікаційної установки

Колона ректифікації безперервної дії складається з двох частин: вичерпної-початкова суміш взаємодіє в протитоці з парою, початковий склад якої аналогічний складу кубового залишку; зміцнюючої - пара, що поступає з нижньої частини, взаємодіє в протитоці з флегмою. У вичерпній частині колони

рідина збагачується висококиплячими компонентами і обідняється низькокиплячими. У зміцнюючій частині пара зміцнюється низькокиплячим теплоносієм. Межею між двома частинами колони служить поживна тарілка, на яку подається початкова суміш, нагріта до температури кипіння. На поживній тарільці вона змішується з флегмою і стікає по тарілках в куб, збагачуючись висококиплячими компонентами.

З низу колони частина кубового залишку поступає в кип'ятильник К, що обігривається водяною парою. З кип'ятильника парова суміш, що утворюється, піднімається по колоні від низу до верху. Збагачена низькокип'ячим компонентом, вона поступає в дефлегматор Д, в якому частина пари конденсується і у вигляді флегми повертається на верхню тарілку зміцнюючої частини колони. Інша частина пари поступає в холодильник Х2, де конденсується і поступає в ємність Є3.

З кубової частини колони безперервно виводиться кубова рідина – продукт збагачений труднолетучим компонентом, який охолоджується в холодильнику Х1 і прямує в ємність Є2.

2.2 Опис конструкції колони з ситчастими тарілками

В даному дипломному проекті в ректифікаційній установці задіяна тарільчаста ректифікаційна колона.

Вона являє собою вертикальний колонний апарат, корпус якого складається з циліндричної обичайки 1 діаметром 2200 мм, зверху і знизу до якої приварені еліптичні днища 2 і 3. Всередині колони горизонтально розташовано 17 ситчастих тарілок 4, 9-та знизу.

Ситчасті тарілки виготовлені з перфорованого листа товщиною 2 мм з просіченими отворами. Отвори рівномірно розташовуються по усій поверхні тарілки, окрім глухого сегменту, діаметром 20 мм, кроком 25 мм. Для зливу рідини і регулювання її рівня на тарільці служать переливні пристрої, нижні кінці яких занурені в шар рідини на тарільці, що знаходиться нижче.

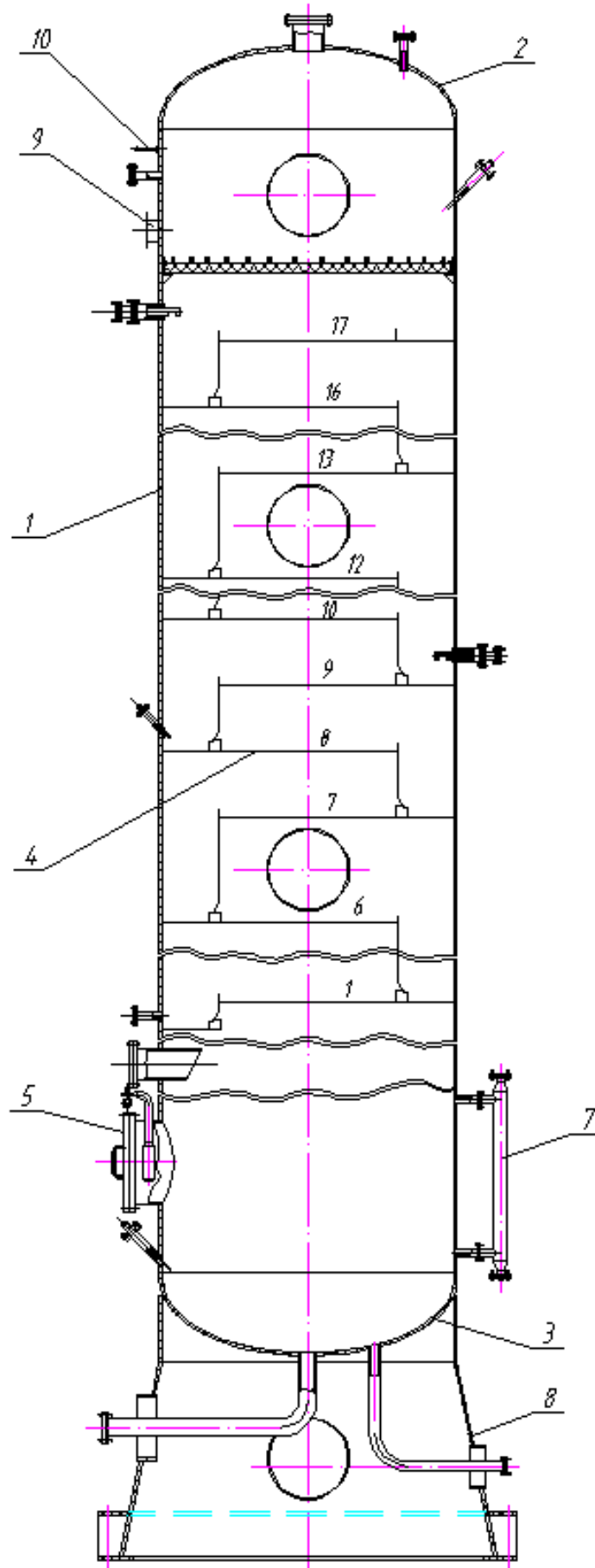


Рисунок 2.2 - Суцільнозварний колонний апарат з ситчастими тарілками

Через кожні шість тарілок на корпусі колони встановлено люк 5 D_y 600. На кришках люків розміщені поворотні пристрої 6. Через люки збирають, розбирають та ремонтують тарілки, а також оглядають та очищують внутрішню поверхню колони. Для заміру рівня кубової рідини до куба колони приварена рівнемірна колонка 7. Ректифікаційна колона встановлена на конічну опору 8.

На корпусі колони розташовані технологічні штуцери, які призначені для входу і виходу робочого середовища і штуцери для приєднання пристроїв вимірювання тиску, температури та рівня.

В верхній частині колони розміщені цапфи для стропування 9 у кількості 4 штуки і пристосування для вивіряння 10 для встановлення колони в вертикальне положення при монтажі у кількості 4 штуки.

Пристосування для вивіряння вертикальності представляють собою спеціальні пристрої у вигляді нарізних шпильок, які встановлюються по двох взаємно перпендикулярно під кутом 90° на корпусі апарату, дві вгорі і дві внизу.

Принцип дії колони з ситчастими тарілками полягає в барботажі пари через рідину на тарілці, на якій підтримують певний рівень рідини. Флегма перетікає з верхньої тарілки на нижню по переливних пристроях.

При барботажі парі через відчини на тарілці утворюється піна, в якій відбувається інтенсивний масообмін між рідиною і парою. Потік пари, проходячи через таке полотно, відхиляється від вертикалі і на виході з барботажного шару спрямований під кутом 40-60° до горизонталі. Щоб інтенсифікувати роботу тарілки на шляху пари, що виходить з барботажного шару, похило встановлюють відбійні елементи, виготовлені з того ж листа просічення. Ударяючись об ці елементи, парорідинна суміш сепарується: рідина плівкою стікає по елементу вниз в зону барботажу, а пара через щілини проходить в міжтарілчастий простір. Такі тарілки мають дуже малий гідравлічний опір (0,1-0,2 кПа) і забезпечують досить високу ефективність масообмінних процесів. Далі газ проходить через шар рідини, що перетікає по

тарілці до переливного пристрою, а далі до наступної тарілки, що розміщується нижче.

Ректифікаційні колони з ситчастими тарілками стійко працюють в досить широкому інтервалі швидкостей газу, причому в певному діапазоні навантажень по газу і рідині ці тарілки мають високу ефективність. В той же час ситчасті тарілки чутливі до забруднень і осідань, які забивають отвори тарілок.

2.3 Опис конструкції дефлегматора

Дефлегматор – горизонтальний двоходовий кожухотрубчастий теплообмінний апарат типу К з температурним компенсатором на кожусі (рис. 2.3). Дефлегматор складається з пучка труб, закріплених в трубних решітках, які розміщені в кожусі 1, розподільної камери 2 та кришки кожуха 3, які з'єднуються між собою за допомогою фланців.

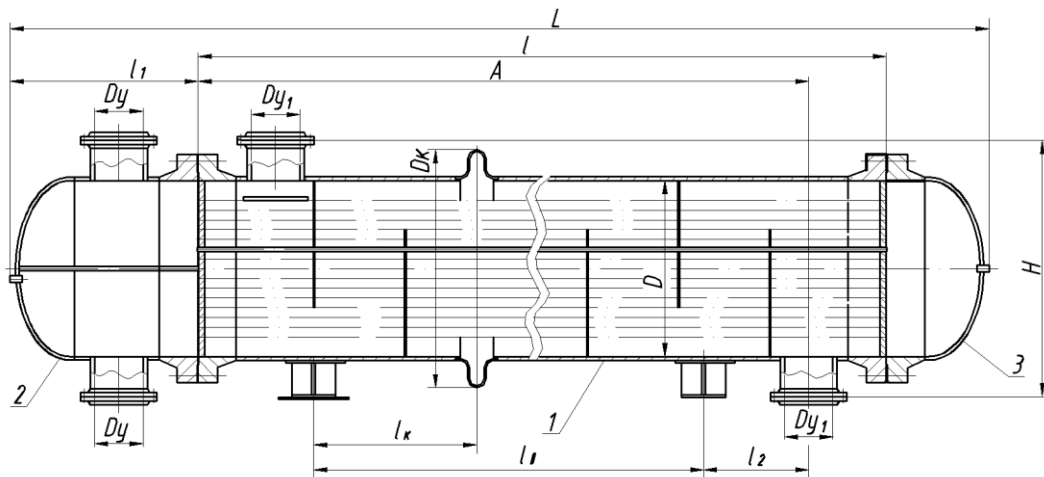


Рисунок 2.3 – Кожухотрубчастий теплообмінний апарат з температурним компенсатором на кожусі горизонтальний двоходовий по трубах

Трубний пучок утворений трубами, закріпленими в двох трубних решітках. Трубні решітки приварені до кожуха. На кожусі дефлегматора розміщений лінзовий компенсатор, призначений для зниження температурних напружин, які виникають в трубах і кожусі в робочих умовах. У кожусі і розподільній камері виконані штуцера для введення і виведення теплоносіїв з трубного і міжтрубного

просторів. Перегородка в розподільній камері утворює ходи теплоносія по трубах. Для герметизації вузла з'єднання подовжньої перегородки з трубними решітками використано прокладку, укладену в паз решітки.

Оскільки інтенсивність тепловіддачі при поперечному обтіканні труб теплоносієм вище, ніж при подовжньому, в міжтрубному просторі дефлегматора встановлені зафіксовані стяжинами поперечні перегородки, що забезпечують зигзагоподібний рух теплоносія по довжині дефлегматора в міжтрубному просторі. На вході теплообмінного середовища в міжтрубний простір передбачений відбійник - кругла або прямокутна пластина, що оберігає труби від місцевого ерозійного зношування.

У міжтрубному просторі дефлегматора тече холодна вода, а в труби поступає пара. На стінках труб відбувається часткова конденсація пари, при цьому з пари переважно конденсується ВК, а пара, що не сконденсувалася, збагачується НК.

На штуцерах і кришці кожуха дефлегматора розміщені бобишки з пробками для спорожнення трубного і міжтрубного просторів, а також повітряники видалення повітря з нижніх і верхніх точок відповідних порожнин. Горизонтальний кожухотрубчастий теплообмінник встановлений на дві сідлові опори, одна з яких рухома, а друга - нерухома.

Теплообмінники типу К відрізняються порівняно простим устроєм і дешевизною, проте мають недолік: зовнішня поверхня труб не може бути очищена від забруднень механічним способом, а теплоносії в деяких випадках можуть містити домішки, здатні осідати на поверхні труб у вигляді накипу, відкладень та ін. Шар таких відкладень має малий коефіцієнт теплопровідності і здатний дуже істотно погіршити теплопередачу в теплообміннику.

3 КОНСТРУКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕФЛЕГМАТОРА

При виборі матеріалів для виготовлення теплообмінника необхідно в першу чергу усебічно розглянути умови його роботи і розмежувати чинники, що впливають на матеріал, по мірі їх впливу на надійність.

Наступним етапом вибору матеріалу має бути процес визначення комплексу необхідних властивостей матеріалу, що забезпечують надійну і довговічну роботу устаткування в заданих умовах експлуатації. Оскільки конструкційні матеріали характеризуються механічними, фізикохімічними і технологічними властивостями, то розглядати необхідно усю гаму властивостей, особливо, якщо в конструкції повинні працювати різні матеріали.

У дефлегматорі по трубному простору рухається охолоджуюча вода, тому згідно з [16] для виготовлення кришок застосовуємо сталь СтЗсп за ГОСТ 380. Матеріал труб для виготовлення патрубків - сталь 10 за ГОСТ 8732.

По міжтрубному простору дефлегматора рухається пара дистилляту. Тому згідно з [16] для виготовлення обичайки, фланців, трубних решіток та перегородок застосовуємо сталь 12Х18Н10Т за ГОСТ 5632, для теплообмінних труб та патрубків - сталь 12Х18Н10Т за ГОСТ 9941.

Матеріал кріпильних виробів (болтів) по рекомендаціях [22] для фланців штуцерів з вуглецевої сталі - сталь 40 ГОСТ 1050, для гайок - сталь 20 ГОСТ 1050. Матеріал болтів та гайок для фланців штуцерів з нержавіючої сталі - сталь 20Х13 ГОСТ 5632. Матеріал опори і цапф для стропування – сталь стЗсп по ГОСТ 380. Матеріал прокладок - паронит ПОН за ГОСТ 481.

Вуглецева сталь СтЗсп завдяки доступній вартості і високим характеристикам міцності відноситься до широко поширених сталей. Зі сталі СтЗсп, що складається із заліза і вуглецю і мінімуму інших домішок, виготовляють різну машинобудівну продукцію, деталі апаратів і котлів, трубопроводи, інструменти.

Вміст основного елементу - вуглецю - в сталях цієї категорії може варіюватися в досить широких межах. Так, високовуглецева сталь містить у своєму складі 0,6-2% вуглецю, середньовуглецеві сталі - 0,3-0,6%, низьковуглецеві, - до 0,25%. Цей елемент визначає не лише властивості вуглецевих сталей, але і їх структуру. Так, внутрішня структура сталей, що містять у своєму складі менше 0,8% вуглецю, складається переважно з фериту і перліту, при збільшенні концентрації вуглецю починає формуватися вторинний цементит.

