

РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота на тему

Установка ректифікації суміші ацетон-вода продуктивністю 7,2 т/год по вихідній суміші з розробкою підігрівача

Листів – 93, ілюстрацій – 8, таблиць – 2, посилань – 16.

У даній дипломній роботі був проведений короткий огляд технологічної схеми ректифікаційної установки та розрахунок ректифікаційної колони з ковпачковими тарілками для поділу бінарної суміші ацетон-вода продуктивністю 7,2 т/год по дистиляту з розробкою підігрівача, який є складовою частиною ректифікаційної установки.

Мета роботи: розрахувати колону та заданий апарат, підібрати матеріал для виготовлення підігрівача.

В ході роботи були визначені основні розміри колони (висота, діаметр, тощо). Також був проведений розрахунок заданого підігрівача, та розрахунок на міцність елементів апарата.

Для заданого апарата були підібрані конструкційні матеріали у відповідності для суміші ацетон-вода.

Проробили питання виготовлення теплообмінних апаратів у промисловості та ремонт цих машин.

Ключові слова: колона ректифікаційна, теплообмінник, контактні пристрої (тарілки колпачкові), бінарна суміш, дефлегматор та підігрівач.

Зміст

| | |
|---|----|
| Скорочення та умовні позначки | 5 |
| Вступ..... | 12 |
| 1 Аналітичний огляд | 13 |
| 1.1 Перегонка рідини | 13 |
| 1.2 Принцип і процес ректифікації..... | 14 |
| 2 Опис технологічної схеми та конструкції обладнання | 16 |
| 2.1 Опис технологічної схеми та конструкції колони | 16 |
| 2.2 Опис конструкції підігрівача | 21 |
| 3 Конструкційні матеріали для виготовлення підігрівача | 24 |
| 4 Визначення основних розмірів колони та підігрівача..... | 26 |
| 4.1 Розрахунки тарілчастої ректифікаційної колони для розділення суміші ацетон-вода продуктивністю 7,2 т/год по вихідній суміші | 26 |
| 4.1.1 Вихідні дані..... | 26 |
| 4.1.2 Визначення продуктивності за вихідною сумішшю і кубовим залишком..... | 27 |
| 4.1.3 Визначення мінімального і дійсного флегмового числа..... | 28 |
| 4.1.4 Визначення середніх значень параметрів по колоні, фізико-хімічних і термодинамічних констант фаз | 32 |
| 4.1.5 Визначення діаметру колони | 36 |
| 4.1.6 Визначення висоти колони..... | 36 |
| 4.2 Теплові розрахунки підігрівача | 37 |
| 5 Розрахунки на міцність елементів підігрівача | 40 |
| 5.1 Вихідні дані..... | 40 |
| 5.2 Розрахунки на міцність підігрівача | 41 |
| 5.3 Розрахунки кожуха підігрівача..... | 46 |
| 5.4 Визначення товщини трубних решіток..... | 48 |
| 5.5 Визначення допоміжних величин | 50 |

| | |
|---|----|
| 5.6 Розрахунки лінзового компенсатора | 50 |
| 5.7 Розрахунок компенсатора на малоциклову втомленість | 55 |
| 6 Технологія виготовлення підігрівача | 57 |
| 6.1 Виготовлення обичайок..... | 57 |
| 6.2 Виготовлення еліптичних днищ | 59 |
| 6.3 Встановлення штуцерів | 60 |
| 6.4 Збирання й зварювання корпусу..... | 62 |
| 6.5 Кріплення труб в трубних решітках..... | 63 |
| 6.6 Розвальцьовування труб | 64 |
| 6.7 Зварювання труб з трубними решітками | 65 |
| 6.8 Збирання підігрівача | 67 |
| 6.9 Випробування після виготовлення..... | 67 |
| 7 Ремонт підігрівача..... | 72 |
| 7.1 Планово-попереджувальні ремонти для теплообмінного обладнання.. | 72 |
| 7.2 Підготовчі роботи перед проведенням ремонту | 75 |
| 7.3 Розбирання апарата, виявлення й усунення дефектів | 76 |
| 7.4 Ремонт вузла кріплення труб до трубної решітки | 78 |
| 8 Техніка безпеки | 83 |
| Висновки | 91 |
| Перелік джерел посилання | 92 |