Вуглецеві сталі з переважаючою феритною структурою відрізняються високою пластичністю і низькою міцністю. Якщо ж в структурі сталі переважає цементит, то вона характеризується високою міцністю, але разом з цим є і дуже крихкою. При збільшенні кількості вуглецю до 0,8-1% характеристики міцності твердості вуглецевої сталі зростають, але значно погіршуються її пластичність і в'язкість.

Сталь 12X18H10T - хромонікелева нержавіюча сталь застосовується для, теплообмінного і реакційного устаткування, а також для паронагрівачів, водонагрівачів і трубопроводів високого тиску з граничною температурою застосування до 600°C, для деталей пічної апаратури, муфелів, колекторів вихлопних систем, зварних конструкцій в криогенній техніці при низьких температурах, порядку мінус 269°C. Корозійностійка сталь марки 12X18H10T широко застосовується для виготовлення зварної апаратури в різноманітних галузях промисловості, а також металоконструкцій, що працюють у контакті з агресивними середовищами - азотною кислотою і іншими окислювальними середовищами, певними органічними кислотами невеликої концентрації, органічними розчинниками і т. п.

В результаті, унікальне поєднання властивостей і характеристик міцності, дозволило сталі 12X18H10T знайти щонайширше застосування в більшості галузей промисловості, вироби із сталі цієї марки мають високі характеристики протягом тривалого терміну служби.

4 ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ РОЗМІРІВ КОЛОНИ ТА ДЕФЛЕГМАТОРА

Початкові дані

Продуктивність по вихідній суміші	5,5 т/год;
у вхідній суміші	$X_F = 0.37\%$ (масс.),
в дистилляті	$X_d = 0.98\%$ (масс.),
в кубовому залишку	$X_w = 0.015\%$ (масс.).
Температура:	
остудної води	$t_B = 11^\circ C$
дистилляту після холодильника	$t_D = 23^\circ C$
кубового залишку після холодильника	$t_w = 25^\circ C$
вхідної суміші	$t_F = 16^\circ C$
Тиск насиченої водяної пари	5 кгс/см ²

4.1 Визначення продуктивності по дистилляту і кубовому залишку

Продуктивність колони по дистилляту визначаємо за формулою:

$$G_D = G_F \cdot \frac{X_F - X_w}{X_D - X_w} = 5500 \cdot \frac{0,37 - 0,015}{0,98 - 0,015} = 2023,31 \text{ кг/рік}$$

Продуктивність колони по кубовому залишку визначаємо з рівняння:

$$G_w = G_F - G_D \tag{1}$$

$$G_w = G_F - G_D = 5500 - 2023,31 = 3476,69 \text{ кг/рік}$$

Преревірка:

$$5500 \cdot 0,37 = 2023,31 \cdot 0,98 + 3476,69 \cdot 0,015$$

$$2035 = 1982,84 + 52,15$$

$$2035 = 2035.$$

4.2 Визначення мінімального і дійсного флегмового числа

Перераховуємо масові концентрації в мольні за формулою:

$$X_A = \frac{\frac{X_A}{M_B}}{\frac{X_B}{M_B} + \frac{1-X_B}{M_T}} \quad (2)$$

де X – концентрація низкокип'ячого компонента Б в бінарній суміші, мол. частки;

M_A, M_B – молярна маса компонента А і В (відповідно).

Молярні маси: бензола - 78,11 кг / кмоль, толуол – 92,13 кг/кмоль

Тоді концентрація вхідної суміші:

$$X_F = \frac{\frac{x_F}{M_B}}{\frac{x_F}{M_B} + \frac{1-x_F}{M_T}} = \frac{\frac{0,37}{78,11}}{\frac{0,37}{78,11} + \frac{1-0,37}{92,13}} = 0,409$$

дистиляту:

$$X_D = \frac{\frac{x_D}{M_B}}{\frac{x_D}{M_B} + \frac{1-x_D}{M_T}} = \frac{\frac{0,98}{78,11}}{\frac{0,98}{78,11} + \frac{1-0,98}{92,13}} = 0,984$$

кубового залишку:

$$X_W = \frac{\frac{x_W}{M_B}}{\frac{x_W}{M_B} + \frac{1-x_W}{M_T}} = \frac{\frac{0,015}{78,11}}{\frac{0,015}{78,11} + \frac{1-0,015}{92,13}} = 0,017$$

Мінімальне флегмове число визначаємо графо-аналітичним способом. Для цього на підставі досвідчених даних, в координатах у-х будуємо криву рівноваги для суміші бензол-толуол при атмосферному тиску (рисунок 4.1) і криву температур кипіння і конденсації (рисунок 4.2)

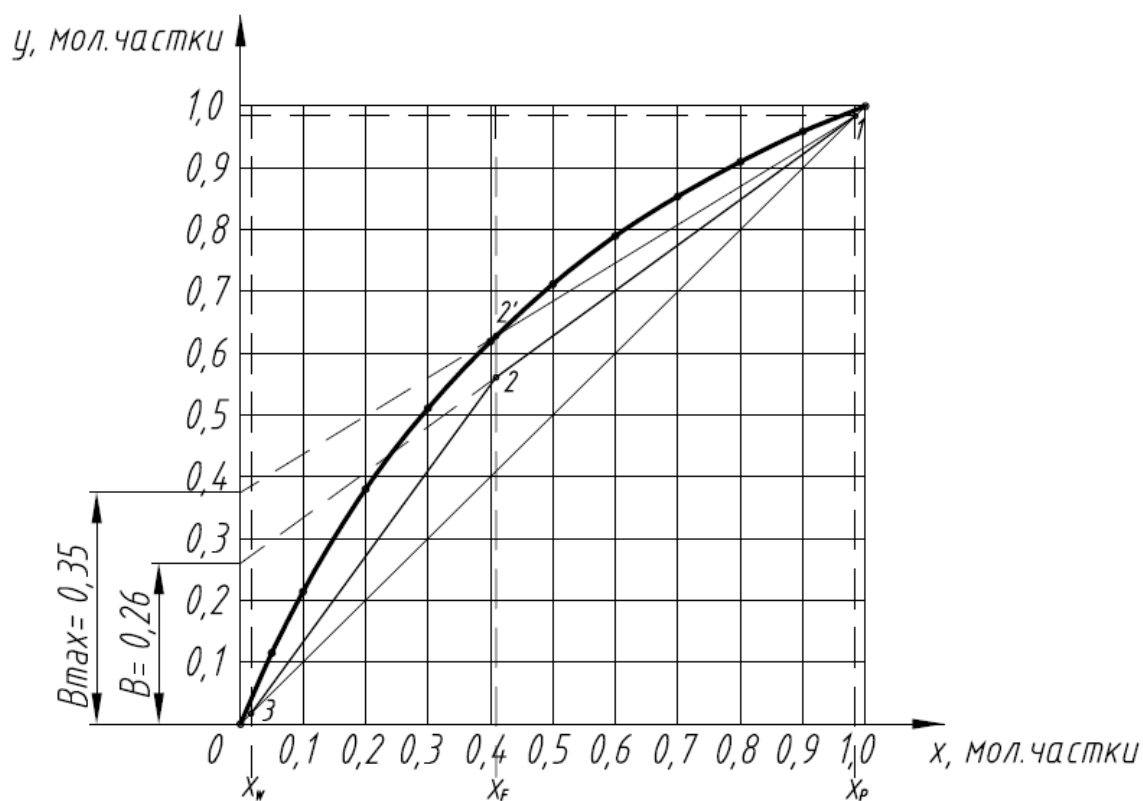


Рисунок 4.1 – До визначення мінімального флегмового числа

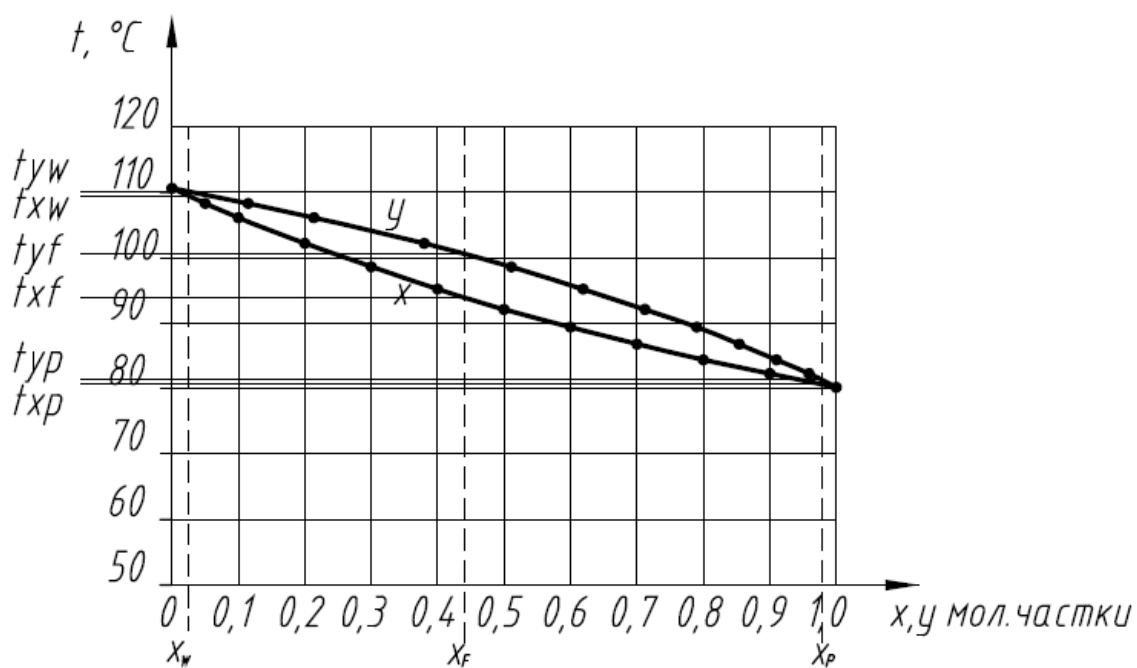


Рисунок 4.2 – Ізобара температур кипіння і конденсації

Таблиця 4.1–Рівноважні дані для суміші бензол–толуол

Вміст компонента А, мол. %		Температура кипіння, t, °С
в рідині (x)	в парі (y)	
0	0	110,6
5	11,5	108,3
10	21,4	106,1
20	38	102,2
30	51,11	98,6
40	61,9	95,2
50	71,2	92,1
60	79	89,4
70	85,4	86,8
80	91	84,4
90	95,9	82,3
100	100	80,2

На діаграмі у-х з точки 1 ($x_p=y_p$) через точку 2' (x_F, y_F^*) проводимо пряму лінію до перетину з віссю у. Відрізок, відсікаємий на осі у, позначимо через $V_{\max}=0,35$. За величиною цього відрізка знаходимо мінімальне флегмове число:

$$R_{\min} = \frac{x_p}{V_{\max}} - 1 = \frac{0,98}{0,35} - 1 = 1,8$$

Дійсне флегмове число, використовуючи рівняння:

$$R = K_R \cdot R_{\min} \quad (3)$$

$$R = 1,5 \cdot 1,8 = 2,7$$

На діаграмі у-х наносимо лінії робочих концентрацій (робочі лінії) для оптимального флегмового числа $R = 5,5686$ (рисунок 4.1): для цього на осі у відкладаємо відрізок $V = \frac{x_p}{R+1} = \frac{0,98}{2,7+1} = 0,26$, кінець якого з'єднуємо прямою з точкою 1 ($x_p = y_p$); точку перетину цієї прямої з вертикальною лінією,

проведеної з абсциси x_F , позначимо точкою 2 (x_F, y_F) і, нарешті, крапку 2 з'єднуємо з точкою 3 ($x_W = y_W$). Лінії 1-2 і 2-3 є робочими лініями для верхньої та нижньої частин колони, відповідно.

4.3 Визначення середніх значень параметрів по колоні, фізико-хімічних і термодинамічних констант фаз

Рідка фаза

Середня мольна концентрація в нижній частині колони:

$$X_{cp}^n = \frac{X_W + X_F}{2} = \frac{0,015 + 0,37}{2} = 0,1925$$

Середня мольна концентрація у верхній частині колони:

$$X_{cp}^e = \frac{X_F + X_P}{2} = \frac{0,37 + 0,984}{2} = 0,677$$

Середня мольна концентрація по колоні:

$$X_{cp} = \frac{X_{cp}^n + X_{cp}^e}{2} = \frac{0,1925 + 0,677}{2} = 0,435$$

Середня масова концентрація по колоні:

$$X_{cp} = \frac{x_{cp} \cdot M_A}{x_{cp} \cdot M_A + (1 - x_{cp}) \cdot M_B} \quad (4)$$

$$X_{cp} = \frac{0,435 \cdot 78,11}{0,435 \cdot 78,11 + (1 - 0,435) \cdot 92,13} = 0,395$$

Середня температура в нижній частині колони:

$$t_{xcp}^n = \frac{t_{xW} + t_{xF}}{2} = \frac{107 + 96}{2} = 101,75 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Середня температура у верхній частині колони:

$$t_{xcp}^e = \frac{t_{xF} + t_{xP}}{2} = \frac{96 + 81}{2} = 88,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Середня температура по колоні:

$$t_{xcp} = \frac{t_{xcp}^n + t_{xcp}^e}{2} = \frac{101,75 + 88,5}{2} = 95,12 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Значення t_{xW} , t_{xF} , t_{xP} взяті з діаграми t - x , y (рисунок 4.1).