Скорочення та умовні позначки

a_F – масова концентрація низько киплячого компонента у вихідній суміші, % (мас.);

a_D – масова концентрація низько киплячого компонента в дистилляті, % (мас.);

a_W – масова концентрація низько киплячого компонента в кубовій остачі, % (мас.);

G_W – продуктивність по кубового залишку, кг/год;

G_D – продуктивність по дистилляту, кг/год;

G_F – продуктивність по вихідній суміші, кг/год;

X – концентрація низько киплячого компонента А в бінарній суміші, мол. частки;

M_A, M_B – молярна маса компонента А и В (відповідно), кг/кмоль;

R_{\min} – мінімальне флегмове число;

K_R – коефіцієнт надлишку флегми;

R – дійсне флегмове число;

X_{cp}^{H} – середня мольна концентрація низько киплячого компонента в нижній частині колони, % (мол.);

X_{cp}^{B} – середня мольна концентрація низько киплячого компонента у верхній частині колони, % (мол.);

X_{cp} – середня мольна концентрація низько киплячого компонента по колоні, % (мол.);

a_{cp} – середня масова концентрація по колоні, %(мас.);

$t_{хср}^H$ – середня температура в нижній частині колони, °С;

$t_{хW}$ – температура кубового залишку, °С;

$t_{хF}$ – температура вихідної суміші, °С;

$t_{хср}^B$ – середня температура у верхній частині колони, °С;

$t_{хP}$ – температура дистилляту, °С;

$t_{хF}$ – температура вихідної суміші, °С;

$t_{хср}$ – середня температура по колоні, °С;

$M_{хср}$ – середня мольна маса, кг/кмоль;

$\rho_{хср}$ – середня щільність рідкої фази, кг/м³;

ρ_A – щільність компонента А при температурі $t_{хср}$, кг/м³;

ρ_B – щільність компонента В при температурі $t_{хср}$, кг/м³;

$\mu_{хср}$ – середня в'язкість, Па·с;

μ_A – динамічний коефіцієнт в'язкості компонента А, Па·с;

μ_B – динамічний коефіцієнт в'язкості компонента В, Па·с;

$\sigma_{хср}$ – середнє поверхове натяжіння, Н/м;

σ_A – поверхневий натяг компонента А, Н/м;

σ_B – поверхневий натяг компонента В, Н/м;

$D_{х(t)}$ – коефіцієнт дифузії при середній температурі, м²/с;

$D_{х(20)}$ – коефіцієнт дифузії при $t = 20$ °С, м²/с;

V_A – мольний об'єм компонента А, см³/моль;

V_B – мольний об'єм компонента В, см³/моль;

Y_{cp}^H – середня мольна концентрація низько киплячого компонента в нижній частині колони, %(мол.);

Y_{cp}^B – середня мольна концентрація низько киплячого компонента у верхній частині колони, %(мол.);

Y_W – мольна концентрація низько киплячого компонента в кубовому залишку, %(мол.);

Y_F – мольна концентрація низько киплячого компонента у вихідній суміші, %(мол.);

Y_P – мольна концентрація низько киплячого компонента в дистилляті, %(мол.);

Y_{cp} – середня мольна концентрація низько киплячого компонента по колоні, %(мол.);

$t_{y\ cp}$ – середня температура по колоні, °С;

$t_{y\ cp}^B$ – середня температура у верхній частині колони, °С;

$t_{y\ cp}^H$ – середня температура в нижній частині колони, °С;

$M_{y\ cp}$ – середня мольна маса, кг/кмоль;

$\rho_{y\ cp}$ – середня щільність, кг/м³;