Середня мольна маса:

$$M_{xcp} = M_A \cdot X_{cp} + M_B \cdot (1 - X_{cp}) \quad (5)$$

$$M_{xcp} = 78.11 \cdot 0,435 + 92.13 \cdot (1 - 0,435) = 130.66 \text{ кг/кмоль}$$

Середня щільність визначається за формулою:

$$\rho_{xcp} = \frac{\rho_A \cdot \rho_B}{\rho_B \cdot X_{cp} + \rho_A \cdot (1 - X_{cp})} \quad (6)$$

де ρ_A і ρ_B – щільність компонентів А (бензол) і В (толуол) при температурі t_{xcp} .

$$\rho_A = 738 \text{ кг/м}^3 \text{ при } t_{xcp} = 95,12 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\rho_B = 823 \text{ кг/м}^3.$$

$$\rho_{xcp} = \frac{738,6 \cdot 823,12}{823,12 \cdot 0,395 + 738,6 \cdot (1 - 0,395)} = 787,57 \text{ кг/м}^3$$

Середню в'язкість розраховуємо за формулою:

$$\lg \mu_{xcp} = X_{cp} \cdot \lg \mu_A + (1 - X_{cp}) \cdot \lg \mu_B \quad (7)$$

де μ_A і μ_B – динамічні коефіцієнти в'язкості компонентів А (бензол) і В (толуол), Па·с.

$$\mu_A = 0,357 \text{ мПа·с при } t_{cp} = 95,12 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\mu_B = 0,036 \text{ мПа·с.}$$

Середній поверхневий натяг визначаємо за рівнянням:

$$\sigma_{xcp} = \sigma_A \cdot X_{cp} + \sigma_B \cdot (1 - X_{cp}) \quad (8)$$

де σ_A і σ_B – поверхневі натяги компонентів А (бензол) і В (толуол), Н/м.

$$\sigma_A = 23,19 \text{ Н/м при } t_{xcp} = 95,12 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\sigma_B = 23,08 \text{ Н/м.}$$

$$\sigma_{xcp} = 23,19 \cdot 0,435 + 23,08(1 - 0,435) = 23,14 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$$

Коефіцієнт дифузії при середній температурі визначаємо за формулою:

$$D_{x(t)} = D_{x(20)} \cdot [1 + b \cdot (t - 20)]$$

де $D_{x(20)}$ – коефіцієнт дифузії при $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, $\text{м}^2/\text{с}$;

$$b = \frac{0,2\sqrt{\mu}}{\sqrt[3]{\rho}} \quad \text{тут } \mu \text{ [мПа}\cdot\text{с]} \text{ и } \rho \text{ [кг/м}^3\text{]} - \text{в'язкість і щільність розчинника (бензола) при } t = 20 \text{ }^\circ\text{C}; t = t_{x \text{ ср.}}$$

Коефіцієнт дифузії при 20 °С розраховуємо по емпіричному рівнянню:

$$D_{x(20)} = \frac{1 \cdot 10^{-6}}{A \cdot B \cdot \sqrt{\mu} (V_A^{1/3} + V_B^{1/3})^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}} \quad (9)$$

де V_A і V_B – мольні об'єми компонентів А і В, см³/моль;

A, B – коефіцієнти, що залежать від властивостей компонентів, $A=1; B=1$.

$$b = \frac{0,2\sqrt{\mu}}{\sqrt[3]{\rho}} = \frac{0,2\sqrt{0,65}}{\sqrt[3]{879}} = 0,168$$

Мольні об'єми компонентів:

$$V_A = 126,2 \text{ см}^3/\text{моль}$$

$$V_B = 148,2 \text{ см}^3/\text{моль}$$

$$D_{x(20)} = \frac{1 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 1 \cdot \sqrt{0,65} (148,2^{1/3} + 126,2^{1/3})^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{18,11} + \frac{1}{92,13}} = 1,849 \cdot 10^{-16} \text{ м}^2/\text{с}$$

$$D_{x(t)} = 1,849 \cdot 10^{-9} [1 + 0,168 \cdot (95,12 - 20)] = 2,518 \cdot 10^{-11} \text{ м}^2/\text{с}$$

Парова фаза

Середня мольна концентрація в нижній частині колони:

$$y_{cp}^n = \frac{y_W + y_F}{2} = \frac{0,015 + 0,56}{2} = 0,287$$

Середня мольна концентрація у верхній частині колони:

$$y_{cp}^e = \frac{y_F + y_P}{2} = \frac{0,56 + 0,984}{2} = 0,772$$

Середня мольна концентрація по колоні:

$$y_{cp} = \frac{y_{cp}^n + y_{cp}^e}{2} = \frac{0,287 + 0,772}{2} = 0,529$$

Середня температура в нижній частині колони:

$$t_{y_{cp}}^n = 104 \text{ }^\circ\text{C}$$

Середня температура у верхній частині колони:

$$t_{y_{cp}}^e = 90 \text{ }^\circ\text{C}$$

Температури $t_{y_{cp}}^H$, $t_{y_{cp}}^B$, знайдені з діаграми $t-x,y$ (рисунок 4.1).

Середня температура по колоні:

$$t_{y_{cp}} = \frac{t_{y_{cp}}^H + t_{y_{cp}}^B}{2} = \frac{104 + 90}{2} = 97 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Середня мольна маса:

$$M_{y_{cp}} = M_A \cdot y_{cp} + M_B \cdot (1 - y_{cp}) \quad (10)$$

$$M_{y_{cp}} = 78,11 \cdot 0,529 + 92,13 \cdot (1 - 0,529) = 84,72 \text{ кг/кмоль}$$

Середня щільність:

$$\rho_{y_{cp}} = \frac{M_{y_{cp}}}{22,4} \cdot \frac{P}{P_o} \cdot \frac{T_o}{T} \quad (11)$$

де $T = 273 + t_{y_{cp}}$, $^\circ\text{C}$;

$P = 1 \text{ кгс/см}^2$ (тиск в колоні атмосферний).

$$\rho_{y_{cp}} = \frac{84,72}{22,4} \cdot \frac{1}{1,033} \cdot \frac{273}{(273 + 97)} = 2,64 \text{ кг/м}^3$$

Середня в'язкість:

$$\frac{M_{y_{cp}}}{\mu_{y_{cp}}} = \frac{Y_{cp} \cdot M_A}{\mu_{yA}} + \frac{(1 - Y_{cp}) \cdot M_B}{\mu_{yB}} \quad (12)$$

де μ_{yA} і μ_{yB} – динамічний коефіцієнт в'язкості пари компонента А і В.

$$\mu_{yA} = 1,03 \cdot 10^{-5} \text{ Па}\cdot\text{с при } t_{y_{cp}} = 97 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\mu_{yB} = 0,98 \cdot 10^{-5} \text{ Па}\cdot\text{с.}$$

$$\frac{84,72}{\mu_{y_{cp}}} = \frac{0,529 \cdot 78,11}{1,03 \cdot 10^{-5}} + \frac{(1 - 0,529) \cdot 92,13}{0,98 \cdot 10^{-5}}$$

$$\mu_{y_{cp}} = 0,996 \cdot 10^{-5} \text{ Па}\cdot\text{с}$$

Коефіцієнт дифузії для парової фази визначаємо за рівнянням:

$$D_y = \frac{4,3 \cdot 10^{-7} \cdot T^{3/2}}{P \cdot (V_A^{1/3} + V_B^{1/3})^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}} \quad (13)$$

де P – тиск, кгс/см^2 (тиск в колоні атмосферний);

$$T = 273 + t_{y_{cp}}, \text{ } ^\circ\text{C.}$$

$$D_y = \frac{4,3 \cdot 10^{-7} \cdot 370^{3/2}}{1 \cdot (126,2^{1/3} + 148^{1/3})^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{78,11} + \frac{1}{92,13}} = 1,75 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$$

4.4 Визначення діаметра колони

Витрата, що проходить по колоні пари, може бути визначений:

$$V_y = \frac{G_y}{\rho_{y \text{ ср}}} \quad (14)$$

$$V_y = \frac{935,75 \cdot (4,8579 + 1)}{1,0623} = 5,96 \text{ м}^3/\text{с}$$

Швидкість пари в колоні визначаємо по рівнянню. Попередньо приймаємо відстань між тарілками $h=300$ мм. Використовуємо раніше знайдені

$$\rho_{x \text{ ср}} = 950,750 \text{ кг}/\text{м}^3 \text{ і } \rho_{y \text{ ср}} = 0,9596 \text{ кг}/\text{м}^3 .$$

Швидкість пари в колоні:

$$W = 1,6 \text{ м}/\text{с}$$

Тоді діаметр колони:

$$D = \sqrt{\frac{V_y}{0,785 \cdot W}} \quad (15)$$

$$D = \sqrt{\frac{5,96}{0,785 \cdot 1,6}} = 2,18 \text{ м}$$

Приймаємо стандартне значення діаметра колони $D=2,2$ м і уточнюємо швидкість пари в колоні:

$$W = \frac{V_y}{0,785 \cdot D^2} \quad (16)$$

$$W = \frac{5,96}{0,785 \cdot 2,2^2} = 1,57 \text{ м}/\text{с}$$

4.5 Визначення висоти колони

Число дійсних тарілок:

$$n_d = \frac{n_T}{\eta} \quad (17)$$

де $n_T = 17 \text{ шт}$ – визначається за графіком

$$n_d = \frac{17}{0,6} = 29$$

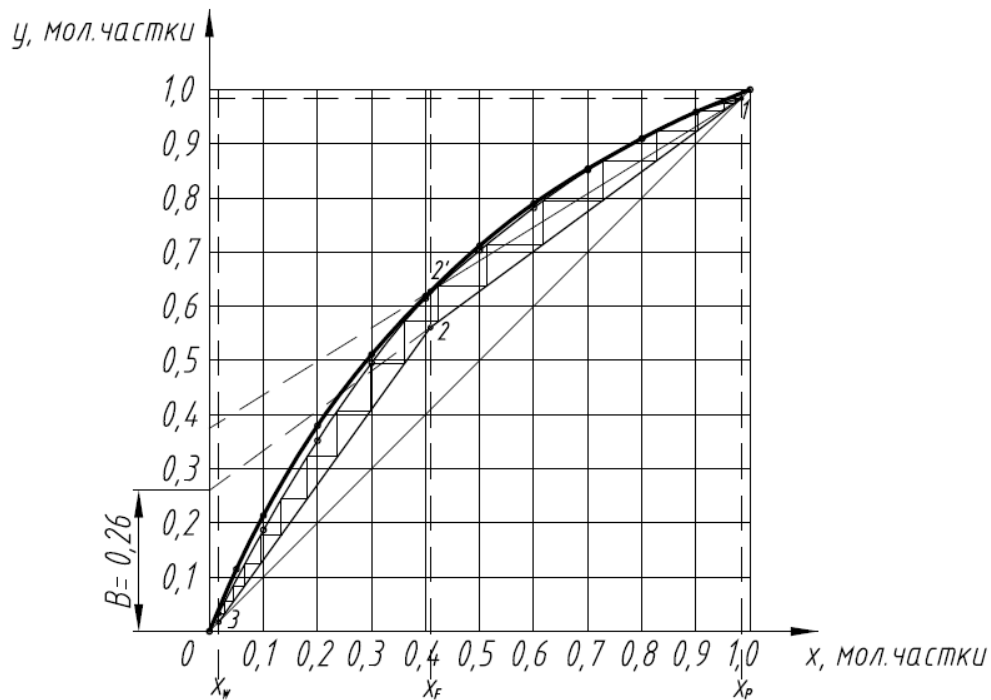


Рисунок 4.3 – Побудова кінетичної кривої і визначення числа дійсних тарілок

Висоту колони визначаємо за рівнянням:

$$H = (n - 1) \cdot h + H_{\text{сен}} + H_{\text{куб}}$$

$$H = 1 + 2,5 + (29 - 1) \cdot 0,5 = 17,5 \text{ м}$$

4.6 Визначення гідравлічного опору колони

Гідравлічний опір колони ректифікації визначаємо за рівнянням

$$\Delta P_k = n \cdot \Delta P_T \quad (18)$$

Для сітчастої тарілки приймаємо: діаметр отворів $d_o = 20 \text{ мм}$, висота переливу $h_{\text{пер}} = 3 \text{ мм}$, вільне перетин тарілки $F_o = 0,08 \text{ (8\%)}$.

Гідравлічний опір сітчастої тарілки визначимо за рівнянням

$$\Delta P_{\text{сх}} = \zeta \frac{W_o^2 \cdot \rho_{\text{уср}}}{2} = 1,82 \frac{19,625^2 \cdot 2,64}{2} = 925,26 \text{ Па.}$$

Швидкість пара в отворах:

$$W_o = W / F_o = 1,57 / 0,08 = 19,625 \text{ м/с.}$$

$$\Delta P_{\sigma} = \frac{4\sigma}{1,3d_o + 0,08d_o^2} = \frac{4 \cdot 23,14 \cdot 10^{-3}}{1,3 \cdot 0,2 + 0,08 \cdot 0,2^2} = 0,35 \text{ Па}$$

Для визначення статичного тиску рідини на тарілці визначаємо витрату рідкої фази у нижній частині колони:

$$L = G_P \cdot R + G_F = 2023,31 \cdot 2,7 + 5500 = 10962,93 \text{ т/год.}$$

Або в об'ємному вираженні 13,91 м³/ год.

Для колони D = 2,2 м довжина зливного борту l_{сл} = Π = 1,240 м (див.

Додаток В), тоді інтенсивність потоку $\frac{L}{l_{сл}} = \frac{13,91}{1,240} = 11,21 \frac{\text{м}^3}{\text{год} \cdot \text{м}}$.

Так як $\frac{L}{l_{сл}} = 11,21 > 5 \frac{\text{м}^3}{\text{год} \cdot \text{м}}$, то m = 10000.

Тоді по рівнянню :

$$\begin{aligned} \Delta P_{ст} &= 1,3 \left[K \cdot h_{пер} + \sqrt[3]{K \left(\frac{L}{m \cdot l_{сл}} \right)^2} \right] \cdot \rho_{хсп} \cdot g = \\ &= 1,3 \left[0,5 \cdot 0,03 + \sqrt[3]{0,5 \left(\frac{13,91}{10000 \cdot 1,240} \right)^2} \right] \cdot 787,57 \cdot 9,81 = 236,8 \text{ Па.} \end{aligned}$$

4.7 Теплові розрахунки. Розрахунок дефлегматора

4.7.1 Дефлегматор (конденсатор)

Витрата теплоти, що віддається охолоджуючій воді при конденсації пари в дефлегматорі, визначається з рівняння теплового балансу дефлегматора:

$$Q_D = G_P \cdot (R + 1) \cdot r_P = G_T \cdot C_T \cdot (t_k - t_n), \quad (19)$$

Питомі теплоти пароутворення бензолу R і талуолу r_В при t_{XD}=81 °С:

$$r_B = 423,83 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}; r_T = 399,5 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}, [1, \text{с. 542}]; \text{таблица Б.8 Додаток.}$$

$$r_D = 0,98 \cdot 423,83 + (1 - 0,98) \cdot 399,5 = 423,35 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

$$Q_D = 1,517 + 0,562 \cdot 423,35 \cdot 10^3 = 0,88 \cdot 10^6 \text{ Вт.}$$

Приймаємо температуру охолоджуючої води на виході з дефлегматора 25°С, тоді витрата охолоджуючої води

$$G_B = \frac{Q_D}{C_T \cdot (t_k - t_n)} = \frac{0,88 \cdot 10^6}{4190 \cdot (25 - 11)} = 15,0 \text{ кг/с.}$$

Середня різниця температур при протivotочной схемою руху теплоносіїв:

$$\begin{array}{ccc} 81^\circ\text{C} & \longrightarrow & 81^\circ\text{C} \\ 25^\circ\text{C} & \longleftarrow & 11^\circ\text{C} \end{array}$$

Велика різниця температур:

$$\Delta t_6 = 81 - 11 = 70^\circ\text{C};$$

Менша різниця температур:

$$\Delta t_m = 81 - 25 = 56^\circ\text{C}.$$

$$\text{Так як } \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m} = \frac{70}{56} = 1,25 < 2, \text{ то}$$

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_m}{\ln \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}} = \frac{70 - 56}{2} = 63^\circ\text{C}.$$

Приймаємо орієнтовно коефіцієнт теплопередачі $K = 500 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ [6, с. 47].

Поверхня теплообміну дефлегматора:

$$F = \frac{Q_D}{K \cdot \Delta t_{cp}} = \frac{0,88 \cdot 10^6}{500 \cdot 63} = 27,94 \text{ м}^2.$$

Приймаємо двоходовий кожухотрубчастий теплообмінник з наступними характеристиками [6, с. 51]:

- діаметр кожуха 400 мм;
- труба 20x2 мм;
- кількість труб в теплообміннику 166 шт;
- довжина труб 3 м;
- поверхня теплообміну 31 м².

5 РОЗРАХУНОК НА МІЦНІСТЬ, ЖОРСТКІСТЬ І СТІЙКІСТЬ

5.1 Початкові дані:

Внутрішній діаметр кожуха D , мм	400
Довжина теплообмінних труб l , мм	3000
Зовнішній діаметр теплообмінної труби d_0 , мм	20
Товщина стінки труби S_0 , мм	2
Число ходів по трубах	2
Розрахунковий тиск в трубному просторі, МПа	1,6
Розрахунковий тиск в міжтрубному просторі, МПа	1,6
Розрахункова температура труб, °С	55
Розрахункова температура кожуха, °С	90
Матеріал кожуха	12Х18Н10Т
Матеріал розподільної камери	Ст3сп
Матеріал теплообмінних труб	12Х18Н10Т
Матеріал трубної решітки	12Х18Н10Т
Матеріал перегородок	12Х18Н10Т
Матеріал прокладок розподільної камери	пароніт
Група теплообмінника	1

5.2 Визначення розрахункових параметрів

5.2.1 Розрахункова температура

Розрахункову температуру розподільної камери $t_{кам}$, °С, визначаємо за формулою:

$$t_{кам} = 2 \cdot t_m - t_k \quad (20)$$

$$t_{кам} = 2 \cdot 55 - 90 = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Розрахункову температуру ізолюваних фланців визначаємо за формулою:

$$t_{ф} = t_{кам}, \quad (21)$$

Розрахункову температуру ізолюваних апаратних фланців і фланців штуцерів розподільної камери теплообмінника приймаємо рівній температурі розподільної камери:

$$t_{\phi} = t_{\text{кам}} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Розрахункову температуру ізолюваних фланців штуцерів міжтрубного простору приймаємо рівній температурі середовища міжтрубного простору (кожуха):

$$t_{\phi} = t_{\kappa} = 90 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Розрахункову температуру болтів для ізолюваних фланцевих з'єднань визначаємо за формулою:

$$t_{\delta} = 0,97 \cdot t_{\text{кам}} \quad (22)$$

Розрахункова температура болтів корпусних фланцевих з'єднань і фланців штуцерів розподільної камери:

$$t_{\delta} = 0,97 \cdot 20 = 19 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Розрахункова температура болтів фланцевих з'єднань штуцерів міжтрубного простору:

$$t_{\delta} = 0,97 \cdot t_{\kappa}$$

$$t_{\delta} = 0,97 \cdot 90 = 87 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

5.2.1 Допустимі напружини

Допустимі напружини при розрахунковій температурі $[\sigma]$ і при температурі 20°C $[\sigma]_{20}$, МПа, для елементів апарату приведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Допустимі напружини деталей теплообмінника

Елементи апарата	Матеріал	Допустимі напружини, МПа		Відношення допустимих напружин, $[\sigma]_{20}/[\sigma]$
		при температурі 20°C $[\sigma]_{20}$	при розрахунковій температурі $[\sigma]$	
Кожух	12X18H10T	184	175,2	1,05
Розподільна камера	Ст3сп	154	154	1,0
Теплообмінні труби	12X18H10T	184	175,2	1,05
Трубна решітка	12X18H10T	184	175,2	1,05

Перегородки	12X18H10T	184	175,2	1,05
Фланці розподільної камери	Ст3сп	154	154	1,0
Фланці кожуха	12X18H10T	184	175,2	1,05
Болти кріплення фланців штуцерів міжтрубного простору і апаратних фланців	Сталь 40	130	128	1,016
Болти і гайки кріплення штуцерів трубного простору	20X13	195	195	1,0
Примітка. Допустимі напружини при температурі 20°C і розрахунковій температурі визначені методом лінійної інтерполяції за [21].				

5.2.3 Коефіцієнти міцності зварних швів

Трубний простір теплообмінника по розрахунковому тиску, температурі і характеру робочого середовища відноситься до 1 групи апаратів [6], для якої довжина контрольованих швів складає 100% від їх спільної довжини. Для стикових швів з двостороннім суцільним проваром, виконаних автоматичною зваркою, коефіцієнт міцності зварних швів трубного простору приймаємо рівним

$$\varphi_p = 1$$

5.2.4 Робочий, розрахунковий і пробний тиск

Умовний тиск в теплообміннику згідно завданню в трубному просторі $P_{тр}=1,6$ МПа, у міжтрубному просторі $P_к=1,6$ МПа.

Розрахунковий тиск визначаємо за формулою

$$P = \max \{ |P_m|; |P_к|; |P_m - P_к| \}, \quad (23)$$

де P_0 - розрахунковий тиск в трубному просторі, МПа;

$P_к$ - розрахунковий тиск в міжтрубному просторі, МПа.

$$P = \max \{ 1,6; 1,6; |1,6 - 1,6| \} = 1,6 \text{ МПа}$$

Під пробним тиском в апараті слід приймати тиск, при якому проводиться випробування апарату на міцність і герметичність. Випробування сталевих

зварних апаратів повинно проводитися пробним тиском, який визначається за формулою

$$P_{np} = 1,25 \cdot P \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]}, \quad (24)$$

де P – розрахунковий тиск в трубному і міжтрубному просторах відповідно,
 $P_T=1,6$ МПа, $P_K=1,6$ МПа;

Відношення $[\sigma]_{20}/[\sigma]$ приймаємо по тому з використовуваних матеріалів елементів кожної порожнини апарату, для якого воно є найменшим.

Для трубного простору при мінімальному відношенні допустимих напружин $[\sigma]_{20}/[\sigma]=1,0$, пробний тиск складає

$$P_{np\ m} = 1,25 P_m \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,25 \cdot 1,6 \cdot \frac{154}{154} = 2,0 \text{ МПа};$$

Гідростатичний тиск при випробуванні трубного простору теплообмінника

$$P_{z\ m} = \rho_e \cdot g \cdot H_c \cdot 10^{-6} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,726 \cdot 10^{-6} = 0,00726 \text{ МПа};$$

де H_c - висота стовпа води в трубному просторі, $H_c=0,726$ м;

Гідростатичний тиск при випробуванні

$$P_{z\ m} = 0,00726 \text{ МПа} \leq 0,05 P_{np\ m} = 0,05 \cdot 2,0 = 0,1 \text{ МПа}; \quad (5.7)$$

складає менше 5% від пробного, тому за розрахунковий тиск в умовах випробування приймаємо пробний тиск.

$$P_{e\ m} = P_{np\ m} = 2,0 \text{ МПа}$$

Умова

$$P_{e\ m} = 2,0 \text{ МПа} \leq 1,35 \cdot P_m \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,35 \cdot 1,6 \cdot \frac{154}{154} = 2,16 \text{ МПа}$$

виконується, тому розрахунок елементів трубного простору в умовах гідравлічного випробування проводити не потрібно.

Для міжтрубного простору при відношенні допустимих напружин $[\sigma]_{20}/[\sigma]=1,0$ пробний тиск складає

$$P_{np\kappa} = 1,25 P_{\kappa} \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,25 \cdot 1,6 \cdot \frac{184}{175,2} = 2,1 \text{ МПа};$$

Гідростатичний тиск при випробуванні міжтрубного простору

$$P_{гв\kappa} = \rho_{г} \cdot g \cdot H_{\kappa} \cdot 10^{-6} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,563 \cdot 10^{-6} = 0,005 \text{ МПа} \leq \\ \leq 0,05 P_{np\kappa} = 0,05 \cdot 2,0 = 0,1 \text{ МПа}$$

складає менше 5% від пробного, тому за розрахунковий тиск в умовах випробування приймаємо пробний тиск

$$P_{ик} = P_{np\kappa} = 2,1 \text{ МПа};$$

Умова

$$P_{гв\kappa} = 2,1 \text{ МПа} \leq 1,35 P_{\kappa} \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,35 \cdot 1,6 \cdot \frac{184}{175,2} = 2,27 \text{ МПа}$$

виконується, тому розрахунок елементів міжтрубного простору в умовах гідравлічного випробування проводити не потрібно.

5.2.5 Додатки до розрахункової товщини конструктивних елементів

Сума додатків до розрахункової товщини трубних решіток C_p , мм, складає:

$$C_p = C_1 + C_2 + C_3, \quad (25)$$

де C_1 – додаток для компенсації корозії і ерозії, мм;

C_2 – додаток для компенсації мінусового допуску, мм;

Додаток для компенсації корозії і ерозії C_1 визначається за формулою

$$C_1 = P \cdot \tau + C_3, \quad (26)$$

де P – швидкість проникнення корозії, $P=0,05$ мм/рік,

τ – термін служби апарата, $\tau=20$ років,

C_3 – додаток для компенсації ерозії, $C_3=0$.

$$C_1 = 0,05 \cdot 20 + 0 = 1 \text{ мм},$$

Додаток C_2 приймається по стандартах на прокат залежно від товщини листа за таблицею 6 [13], $C_2=0,8$ мм.

Технологічна добавка C_3 передбачає компенсацію стоншування стінки елемента апарату при технологічних операціях – витяжці, штампуванні, гнутті і т. д. Приймаємо $C_3=0$.

$$\text{Тоді } C=1+0,8+0=1,8 \text{ мм.}$$

Сума добавок до розрахункової товщини кожуха, камери та еліптичного днища
Добавка C_2 приймається по стандартах на прокат залежно від товщини листа за таблицею 6 [13], $C_2=0,5$ мм.

$$\text{Тоді } C=1+0,5+0=1,5 \text{ мм.}$$

5.3 Розрахунок товщини стінки кожуха

5.3.1 Розрахунок циліндричної обичайки кожуха

Циліндрична обичайка (кожух) є одним з основних елементів хімічних апаратів. В даному випадку обичайка виготовляється з листа (рис. 5.2).

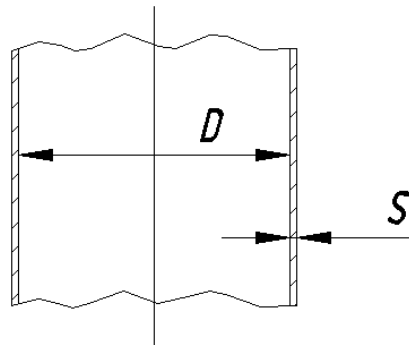


Рисунок 5.2 - Розрахункова товщина стінки апарату визначається за формулою

$$S_p = \frac{P_k \cdot D}{2 \cdot [\sigma]_k \cdot \varphi_p - P_k}, \quad (27)$$

де P_k – розрахунковий внутрішній тиск в міжтрубному просторі теплообмінника, $P=1,6$ МПа;

D – внутрішній діаметр обичайки (кожуха), $D=400$ мм;

$[\sigma]_k$ - допустима напружина для матеріалу обичайки кожуха при розрахунковій температурі, $[\sigma]_k = 175,2$ МПа;

φ_p – коефіцієнт міцності подовжніх швів, $\varphi_p=1$.

$$S_p = \frac{1,6 \cdot 400}{2 \cdot 175,2 \cdot 1 - 1,6} = 1,83 \text{ мм}$$

Виконавча товщина стінки обичайки кожуха визначається за формулою

$$S \geq S_p + C, \quad (28)$$

$$S \geq 1,83 + 1,5 = 3,3 \text{ мм}$$

Виконавча товщина стінки обичайки кожуха теплообмінника приймається $S=4$ мм.

5.3.2 Визначення допустимого надлишкового тиску

Для набутого значення S розраховуємо допустимий внутрішній надлишковий тиск за формулою

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (S - C)}{D + (S - C)}, \quad (29)$$

$$[P] = \frac{2 \cdot 175,2 \cdot 1,0 \cdot (4 - 1,5)}{400 + (4 - 1,5)} = 2,18 \text{ МПа}$$

При цьому повинна виконуватися умова

$$P_k \leq [P], \quad (30)$$

$1,6 \text{ МПа} < 2,18 \text{ МПа}$, умова виконується.

5.3.3 Перевірка умов застосування розрахункових формул

Розрахункові формули застосовуються при відношенні товщини стінки до діаметру

$$\frac{S - C}{D} \leq 0,1, \quad (31)$$

$$\frac{4 - 1,5}{400} = 0,006 < 0,1,$$

умова виконується, отже, формули застосовуються.