$\mu_{y\ cp}$ – середня в'язкість, Па·с;

μ_{yA} – динамічний коефіцієнт в'язкості компонента А, Па·с;

μ_{yB} – динамічний коефіцієнт в'язкості компонента В, Па·с;

D_y – коефіцієнт дифузії для парової фази, м²/с;

D_k^n – діаметр колони в нижньому перерізі, м;

W_y – швидкість пару, м/с;

β_{xf} – коефіцієнт масовіддачі в рідкій фазі, кмоль/(м²·с·кмоль/кмоль);

Pr' – дифузійний критерій Прандтля, рівний;

β_{yf} – коефіцієнт масовіддачі в паровій фазі, кмоль/(м²·с·кмоль/кмоль);

Re_y – критерій Рейнольдса, який дорівнює;

$H_{кол}$ – висота колони, м;

n – число дійсних тарілок у колоні;

h – відстань між тарілками, м;

$H_{сеп}$ – висота сепараційної частини колони, м;

$H_{куб}$ – висота кубової частини колон, м;

ΔP_k – гідравлічний опір ректифікаційної колони, Па;

ΔP_T – гідравлічний опір тарілки, Па;

W_0 – швидкість пару в отворах тарілки, м/с;

ζ – коефіцієнт опору, що залежить від вільного перетину отворів;

d_0 – діаметр отворів, м;

$h_{пер}$ – висота переливу, м;

L – витрата рідкої фази, м³/год;

$l_{сл}$ – довжина зливного борту, м;

m – коефіцієнт витрати через перелив;

d – діаметр штуцера, м;

V_{ϕ} – об'ємна продуктивність потоку, м³/с;

W_{ϕ} – швидкість руху потоку, м/с;

C'_F – питома теплоємність вихідної суміші, Дж/кг·К;

C'_p – питома теплоємність дистилляту при його середній температурі, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$;

C'_w – питома теплоємність кубового залишку при його середній температурі,
 $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$;

G_F – продуктивність по вихідній суміші, кг/с;

$G_{г.п.}$ – продуктивність по вихідній суміші, кг/с;

r – питома теплота пароутворення;

F – поверхня теплообміну, м²;

Q – кількості тепла, передане від одного носія іншому, Вт;

K – коефіцієнт теплопередачі, Вт/м²·К;

Δt_{cp} – середня різниця температур, °С;

Q_d – кількість тепла, що віддається охолоджувальній воді при конденсації парів у дефлегматорі, Вт;

G_b – витрата охолодної води, кг/с;

r_p – питома теплота паротворення дистилляту, кДж/кг;

C_B – питома теплоємність води, Дж/кг · К;

t_k – кінцева температура охолодної води, °С;

t_H – початкова температура охолодної води, °С;

$t_{p\text{кін}}$ – кінцева температура дистилляту після холодильника, °С;

Q_K – кількість тепла, яку треба подати в куб колони, Вт;

C_W – питома теплоємність кубового залишку, Дж/кг · К;

C_P – питома теплоємність дистилляту, Дж/кг · К;

C_F – питома теплоємність вихідної суміші, Дж/кг · К;

$[\sigma]^{20}, [\sigma]^t$ – допустима напруга при 20°С та розрахунковій температурі, відповідно, МПа;

t_k – розрахункова температура апарату, °С;

P_k – тиск у сосуді під час дії запобіжного клапана, МПа;

P_p – розрахунковий тиск без урахування гідростатичного тиску, МПа;

P_z – гідростатичний тиск, МПа;

ρ_c – щільність середовища в апараті, кг/м³;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

H – висота середовища в апараті, м;

P – розрахунковий тиск, МПа;

P_{np} – пробний тиск, МПа;

P_u – розрахунковий тиск в умовах випробування, МПа;

ϕ – коефіцієнт міцності зварених швів;

C – прибавка до розрахункової товщини, мм;