5.4 Розрахунок розподільної камери

5.4.1 Розрахунок товщини циліндричної обичайки камери

Розрахункова товщина стінки камери визначається за формулою (5.11)

$$S_p = \frac{P_k \cdot D}{2 \cdot [\sigma]_k \cdot \varphi_p - P_k}, \quad (32)$$

де P_k – розрахунковий внутрішній тиск в трубному просторі теплообмінника, $P=1,6$ МПа;

D – внутрішній діаметр обичайки камери, $D=400$ мм;

$[\sigma]_k$ - допустима напружина для матеріалу обичайки камери при розрахунковій температурі, $[\sigma]_k = 154$ МПа;

φ_p – коефіцієнт міцності подовжніх швів, $\varphi_p=1$.

$$S_p = \frac{1,6 \cdot 400}{2 \cdot 154 \cdot 1 - 1,6} = 2,1 \text{ мм}$$

Виконавча товщина стінки обичайки визначається за формулою (5.12)

$$S \geq 2,1 + 1,5 = 3,6 \text{ мм}$$

Виконавча товщина стінки обичайки камери приймається $S=4$ мм.

Визначення допустимого надлишкового тиску

Для набутого значення S розраховуємо допустимий внутрішній надлишковий тиск за формулою (5.13)

$$[P] = \frac{2 \cdot 154 \cdot 1,0 \cdot (4 - 1,5)}{400 + (4 - 1,5)} = 1,9 \text{ МПа}$$

При цьому повинна виконуватися умова (5.14)

$$1,6 \text{ МПа} < 1,9 \text{ МПа}, \text{ умова виконується.}$$

Перевірка умов застосування розрахункових формул

Розрахункові формули застосовуються при відношенні товщини стінки до діаметру за формулою (5.15)

$$\frac{4 - 1,5}{400} = 0,006 < 0,1,$$

умова виконується, отже, формули застосовуються.

5.4.2 Розрахунок товщини стінки днища камери

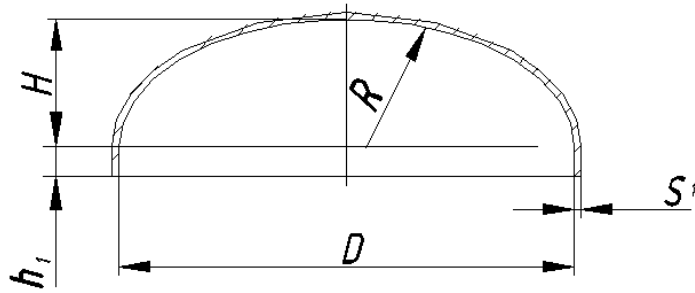


Рисунок. 5.2 - еліптичне днище

Розрахункова товщина стінки днища камери визначається за формулою

$$S_{1p} = \frac{P_T \cdot R}{2 \cdot [\sigma]_T \cdot \varphi_p - 0,5 \cdot P_T}, \quad (33)$$

де P_T – розрахунковий внутрішній надлишковий тиск в розподільній камері теплообмінника, $P=1,6$ МПа;

$R=D$ – для стандартних еліптичних днищ з $H=0,25D$;

φ_p - коефіцієнт міцності зварних швів, $\varphi_p=1$,

$[\sigma]_T$ - допустима напружина для матеріалу днища при розрахунковій температурі, $[\sigma]_b = 154$ МПа ;

$$S_{1p} = \frac{1,6 \cdot 400}{2 \cdot 154 \cdot 1 - 0,5 \cdot 1,6} = 2,1 \text{ мм}$$

Виконавча товщина стінки днища визначається за формулою (5.12)

$$S_1 \geq 2,1 + 1,5 = 3,6 \text{ мм}$$

Приймаємо товщину стінки днища камери $S_1=4$ мм.

Визначення допустимого тиску

Для набутого значення S розраховуємо допустимий внутрішній надлишковий тиск за формулою

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma]_{p.k} \cdot \varphi_p \cdot (S_1 - C)}{R + 0,5 \cdot (S_1 - C)}, \quad (34)$$

$$[P] = \frac{2 \cdot 154 \cdot 1 \cdot (4 - 1,5)}{400 + 0,5 \cdot (4 - 1,5)} = 1,9 \text{ МПа}$$

При цьому повинна виконуватися умова (5.14)

$$1,6 \text{ МПа} < 1,9 \text{ МПа}, \text{ умова виконується.}$$

Перевірка умов застосування розрахункових формул

Розрахункові формули для еліптичних днищ застосовуються при виконанні умов

$$0,002 \leq \frac{S_1 - C}{D} \leq 0,1, \quad (35)$$

$$0,2 \leq \frac{H}{D} \leq 0,5, \quad (36)$$

де H – висота опуклої частини днища, $H=100$ мм, [21].

$$0,002 \leq \frac{4-1,5}{400} = 0,006 \leq 0,1,$$

$$0,2 \leq \frac{100}{400} = 0,25 \leq 0,5, \quad \text{умови виконуються, отже, формули}$$

застосовуються.

5.5 Розрахунок на міцність, жорсткість і стійкість елементів теплообмінних апаратів з компенсатором на кожусі

Прийнята товщина трубних решіток повинна забезпечувати можливість кріплення труб в решітках. Для решіток, в яких кріплення теплообмінних труб проводиться розвальцьовуванням або зваркою з подальшим розвальцьовуванням, прийнята товщина решітки повинна забезпечувати міцність і гарантований тиск герметизації вальцювального з'єднання, а також невикривлення решітки при розвальцьовуванні труб. Мінімальна товщина трубних решіток прийнята з цих міркувань:

$$S_p = 24 \text{ мм}$$

Виконавча товщина трубної решітки S_p , мм, має задовольняти умові міцності безтрубної зони

$$S_p \geq S_{pp} + C_p,$$

(5.20)

де S_{pp} – розрахункова товщина трубної решітки,

C_p – сума добавок до розрахункової товщини решітки, мм.

Розрахункову товщину трубних решіток за умови міцності максимальної беструбної зони визначаємо за формулою

$$S_{pp} = 0,5 D_e \sqrt{P/[\sigma]_p}$$

(37)

$$S_{pp} = 0,5 \cdot 32 \sqrt{1,6/175,2} = 1,5 \text{ мм}$$

де D_e – діаметр кола, вписаного в максимальну безтрубну зону
визначається конструктивно

$$S_p \geq S_{pp} + C_p \quad 24 \geq 1,5 + 1,8 = 3,2 \text{ мм} - \text{ умова виконується}$$

Розрахункову товщину трубної решітки в перерізу канавки під подовжню перегородку визначають за формулою

$$S_{np} = S_{pp} \cdot \max \left\{ 1 - \sqrt{\frac{d_0}{b_n} \left(\frac{t_n}{t_p} - 1 \right)}; \sqrt{\varphi_p} \right\} \quad (38)$$

- де d_0 – діаметр отвору в решітці під трубу, мм;
 b_n – ширина паза в трубній решітці під подовжню перегородку, мм;
 t_p – крок розташування отворів в решітці, мм;
 t_n – крок розташування отворів в зоні паза, мм;
 φ_p – коефіцієнт ослаблення трубної решітки.

Коефіцієнт ослаблення трубних решіток визначається за формулою:

$$\varphi_p = 1 - \frac{d_0}{t_p} \quad (39)$$

Розміри t_p , t_n і d_0 приймаються залежно від зовнішнього діаметру труби і класу точності з'єднання труба – трубна решітка по таблиці 7.1 [23].

Клас точності з'єднання труба - трубна решітка приймаємо 3.

$$\varphi_p = 1 - \frac{20,35}{26} = 0,217$$

$$\begin{aligned} S_{np} &= 0,75 \cdot \max \left\{ 1 - \sqrt{\frac{20,35}{8} \cdot \left(\frac{45}{26} - 1 \right)}; \sqrt{0,217} \right\} = \\ &= 0,75 \cdot \max \{0,36; 0,466\} = 0,35 \text{ мм} \end{aligned}$$

Товщина трубної решітки в перерізу канавки під подовжню перегородку у розподільній камері має бути не менше

$$S_n \geq S_{np} + C_p = 0,35 + 1,8 = 2,15 \text{ мм}$$

По конструктивним міркуванням приймаємо товщину трубної решітки в перетині канавки під подовжню перегородку в розподільній камері

$$S_n = 22 \text{ мм}$$

5.6 Розрахунок лінзового компенсатора

5.6.1 Умови застосування розрахункових формул

Розрахункові формули застосовні, якщо виконуються умови:

$$\frac{S_n}{d_n} \leq 0,035; \quad 1,08 \leq \frac{D_n}{d_n} \leq 3,00; \quad \frac{2r}{D_n - d_n} \leq 0,4 \quad (40)$$

де $S_n = 4$ мм - товщина стінки лінзового компенсатора;

$d_n = 412$ мм - зовнішній діаметр западини хвилі компенсатора;

$D_n = 576$ мм - зовнішній діаметр гребеня хвилі компенсатора;

$r = 14$ мм - внутрішній радіус тороїдального переходу в верхній та нижній частинах хвилі компенсатора

$$\frac{S_n}{d_n} = \frac{4}{576} = 0,007 < 0,035$$

$$1,08 < \frac{D_n}{d_n} = \frac{576}{412} = 1,4 < 3,00$$

$$\frac{2 \cdot r}{D_n - d_n} = \frac{2 \cdot 14}{576 - 412} = 0,17 < 0,4$$

5.6.2 Визначення допоміжних величин

Розрахунковий діаметр западини хвилі компенсатора визначають за формулою

$$d_1 = d_n - S_n \quad (41)$$

$$d_1 = 412 - 4 = 408 \text{ мм}$$

Розрахунковий діаметр гребеня хвилі компенсатора визначають за формулою

$$d_2 = D_n - S_n \quad (42)$$

$$d_2 = 576 - 4 = 572 \text{ мм}$$

Середній радіус тороїдального переходу хвилі компенсатора розраховують за формулою

$$r_s = 0,5 (2r + S_n) \quad (43)$$

$$r_s = 0,5 \cdot (2 \cdot 14 + 4) = 16 \text{ мм}$$

Допоміжну величину впливу переходу розраховують за формулою

$$\rho_n = 2 - 100 \frac{r_s}{d_1 + d_2} \quad (44)$$

$$\rho_n = 2 - 100 \cdot \frac{16}{408 + 572} = 0,367 \text{ мм}$$

Розрахункову ширину пластинчастої зони хвилі компенсатора розраховують за формулою

$$b_n = 0,5 (d_2 - d_1 + \rho_n \cdot r_s) \quad (45)$$

$$b_n = 0,5 \cdot (572 - 408 + 0,367 \cdot 16) = 79,1 \text{ мм}$$

Радіус закруглення пластинчастої зони хвилі компенсатора визначають за формулою

$$R_o = 0,25 (d_2 + d_1 - 2 b_n) \quad (46)$$

$$R_o = 0,25 \cdot (572 + 408 - 2 \cdot 79,1) = 205,5 \text{ мм}$$

Середній діаметр хвилі визначають за формулою

$$d_{cp} = 0,5 (d_2 + d_1) \quad (47)$$

$$d_{cp} = 0,5 \cdot (572 + 408) = 490 \text{ мм}$$

Характеристики хвилі визначають за формулами:

$$\xi = \frac{d_2}{d_1} - 1 \quad (48)$$

$$\xi = \frac{572}{408} - 1 = 0,4$$

$$\eta = \frac{d_2 - d_1}{2 r_s} - 2 \quad (49)$$

$$\eta = \frac{572 - 408}{2 \cdot 16} - 2 = 3,12$$

$$\alpha = S_n / d_1 \quad (50)$$

$$\alpha = \frac{4}{408} = 0,01$$

$$\lambda = b_n / R_o \quad (51)$$

$$\lambda = \frac{79,1}{205,5} = 0,38$$

$$\gamma = 1 + 1,25 \frac{d_2}{d_1} - \frac{3,2 r_s}{d_2 - d_1} \quad (52)$$

$$\gamma = 1 + 1,25 \cdot \frac{572}{408} - \frac{3,2 \cdot 16}{572 - 408} = 2,44$$

5.6.3 Розрахунок компенсатора на міцність

Виконавчу товщину стінки компенсатора S_n , мм, розраховують за формулою

$$S_n \geq S_{np} + C_n \quad (53)$$

де S_{np} – розрахункова товщина стінки компенсатора, мм;

C_n – сума добавок до розрахункової товщини стінки компенсатора, мм.

Суму добавок до розрахункової товщини стінки компенсатора при $S_n=4,0$ мм приймають рівною не більше 0,8 мм.

Розрахункову товщину стінки компенсатора визначають за формулою

$$S_{np} = S_4 \cdot \sqrt{0,5 + \sqrt{0,25 + (S_3 / S_4)^4}} \quad (54)$$

де

$$S_3 = 0,25 (d_2 - d_1 - \gamma \cdot r_s) \cdot \sqrt{P / [\sigma]_n} \quad (5.38)$$

$$S_3 = 0,25 \cdot (572 - 408 - 2,44 \cdot 16) \cdot \sqrt{\frac{1,6}{175,2}} = 3,0 \text{ мм}$$

$$S_4 = \frac{P \cdot d_{cp}}{2 [\sigma]_n \cdot \varphi} \cdot \frac{L}{d_2 - d_1 + 2 l_k + 2,3 r_s} \quad (5.39)$$

$$S_4 = \frac{1,6 \cdot 490}{2 \cdot 175,2 \cdot 1} \cdot \frac{80}{572 - 408 + 2 \cdot 5 + 2,3 \cdot 16} = 0,85 \text{ мм}$$

Позначення в формулах (5.37)-(5.39):

де $[\sigma]_n$ – допустима напружина для матеріалу лінзи при розрахунковій температурі, МПа;

L – виконавча довжина компенсатора, мм;

l_k – приєднувальна довжина циліндричної частини компенсатора, мм;

φ – коефіцієнт міцності подовжнього зварного шва компенсатора.

$$S_{np} = S_4 \cdot \sqrt{0,5 + \sqrt{0,25 + (S_3 / S_4)^4}}$$

$$S_{np} = 0,85 \cdot \sqrt{0,5 + \sqrt{0,25 + (3,0 / 0,85)^4}} = 3,06 \text{ мм}$$

Виконавчу товщину стінки компенсатора розраховують за формулою

$$S_n \geq S_{np} + C_n \quad (55)$$

$$S_n = 3,06 + 0,6 = 3,66 \text{ мм}$$

Приймаємо:

$$S_n = 4 \text{ мм}$$

Допустимий тиск $[P]_n$, МПа, визначають за формулою

$$[P]_n = \frac{[P]_1}{\sqrt{1 + \left(\frac{[P]_1}{[P]_2} \right)^2}} \quad (56)$$

де

$$[P]_1 = 16 \left(\frac{S_n - C_n}{d_2 - d_1 - \gamma \cdot r_s} \right)^2 \cdot [\sigma]_n \quad (57)$$

$$[P]_1 = 16 \cdot \left(\frac{4 - 0,6}{572 - 408 - 2,44 \cdot 16} \right)^2 \cdot 149,6 = 2,09 \text{ МПа}$$

$$[P]_2 = \frac{2 [\sigma]_n \cdot \varphi \cdot (S_n - C_n) \cdot d_2 - d_1 + 2 l_k + 2,3 r_s}{d_{cp} L} \quad (58)$$

$$[P]_2 = \frac{2 \cdot 175,2 \cdot 1 \cdot (4 - 0,6) \cdot 572 - 408 + 2 \cdot 5 + 2,3 \cdot 16}{490 \cdot 80} = 5,07 \text{ МПа}$$

$$[P]_n = \frac{2,09}{\sqrt{1 + \left(\frac{2,09}{5,07} \right)^2}} = 1,93 \text{ МПа}$$

При цьому повинна виконуватися умова

$$P_k \leq [P],$$

1,6 МПа < 1,93 МПа, умова виконується.

5.6.4 Розрахунок числа лінз компенсатора

Різницю у видовженні кожуха і труб в робочих умовах, яку необхідно скомпенсувати, визначаємо за формулою

$$\Delta = l \cdot |[\alpha_k \cdot (t_k - t_0) - \alpha_m \cdot (t_m - t_0)]| \quad (59)$$

де α_k, α_m – коефіцієнти лінійного розширення матеріалів відповідно кожуха та труб, $1/^\circ\text{C}$;

t_k, t_m, t_0 – температури відповідно кожуха, труб і виготовлення апарата, $^\circ\text{C}$, ($t_0 = 20^\circ\text{C}$)

l – довжина труб, мм $l = 3000 \text{ мм}$

$$\alpha_k = 16,6 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$$

$$\alpha_m = 16,6 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$$

$$\Delta = 3000 \cdot \left| [16,6 \cdot 10^{-6} \cdot (90 - 20) - 16,6 \cdot 10^{-6} \cdot (55 - 20)] \right| = 1,74 \text{ мм}$$

За додатком визначаємо омпенсуючи здатність однієї лінзи компенсатора при загальному числі циклів навантаження $N = 10^3$, $\Delta_{\text{в}} = 4,3 \text{ мм}$

Необхідне число лінз в компенсаторі розраховуємо за формулою

$$n_{\lambda} = \frac{\Delta}{\Delta_{\lambda}} = \frac{1,74}{4,3} = 0,4 \quad (60)$$

Отримане число лінз округляємо до найближчого більшого цілого числа, тобто $n_{\lambda} = 1$.

5.7 Аналіз впливу конструктивних особливостей контактних пристроїв на розміри колонного апарата

Ця дипломна робота є частиною комплексної розробки ректифікаційної установки для розподілу сумішей бензол – толуол продуктивністю по вхідній суміші 5,5 т/год, яка виконана групою студентів. Для оснащення ректифікаційної колони були запропоновані сітчасті тарілки, розмір отворів яких складав: 5, 8, 20 мм.

Розмір отворів сітчастих тарілок впливає на їх пропускну та масообмінну здібність, яка може бути виражена через об'єм тарілчастої частини ректифікаційної колони.

З одного боку, малі отвори, формуючи більш розвинену поверхню контакту фаз, забезпечують високу масообмінну здатність тарілки, а, з іншого боку, для тарілок з меншими отворами характерне зниження ефективності масообмінну спостерігається при менших швидкостях пара по колоні, що, мабуть, є наслідком більш раннього зростання виносу рідини із-за більшої роздробленості парорідинних струменів.

Результати розрахунку об'єму колони в залежності від діаметру отворів в сітчастих тарілках для суміші бензол – толуол представленні в таблиці 5.1, де використовувався розрахунковий діаметр.

Таблиця 5.1 – Залежність об'єму колони від діаметру отворів в сітчастих тарілках в суміші бензол-толуол

d_0 , мм	5	8	20
V , м ³	4,855	4,334	4,563

Розрахунок об'єму колони проводився за формулами:

$$V = H \cdot S \quad (61)$$

$$H = (n_d - 1) \cdot h \quad (62)$$

$$S = \frac{\pi \cdot D_{\text{роз.}}^2}{4} \quad (63)$$

Графік залежності об'єму колони від діаметру отворів в сітчастих тарілках (рисунок 5.1) виявляє оптимальну величину діаметра отвору, яка дорівнює 12 мм.

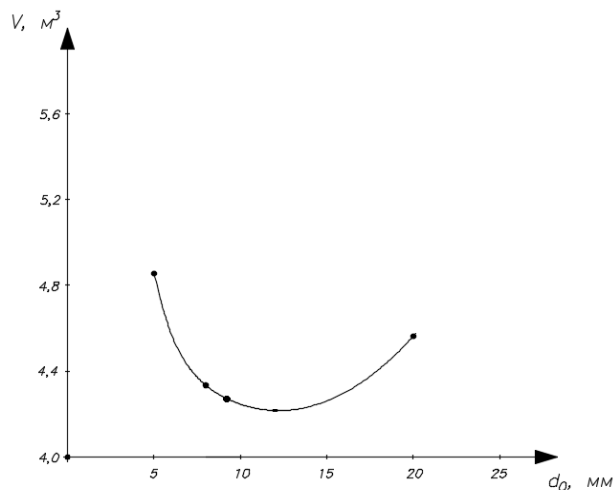


Рисунок 5.1 – Графік залежності об'єму колони від діаметру отворів в сітчастих тарілках

Оптимальний розмір отвору в сітчастій тарілці буде давати мінімальний об'єм тарілчастої частини ректифікаційної колони, який буде виправданий з економічної точки зору. Так, наприклад, відношення об'єму колони з діаметром отворів сітчастих тарілок 5 мм до об'єму колони з діаметром отворів 12 мм, дорівнює 1,15. Отже можна сказати, що колона з діаметром отворів в сітчастих тарілках 12 мм в 1,15 рази буде дешевшою ніж колона з сітчастими тарілками діаметром 5 мм.

Таким чином, результати комплексної роботи студентів підтверджують наукові дослідження зроблені на кафедрі машинознавства та обладнання промислових підприємств та можуть бути застосовані при розробці галузевого Стандарту України.

6 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕФЛЕГМАТОРА

6.1 Виготовлення основних елементів дефлегматора

6.1.1 Виготовлення обичайок

Вальцювання і штампування обичайок проводиться на відповідних машинах або пресах.

Для виготовлення обичайки спочатку виконується розмітка листових заготівель для визначення границь обробки і економного розкрою листа. Розмітка проводиться на розмічальних столах або плитах. Відповідність марки металу перевіряється по маркуванню листа. Відповідність сертифікату перевіряється довжина, товщина і ширина листа. Лист укладається маркуванням нагору на розмічальний стіл і на ньому ставиться базова риска уздовж кромки з найменшою серповидністю. На листі розмічаються контрольні риси, риси під відрізок і риси з непаралельністю не більше 1 мм під стружку. Різання листа здійснюється на гильйотинних ножицях. Після різання на верстаті здійснюється обробка кромки. Після цього лист подається до пресу для підгинання кромки. Після підгинання кромки лист рухається до листозгинальної машини із трьома симетрично розташованими валками. Поздовжні стики збирають за допомогою гідравлічних струбцин. Після приварки на ролікоопорах вхідної та вихідної планок зварним автоматом виконують зварювання внутрішнього шва на флюсовій подушці. Зовнішній поздовжній шов зварюють після зачищення кореня шва. Після зварювання зовнішнього шва шов зачищають на стенді, знімають посилення і видаляють вхідну та вихідну планки. Далі обичайка подається до листозгинальної машини на виправлення. Отвори під штуцери попередньо розмічаються, а далі вирізаються газовим різакон. Зварні шви контролюються ультразвуковою дефектоскопією. Не допускається виготовлення обичайок ручним способом, а також місцеве нагрівання і виправлення молотком.

6.1.2 Виготовлення еліптичних днищ

Еліптичні днища виготовляються з цілого листа або сегментарно, з окремих пелюсток.

Виробництво еліптичних днищ починається із заготівлі металевого листа. Виходячи з розмірів і матеріалів, днище виготовляється з листів, що включають одну або декілька частин. Частини з'єднуються одна з одною за допомогою напівавтоматичного або автоматичного зварювання.

Заготівлі листового металу за допомогою механічної обробки або плазмового різання перетворюються на круглі заготівлі.

Заготівлі для еліптичних днищ подають на гідравлічний прес для штампування або фланжировочну машину для холодної обкатки.

Днища діаметром до 2 м штампують на гідравлічних пресах. Перша стадія штампування виконується гідравлічним штампувальним пресом. Тут днище набуває своєї форми і конкретний профіль.

Еліптичні днища діаметром більше 2 м виготовляють на фланжировочному верстаті з наступним зварюванням елементів і відбувається послідовне надання форми днищу і відбортовка кромки роликами.

Ще один спосіб перетворення заготівлі в потрібну форму - розкочування. При безперервному русі, поміщена в спеціальний верстат, що працює як гігантський гончар, заготівля приймає потрібний профіль.

В процесі холодної обробки властивості металу можуть змінюватися. Для їх відновлення днище проходить термічну обробку в спеціальних нагрівальних печах.

Для приварювання днища до обичайки його кромки обробляються або обрізаються плазмовим різанням. Кромки обробляються згідно з технічними вимогами креслення.

Для надання краю особливої форми застосовується вальцювання. За допомогою спеціального устаткування верхній край борту приймає потрібний профіль.

6.1.3 Встановлення штуцерів

Після розмітки корпусу проводять розмітку отворів для установки люків та штуцерів.

Отвори для люків, лючков і штуцерів в апаратах повинні розташовуватися поза зварними швами.

Розташування отворів допускається:

- на подовжніх швах циліндричних і конічних обичайок посудин, якщо діаметр отворів не більше 150 мм;
- на кільцевих швах циліндричних і конічних обичайок посудин без обмеження діаметру отворів;
- на швах опуклих днищ без обмеження діаметру отворів при умові 100-% перевірки зварних швів днищ радіографічним або ультразвуковим методом;

Отвори не дозволяється розташовувати в місцях перетину зварних швів посудин.

Отвори на обичайці та днищі для установки штуцерів розміщують на відстані від края ближнього зварного шва до осі отворів не менш 0,9 діаметру отвору. Відстань між центрами двох сусідніх отворів у циліндричній обичайці по зовнішній поверхні повинне бути не менш 1,4 діаметри отвору або 1,4 напівсуми діаметрів отворів, якщо діаметри їх різні.

На днищах відстань між кромками двох сусідніх отворів, обмірювана по хорді приймають не менш діаметра меншого отвору.

Не допускається розташовувати отвори на зварних швах. На подовжніх швах обичайки допускається установка штуцера діаметром не більше 150 мм при відстані між центрами двох сусідніх штуцерів не менш суми діаметрів їхніх отворів на радіусі. У кільцевих швах обичайки установка штуцерів не обмежується.

У зварних швах днищ, установка штуцерів може бути зроблена тільки після 100 %-ого контролю зварених швів просвічуванням або ультразвуковою дефектоскопією.

6.1.4 Виготовлення фланців

Технічні вимоги до фланців посудин і фланців арматури повинні відповідати згідно ГОСТ28759.5 і ГОСТ12816.

Технологічний процес одержання заготівель для фланців методом вигину прокату полягає в розрізанні смуги або профілю на мірні заготівлі, згинанні в кільце і стиковому зварюванні. Далі заготівлю піддають механічній обробці, а саме: обробляють ущільнювальну поверхню, внутрішній діаметр фланця, висвердлюють отвори під кріпильні вироби.

Арматурні фланці виробляють відкритих штампах. На комбінованих штампах за один хід преса прошивають отвори та обрізають заусенці на кривошипних пресах. Далі отримані заготівлі піддають механічній обробці.

При зварюванні фланця з плоскою ущільнювальною поверхнею до патрубку необхідно забезпечити рівномірний кільцевий зазор між патрубком і фланцем. Зазор між зовнішньою поверхнею патрубка і внутрішнім діаметром плоского фланця не повинний перевищувати 2,5 мм.

Приварку штуцера до фланця з плоскою ущільнювальною поверхнею проводять в такій послідовності: штуцер укладають ущільнювальною поверхнею на складальну плиту, по внутрішньому діаметру встановлюють підкладки по товщині рівні товщині підведення і торця патрубка до сполучної поверхні фланця. Патрубок торцем укладається у фланець на підкладку. Витримується перпендикулярність осі фланця до його ущільнювальної поверхні. Патрубок прихоплюється, а потім приварюється до фланця.

6.1.5 Збирання і зварювання корпусу

Після збирання і зварювання обичайок корпус (без днищ) повинен задовольняти наступним вимогам:

а) відхилення по довжині не більше $\pm 0,3\%$ від номінальної довжини, але не більше ± 75 мм;

б) відхилення від прямолінійності не більше 2 мм на довжині 1 м, але не більше 20 мм при довжині корпусу до 10 м і не більше 30 мм при довжині корпусу понад 10 м.

При цьому місцева непрямолінійність не враховується:

- в місцях зварних швів;
- в зоні вварки штуцерів і люків в корпус;
- в зоні конусності обичайки, яка використовується для досягнення допустимих зміщень кромek в кільцевих швах посудин, що мають еліптичні або відбортовані конічні днища;

в) відхилення від прямолінійності корпусу (без днищ) посудин з внутрішніми пристроями, що встановлюються в зібраному виді, не перевищує величину номінального проміжку між внутрішнім діаметром корпусу і зовнішнім діаметром пристрою на ділянці установки.

Посилення кільцевих і подовжніх швів на внутрішній поверхні корпусу мають бути зачищені в місцях, де вони заважають установці внутрішніх пристроїв.

Посилення зварних швів не знімають у корпусів посудин, виготовлених з двошарових і корозійностійких сталей; при цьому у деталей внутрішніх устроїв роблять місцеву виїмку в місцях прилягання до зварного шва. У разі, коли зачистка таких внутрішніх швів потрібна, повинна бути передбачена технологія зварювання, що забезпечує корозійну стійкість зачищеного шва.

Відхилення внутрішнього (зовнішнього) діаметру корпусу апарату, за винятком теплообмінних апаратів, допускається не більше $\pm 1\%$ номінального діаметру.

Для вивіряння горизонтального положення базова поверхня горизонтальної посудини має бути вказана в технічній документації. На одному з днищ корпусу мають бути нанесені незмивною фарбою дві контрольні риски для вивіряння бічного положення посудини на фундаменті.

Для вивіряння вертикального положення вгорі і внизу корпусу під кутом 90° мають бути передбачені у колонних апаратів, що ізолюються, дві пари пристосувань за ГОСТ 36-18, а у тих, що не ізолюються дві пари рисок.

Корпуси вертикальних посудин з фланцями, що мають ущільнювальні поверхні "шип-паз" або "виступ-западина", для зручності установки прокладки слід виконувати так, щоб фланці з пазом або западиною були нижніми.

6.1.6 Кріплення труб в трубних решітках

Стандартом передбачено два види з'єднань труб з трубними решітками:

- з'єднання механічним розвальцюванням;
- комбіновані з'єднання – зварювання труб з трубною решіткою з наступним вальцюванням.

З'єднання труб з трубною решіткою зварювання без вальцювання заборонено, але в технічно обґрунтованих випадках дозволено. Дозволено вальцювальні з'єднання здійснювати електро-імпульсивним методом або вибухом відповідно до технологічних інструкцій на ці способи.

Інструмент, устаткування і технологія розвальцювання труб развальцьованих і комбінованих з'єднань, повинні відповідати вимогам галузевого стандарту.

Зовнішня поверхня кінців прямих теплообмінних труб (за винятком труб з корозійностійких сталей) має бути зачищена до чистого металу по довжині, що дорівнює подвоєній товщині трубної решітки плюс 20 мм. Зовнішній діаметр труби після зачистки не повинен бути менше величини найменшого граничного зовнішнього діаметру труби для відповідного класу точності з'єднання.

На поверхні отворів в решітках не повинно бути бруду та іржи, поздовжніх і гвинтових рисок. Дозволено одиночні кільцеві риси, а також поздовжніх і гвинтові риси на $2/3$ довжини вальцювального з'єднання. Наявність рисок контролюється візуально.

Конусність внутрішньої поверхні труби після розвальцювання не має бути більше 0,3 мм на довжині розвальцювання. Гострі кромки в місці переходу від розвальцьованої частини труби до нерозвальцьованої, а також відшаровування і лущення металу на внутрішній поверхні труби не допускаються.

6.2 Збирання дефлегматора

Збирання дефлегматора необхідно проводити в такій послідовності:

- приєднати розподільну камеру;
- приєднати кришку;
- змонтувати фланцеві сполуки розподільної камери та рубчатки і кришки та трубочки;
- змонтувати трубопроводи входу та виходу продукту трубного і між трубного просторів;
- заізолювати дефлегматор.

6.3 Випробування після виготовлення

Гідравлічному випробуванню підлягають посудини після їх виготовлення.

Гідравлічне випробування посудин повинне проводитися з кріпильними виробами і прокладками, передбаченими в технічній документації.

Температура води повинна прийматися не нижче за критичну температуру крихкості матеріалу посудини і вказуватися розробником посудини в технічній документації. За відсутності вказівок температура води має бути в межах від плюс 5 до плюс 40 °С.

Різниця температур стінки посудини і навколишнього повітря під час випробування не повинна викликати конденсацію вологи на поверхні стінки посудини.

При заповненні посудини водою має бути видалене повітря з внутрішніх порожнин. Тиск слід піднімати рівномірно до досягнення пробного. Швидкість підйому тиску не повинна перевищувати 0,5 МПа в

хвилину, якщо немає інших вказівок розробника посудини в технічній документації.

Тиск при випробуванні повинний контролюватися двома манометрами.

Мінімальну величину пробного тиску $P_{пр}$ при гідравлічному випробуванні дефлегматора приймають:

$$P_{пр} = 1,25 \cdot P \frac{[\sigma]^{20}}{[\sigma]^t} \quad (64)$$

де P – розрахунковий тиск, МПа

$[\sigma]^{20}$ - допустиме напруження матеріалу апарата при 20°C, МПа

$[\sigma]^t$ - допустиме напруження матеріалу апарата при розрахунковій температурі, МПа

Час витримки дефлегматора під пробним тиском залежить від товщини стінки апарата і складає 10 хвилин.

Після витримки дефлегматора під пробним тиском, його знижують до розрахункового, при якому проводиться огляд зовнішньої поверхні, усіх його роз'ємних і зварних сполук. Не допускається обстукування дефлегматора під час випробування.

7 РЕМОНТ ДЕФЛЕГМАТОРА

7.1 Методи виконання планово-попереджувальних ремонтів

Система планово-попереджувальних ремонтів використовується на багатьох хімічних і нафтопереробних підприємствах. Планово-попереджувальні ремонти класифікуються за наступними показниками.

1 По місцю виконання робіт:

- ремонт на місці установки устаткування;
- ремонт з демонтажем устаткування і доставкою в ремонтний цех, де виконуються всі роботи і частина контрольних операцій після ремонту;
- ремонт базової частини (наприклад, корпуси) устаткування на місці установки, а окремих вузлів і деталей в ремонтних цехах.

2 По методу підготовки і проведення ремонтів:

- індивідуальний ремонт устаткування, при якому виконують заміну або відновлення кожної зношеної деталі окремо;
- повузловий метод, при якому виконують демонтаж і заміну дефектних вузлів запасними. Ремонт знятих пошкоджених вузлів проводиться в період між ремонтами;
- поагрегатний ремонт, при якому замінюють не вузли, а цілі агрегати, наприклад, редуктори, приводи мішалок;
- заміна несправного устаткування (машини, апарата) запасним. Ремонт знятого устаткування здійснюється в період між ремонтами.

3 По плануванню ремонтів в часі:

- ремонт устаткування підприємства, рівномірно розосереджений протягом року, забезпечує найвигідніше завантаження ремонтних цехів і бригад;
- ремонт виконується в період загальної зупинки для всіх або більшості одиниць устаткування цеху (виробництва). Цей варіант характерний для виробництв, що безперервно працюють;

- ремонти плануються на час року (сезон) найбільш сприятливий для виробництва ремонтних робіт, або протягом якого має місце недовантаження виробництва (теплоелектростанції, холодильні станції).

4. За призначенням, змісту, трудомісткості ремонтних робіт (об'єму) і частоті повторюваності:

- поточний - це ремонт, що виконується для забезпечення або відновлення працездатності устаткування і полягає в заміні і (або) відновленні його окремих частин. Цей вид ремонту характеризується найменшим об'ємом (за винятком робіт по технічному обслуговуванню) і повторюється найчастіше;

- середній ремонт за об'ємом робіт, тривалості і повторюваності займає проміжне місце між поточним і капітальним ремонтом, не є обов'язковим планово-попереджувальним ремонтом для більшості машин і апаратів хімічних виробництв і здійснюється тільки в тих випадках, коли дозволяє збільшити термін служби між капітальними ремонтами;

- капітальний - це ремонт, який виконується для відновлення справності і повного або близького до повного ресурсу устаткування, полягає в заміні або відновленні будь-яких його частин, включаючи базові (наприклад, корпус апарата або машини). Це найбільший за об'ємом плановий ремонт, він повторюється рідше поточного і середнього ремонтів.

7.2 Розбирання дефлегматора, виявлення і усунення дефектів

Ремонт дефлегматора проводять за технологією, розробленою ремонтною організацією до початку виконання ремонтних робіт. Всі види ремонтів повинні виконуватися в строгій відповідності із графіком ППР, затвердженим головним інженером.

При проведенні ремонтних робіт в апараті необхідно керуватися «Інструкцією з організації безпечного проведення газонебезпечних робіт на підприємстві».

Ремонтні роботи із застосуванням відкритого вогню повинні проводитись відповідно до «Типової інструкції з організації безпечного проведення

вогневих робіт на вибухонебезпечних об'єктах». Вогневі роботи проводяться тільки при наявності дозволу на виробництво вогневих робіт.

Перевірку, регулювання та ремонт всіх контрольно-вимірювальних приладів і автоматичних пристосувань необхідно виконувати відповідно до «Правил організації і перевірки вимірювальних приладів і контролю за станом вимірювальної техніки з дотриманням стандартів і технічних умов», затвердженими комітетом стандартів, мір і вимірювальних приладів.

При ремонті внутрішні поверхні очищають від бруду і інших відкладень.

Не дозволяється знімати гайки зі шпильок або болтів доти, поки працюючий не переконається в тому, що апарат або ділянка трубопроводу не має тиску. Затягування гайок при ремонті повинно бути рівномірним щоб уникнути перенапруги в окремих болтах.

Перед зварюванням перевіряється якість підготовки і зборки елементів, що зварюють. Зсув кромки швів у стикових з'єднаннях не повинен перевищувати 10% більш тонкого листа, але не більше 3 мм. При зварюванні елементів різної товщини передбачається плавний перехід від одного елемента до іншого, при цьому кут скосу не повинен перевищувати 15°. Допускаються стикові шви без попереднього утонення стінки, якщо різниця між товщинами елементів, що з'єднуються, не перевищує 30 % від товщини більш тонкого елемента, але не більше 5 мм.

При ремонті корпусів зварювальні роботи виконуються при плюсовій температурі навколишнього середовища. Допускаються зварювальні роботи з попереднім підігрівом при температурі навколишнього середовища не нижче – плюс 20°C.

При ремонті корпусів використовують ручне електродугове зварювання, крім того може бути використане автоматичне і напівавтоматичне зварювання. Зварні шви, що виконуються при ремонті, повинні забезпечувати необхідну міцність і бути доступними для контролю. Їх розташовують поза опорою корпуса. Перетинання зварних швів, що проводяться ручним електродуговим зварюванням не допускається.

Ушкоджену обичайку замінюють цілою або поаркушно. При заміні цілої проміжної обичайки використовують вантажопідйомні механізми. Вони утримують верхню неушкоджену частину апарата. Цю частину відокремлюють від дефектної обичайки і опускають на землю. Ушкоджену обичайку за допомогою тих же механізмів також опускають на землю. Нову обичайку піднімають і стикують із нижньою частиною апарата. Потім піднімають верхню частину і після з'єднання з обичайкою і перевірки обоє стикових шва заварюються. При поаркушній заміні використовують аркуші, звальцьовані по радіусу, рівному радіусу обичайки.

Дефектні днища при неможливості їхнього ремонту на місці заміняють новими.

При ремонті часто необхідно відновити ущільнювальні поверхні трубних решіток і фланців, що мають пошкодження, наприклад, у наслідок корозії металу. Ці роботи можна виконувати, не демонтуючи фланці, спеціальним переносним пристроєм. Пристрій є зварною конструкцією, що містить корпус, яким він кріпиться на оброблюваному фланці, і план-шайбу із змонтованою на ній кареткою з резцеудержувачем.

Пристрій можна кріпити до фланців, розташованих у вертикальній і горизонтальній площинах; універсальний затиск дозволяє кріпити його на фланцях різних зовнішніх діаметрів.

7.3 Ремонт вузла кріплення труб до трубної решітки

Відмови теплообмінників відбуваються в основному із-за пропуску середовища через вальцьовальні з'єднання і із-за корозії труб трубного пучка.

Приховані дефекти теплообмінників встановлюють опресовуванням міжтрубного простору при відкритих з обох торців кришках. Зношену або лопнувшу трубу виявляють по появі в ній рідині опресовування, а нещільність в з'єднаннях кінців труб з трубними решітками - по рідині, що пропускають і запітнінню.

Дефектні трубки зазвичай заглушають з двох кінців металевими пробками, що мають невелику конусність (3 - 5°). Пробки забивають туго, щоб надійно протистояти максимальному тиску в трубках.

Число заглужених труб не повинно перевищувати 15% трубок в теплообміннику, інакше значно зменшується поверхня теплообміну і зростає гідравлічний опір.

При виході з ладу більше 15% трубок усі вони замінюються.

Заміна труб - складна операція, яка включає видалення дефектних труб, підготовку нових труб, кріплення нових труб в трубних решітках.

Труби видаляють з використанням оправки. Для цього висвердлюють трубу приблизно на 3/4 довжини развальцьованої частини, зменшуючи при цьому товщину її стінки. Після цього між трубою і внутрішньою поверхнею отвору решітки забивають спеціальне оправляння, яке деформує стінку труби. Потім оправлянням трубу вибивають з трубної решітки.

Для видалення приварних труб заздалегідь вирубують зварний шов вручну або спеціальною фрезою з приводом від гнучкого валу або переносного дреля.

Нові трубки, що вставляються, відрізають по довжині трубного пучка з надбавкою 8 - 10 мм довжини. Кінці трубок зачищають до металевого блиску на довжину, рівну товщині решітки плюс 10 мм на сторону. У трубних решітках усі отвори зачищають від задирок, іржі і бруду. Наявність подовжніх рисок в отворах трубних решіток не допускається. Перед установкою трубок отвори в решітках продувають повітрям і досуха протирають. Трубки встановлюють в трубні решітки так, щоб їх кінці виступали на 3 - 5 мм від зовнішнього торця кожної решітки. Проміжок між зовнішнім діаметром трубки і отвором в решітках не повинен перевищувати 1,5 % діаметра трубки.

У трубних решітках кінці трубок кріпляться розвальцьовуванням або розвальцьовуванням з обварюванням.

Розвальцьовування є найбільш поширеним способом отримання міцних і герметичних з'єднань труб з трубними решітками теплообмінних апаратів. При вальцюванні відбувається пластична деформація труби.

Розвальцьовування трубок здійснюють за допомогою спеціального інструменту - вальцювання. Вальцювання складається з металевого конуса, патрона з пазами і циліндричних роликів. Під кожний розмір труби свій патрон.

В процесі розвальцювання ролики виходять з пазів і збільшують діаметр труби.

Оскільки трубки при розвальцюванні подовжуються, спочатку розвальцьовують усі кінці трубок в одній решітці, а потім в іншій.

Порядок розвальцювання трубок наступний: спочатку вальцюють чотири трубки хрест на хрест, потім усі трубки по периметру і далі інші.

При розвальцюванні можливі наступні дефекти:

- 1) відсутність характерного переходу між розвальцьованою і неразвальцьованою частинами труб;
- 2) надмірна довжина дзвоника або роздутий вихід труби за трубними решітками;
- 3) одностороннє витріщення трубки на виході з гнізда;
- 4) підрізи труби по кромках гнізда трубних решіток;
- 5) тріщини і розриви у вальцьованій частині труби або в дзвонику.

Зварювання труб з трубними решітками проводять тільки у поєднанні з розвальцьовуванням.

8 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

Хімічні виробництва є вибухопожежонебезпечними. Для запобігання аваріям, неполадам, нещасним випадкам і забезпечення нормальних умов праці необхідно дотримувати норми і вимоги технологічного регламенту, інструкцій по робочих місцях, інструкцій по охороні праці.

Небезпечні чинники виробничих процесів:

Електронебезпека

Виробничі приміщення відносяться до приміщень із підвищеною небезпекою у зв'язку з наявністю в них струмопровідних підлог, залізобетонних конструкцій, металоконструкцій і т.п.

Термічні опіки

При зіткненні з неізолюваною поверхнею гарячих трубопроводів і апаратами, що обігріваються, при розриві парових комунікацій можуть бути отримані термічні опіки.

Механізми

Обертові частини механізмів, що рухаються, (вали, муфти, зчеплення, електромотори і т.п.) при відсутності огорожень і необережному обігу можуть викликати травми, переломи, вивихи.

Шум

Шкідлива дія шуму відбивається на органах слуху. Тривалий вплив шуму на слухові органи людини без їхнього захисту може привести до професійної приглухуватості.

Вібрація

Вібрації викликають в організмі людини численні реакції, які є причиною функціональних розладів різних органів. Під дією вібрації відбуваються зміни в периферичній і центральній нервовій системах, сердечно судинній системі, опорно-руховому апараті. Шкідлива дія вібрації виражається у вигляді підвищеного стомлення, головного болю, підвищеному дратівливості, деякого порушення координації рухів.

Статична електрика

Статична електрика виникає в процесі нагромадження електричних зарядів у речовинах.

На поверхні зіткнення матеріалів утворюється подвійний електричний шар у вигляді електричних зарядів із протилежними знаками. Залежно від природи розрізняють електричну, адсорбційну, контактну, п'єзоелектричну й індукційну електризацію.

Вимоги по охороні праці перед початком роботи

1 Організація робочого місця робітника, зайнятого ремонтом повинна забезпечувати безпеку виконання робіт.

2 Робоче місце і проходи до нього необхідно тримати в чистоті, не захарашувати деталями, матеріалами і сторонніми предметами.

3 Робоче місце повинне мати достатнє природне і штучне освітлення.

4 До початку роботи робітник повинен:

- перевірити наявність і справність засобів індивідуального захисту;
- перевірити справність і комплектність інструменту, інвентаря і інших пристосувань, необхідних для виробництва робіт;
- перевірити справність вантажопідйомних пристосувань, наявність на них клейма заводу-виготівника або міцно прикріпленої металевої бирки з вказівкою номера, вантажопідйомності і дати випробування. Вантажозахватні пристосування повинні відповідати вазі і характеру вантажу (при роботі з вантажопідйомними механізмами), що піднімається;
- отримати наряд-допуск на виробництво робіт підвищеної небезпеки; ознайомитися з умовами виробництва і характером робіт.

Основні правила охорони праці при роботі на висоті

До роботи на висоті допускаються особи не молодші 18 років, що пройшли медичний огляд і навчання правилам техніки безпеки.

Висота понад 1,3 метри вважається небезпечною і роботи повинні виконуватися із застосуванням приставних драбин, драбин, підмостів, що мають огорожі або при обов'язковому вживанні перевірених і випробуваних запобіжних поясів, якщо робота проводиться з необгороджених поверхонь.

Підмости, драбини і інші пристосування для виконання будівельно-монтажних робіт на висоті повинні бути інвентарними і виготовлятися за типовими проектами.

Всі основні елементи лісів розраховуються на міцність, а ліси в цілому – на стійкість. При перевірці лісів приймається рівномірно розподілене навантаження 250 кг/см^2 , крім того необхідна перевірка всіх горизонтальних елементів на зосереджений вантаж в 130 кг.

Навантаження на настили лісів, подмостей і вантажопідйомних майданчиків не повинні перевищувати встановлених проектами величин, що допускаються.

На будівельних лісах повинні бути місця для установки засобів пожежогасінні.

Переносні драбини і драбини повинні мати пристрої, що запобігають при роботі можливості зсуву і перекидання. Загальна довжина сходів не повинна перевищувати 5м і забезпечувати робітникам можливість виконувати роботу стоячи на щаблі, що перебуває на відстані не менш 1м від верхнього кінця сходів.

Приставні драбини необхідно випробовувати статичним навантаженням в 120 кг протягом 5 хвилин під кутом 75° до горизонтальної площини.

Всі переходи, майданчики, драбини, відкриті колодязі повинні бути захищені. Висота огорожі не менше 0,9 метрів із смугою посередині огорожі, внизу повинна бути відбортовка заввишки не менше 0,4 метрів.

При розташуванні обслуговуваного устаткування на висоті більше 1,8 метрів для доступу до нього повинні бути влаштовано стаціонарні драбини з поручнями і майданчиками з огорожами. Всі рухомі і обертаються частини машини і технологічних апаратів, розташовані на висоті менше 2 метрів над

рівнем підлоги або площі обслуговування, повинні мати суцільну або сітчасту огорожу. Знімати огорожу для ремонту технологічних апаратів дозволяється тільки після повної зупинки механізмів.

Проведення зварювальних і вогневих робіт

Вогневі роботи на території й у приміщеннях можуть проводитися тільки при наявності оформленого дозволу на проведення вогневих робіт, підписаного всіма передбаченими в ньому особами.

При підготовці до вогневих робіт визначається небезпечна зона, границі якої чітко позначаються попереджувальними знаками й підписами.

Апарати, машини, ємності й інше устаткування, на якому будуть проводитися вогневі роботи, повинні бути зупинені, знеструмлені, звільнені від вибухонебезпечних, токсичних і інших продуктів, відключені заглушками від діючих апаратів і комунікацій, продуті азотом, парою, повітрям і підготовлені до проведення вогневих робіт.

Місця проведення вогневих робіт повинні бути очищені від спалених матеріалів. При неможливості їх забрати вони повинні бути захищені від влучення на них іскор екранами, азбестовим полотном, металевими аркушами й іншими неспаленими матеріалами. Спаленні конструкції повинні бути добре змочені водою. Зливальні лійки, виходи з лотків і інші обладнання, пов'язані з комунікаціями, у яких можуть бути горючі гази й пари, повинні бути перекриті.

Місця проведення вогневих робіт необхідно забезпечити первинними засобами пожежогасіння.

Вогневі роботи дозволяється починати при відсутності пожежовибухонебезпечних речовин у повітряному середовищі або при наявності їх не вище гранично-припустимої концентрації по санітарних нормах.

Під час проведення вогневих робіт повинен здійснюватися періодичний контроль стану повітряного середовища в апаратах, на комунікаціях, на яких проводяться роботи.

Виконавці вогневих робіт зобов'язані:

- мати при собі кваліфікаційне посвідчення (зварника, різьбяра) і посвідчення про проходження навчання по пожежотехнічному мінімуму;
- одержати інструктаж з безпечного проведення вогневих робіт і розписатися в дозволі;
- ознайомитися з обсягом робіт по місці майбутнього проведення вогневих робіт, приступити до проведення робіт з дозволу особи, відповідального за їхнє безпечне проведення;
- виконувати тільки ту роботу, яка зазначена в дозволі;
- дотримувати заходів безпеки, передбачені дозволом;
- після закінчення вогневих робіт ретельно оглянути місце проведення цих робіт і усунути виявлені порушення, які можуть привести до травм, аварій, виникнення пожежі;
- припинити вогневі роботи при виникненні пожежонебезпечної ситуації.

При проведенні вогневих робіт забороняється:

- приступати до роботи при несправній апаратурі;
- робити пайку, різання або зварювання свіжопофарбованих конструкцій до повного висихання фарби;
- допускати до роботи учнів і робітників, що не пройшли перевірку знань.

Експлуатація технологічного устаткування

Основною умовою безпечної експлуатації є дотримання обслуговуючим персоналом норм технологічного режиму, робочих інструкцій по охороні праці. Перед пуском необхідно:

- перевірити стан фланцевих з'єднань і арматури;
- зняти всі заглушки, встановлені для ремонту з відповідним записом в журнал обліку зняття і установки заглушок;
- включити в роботу всі стадії технологічного процесу відповідно до інструкцій по робочих місцях.

До експлуатації апарата повинен допускатися тільки кваліфікований обслуговуючий персонал, що здав іспит на право обслуговування даного встаткування. Експлуатацію апарата робити відповідно до робочої інструкції по експлуатації. Пуск апарата в роботу проводити по технологічному регламенті на ведення процесу. Під час роботи апарата повинен підтримуватися заданий технологічний режим, при цьому робочі параметри не повинні бути вище передбачених технічною характеристикою апарата.

Апарат повинен бути зупинений у наступних аварійних випадках:

- 1) При підвищенні тиску або температурі вище величини, зазначеної в технічній характеристиці апарата.
- 2) При несправності приладів.
- 3) При виявленні в основних елементах апарата тріщин, пропусків, випучин, розриву прокладок.
- 4) При виникненні пожежі, що безпосередньо загрожує апарату.
- 5) При неповній кількості або несправності кріпильних виробів фланцевих з'єднань.

ВИСНОВКИ

В даному дипломному проекті розглянуто установку ректифікації суміші бензол-толуол продуктивністю 5,5 т/год. по вихідній суміші з розробкою дефлегматора:

- а) На основі аналітичного огляду вибрана конструкція дефлегматора розміри якого отримані з технологічного розрахунку.
- б) Підібрані конструкційні матеріали згідно з умов роботи дефлегматора і характеристики робочого середовища;
- в) Роботоспроможність дефлегматора підтверджена розрахунками на міцність, жорсткість та стійкість, які виконані згідно з діючою в хімічному машинобудуванні нормативно-технічною документацією;
- г) Висвітлені питання технології виготовлення, монтаж і ремонт дефлегматора;
- д) Розглянуті питання техніки безпеки при ремонті.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

- 1 Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – Л.: Химия, 1987. – 576с.
- 2 Справочник химика, т. 5. – М.: Химия, 1968. – 975 с.
- 3 Отраслевой стандарт (Ост 26-01-1488-83).
- 4 Борисов Г.С., Брыков В.П., Дытнерский Ю.И. и др. Под ред. Дытнерского Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии, 2-е изд., перераб. И дополн. – М.: Химия, 1991. – 496 с.
- 5 Коган В.Б., Фридман В.М, Кафаров В.В. Равновесие между жидкостью и паром. Справочное пособие, книга 1-я и 2-я. – М.-Л.: Наука, 1966. – 640 с. + 786 с.
- 6 Плановский А.Н., Рамм В.М., Каган С.З. Процессы и аппараты химической технологии, 4-е изд. – М.: Химия, 1967. – 848 с.
- 7 Романков П.Г., Курочкина М.И. Расчетные диаграммы и номограммы по курсу «Процессы и аппараты химической промышленности». – Л.: Химия, 1985. – 54 с.
- 8 Чернышев А.К., Коптелов В.Г., Листов В.В., Заичко Н.Д. Основные теплофизические свойства газов и жидкостей. Номографический справочник. – Кемеровское изд-во, 1971. – 225 с.
- 9 Дытнерский Ю.И. и др. Колонные аппараты. Каталог/ Под ред. Дытнерского Ю.И., 2-е изд-во. – М.: ЦИНИНЕФТЕХИММАШ, 1978. – С. 220.
- 10 Плановский А.Н., Николаев П.И. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии, 3-е изд. – М.: Химия, 1987. – 496 с.
- 11 Вихман Г.Л., Круглов С.А. Основы конструирования аппаратов и машин нефтеперерабатывающих заводов. «Машиностроение», 1978 г. 326 с.
- 12 Аппараты теплообменные кожухотрубчатые общего назначения. Аппараты теплообменные кожухотрубчатые с неподвижными трубными решетками и кожухотрубчатые с температурным компенсатором на кожухе. Каталог. М.: АООТ «ВНИИнефтемаш». 2001.–.70 с.

- 13 Лацинский А. А., Толчинский А. Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. – М.: Машиностроение, 1970. –752с.
- 14 Кожухотрубчатые теплообменные аппараты общего и специального назначения. Каталог. М.: ЦИНТИхимнефтемаш”. 1991.–.108 с.
- 15 ТУ 3612-024-00220302-02 Аппараты теплообменные кожухотрубчатые с неподвижными трубными решетками и кожухотрубчатые с температурным компенсатором на кожухе. Технические условия. М.: АООТ “ВНИИнефтемаш”. 2002.–145 с.
- 16 Жидецкий В.Ц., Джигирей В.С., Мельников О.В. Основи охорони праці. -Вид.5-е,доп.-Львів:Афіша, 2002.-350с.
- 17 ТУ 26-02-1102-89. Аппараты теплообменные кожухотрубчатые повышенной тепловой эффективности с расширителем на кожухе. Технические условия. М.: АООТ “ВНИИнефтемаш”, 1989.–.48 с.
- 18 ОСТ 26-01-1512-76. Компенсаторы линзовые осевые на Ру 2,5 МПа. Технические требования.
- 19 ГСТУ 3-071-2004. Апарати кожухотрубчасті теплообмінні та повітряного охолодження. Кріплення труб в трубних решітках.
- 20 СОУ МПП 71.120-217:2009. Посудини та апарати сталеві зварні. Загальні технічні умови.
- 21 О.І. Барвін та ін. Конструювання і розрахунок сталевих зварних посудин та апаратів. Обичайки та днища. – Луганськ: Вид-во Східноукр. нац. ун-ту імені Володимира Даля. 2005. – 310 с.
- 22 О. І. Барвін та ін. Конструювання і розрахунок сталевих зварних посудин та апаратів. Фланцеві з'єднання. – Луганськ: Вид-во Східноукр. нац. ун-ту імені Володимира Даля, 2007. – 306 с
- 23 В. В. Іванченко, О.І Барвін, Ю. М Штонда. Конструювання та розрахунок кожухотрубчастих теплообмінних апаратів: – Луганськ: Вид-во СХУ ім. В. Даля. – 2006. – 208 с.
- 24 Ермаков В.И., Шеин В.С. Ремонт и монтаж химического оборудования: Учебное пособие для вузов. – Л.: Химия, 1981. – 368 с.