C_1 – прибавка для компенсації корозії та ерозії, мм

C_2 – прибавка для компенсації мінусового допуску, мм

C_3 – прибавка технологічна, мм;

Π – швидкість проникнення корозії, мм/рік;

τ - термін служби апарата, років;

C_3 - прибавка для компенсації ерозії, мм;

S_p – розрахункова товщина стінки обичайки, мм;

S – виконавча товщина стінки обичайки, мм;

$[P]$ – допустимий внутрішній надлишковий тиск, МПа;

S_{1p} – розрахункова товщина стінки днища, мм;

S_1 – виконавча товщина стінки днища, мм;

Вступ

У багатьох хімічних виробництвах оброблювані матеріали або кінцеві продукти часто являють собою суміші рідин, які необхідно розділяти на складові частини.

Процеси поділу багатокomпонентних сумішей органічних речовин є одними з найскладніших в хімічній і нафтохімічній промисловості. Найбільш часто поділ здійснюють посередством процесу перегонці і ректифікації. В основі використання спеціальних методів ректифікації лежить принцип перерозподілу концентрацій. Цей принцип ґрунтується на сукупності технологічних прийомів, за допомогою яких склад вихідної суміші можна перевести з однієї області ректифікації в іншу.

1 Аналітичний огляд

1.1 Перегонка рідини

Найпоширенішим методом поділу сумішей рідини, а також зріджених сумішей газів на складові частини є перегонка (дистиляція й ректифікація), застосовувана в різних варіантах. Природно, що перегонка має важливе значення в хімічній технології, особливо у зв'язку з розвитком безперервних процесів.

Перегонка являє собою процес, у якому поділювана рідка суміш нагрівається до кипіння, а пара, що утворюється, відбирається й конденсується. У результаті одержують рідину, сполуку якої відрізняється від сполуки первісної суміші. Повторюючи багато раз процеси випару й конденсації, можна майже повністю розділити суміш на чисті складові частини.

Процес перегонки рідких сумішей заснований на тому, що рідини, що становлять суміш, мають різну летючість, тобто при одній і тій же температурі мають різну пружність пар.

Склад пари, а, отже, і склад рідини, що виходить при конденсації пари, буде трохи відрізнятися від сполуки початкової суміші; легколетучого компонента в парі буде втримуватися більше, чим у рідині, що переганяється.

Перегонці піддають розчини, у яких розчинник і розчинена речовину мають летючість, внаслідок чого в пару перетворюються одночасно й розчинник і розчинена речовина в кількостях, що відповідають їхньої летючості. При перегонці відбувається повне або частковий поділ розчину на складові його компонента, причому в більшості випадків кінцевими продуктами є й відгін (дистилят) і залишок, що не перетворився в пару.

Застосовувані способи перегонки можуть бути в основному розбиті на дві групи:

- 1) проста перегонка, включаючи перегонку під вакуумом, перегонку з водяною парою й сублімацію (сублімацію);
- 2) ректифікація.

Проста перегонка застосовується для поділу сумішей, що виявляють собою легколетюча речовина зі змістом домішки нелетючих або досить труднолетючих речовин.

1.2 Принцип і процес ректифікації

Ректифікація – широко розповсюджений спосіб найбільш повного поділу сумішей летучих рідин, частково або цілком розчинних друг у другові. Ректифікація являє собою перегонку, яка супроводжується взаємодією пар, що піднімаються, зі стікаючої їм назустріч рідиною (флегмою), отриманої при частковій конденсації пар.

Принцип ректифікації. Найпростішими способами перегонки рідких сумішей, як це вказувалося вище, є: 1) часткове випаровування рідини й конденсація отриманих пар з відводом конденсату (проста перегонка) і 2) часткова конденсація пар суміші, що переганяється, з відводом конденсату (проста конденсація). Кожний із цих процесів окремо не приводить до одержання досить чистих продуктів, але, здійснюючи обоє ці процесу одночасно й багаторазово в протivotочних колонах, можна досягти поділу рідкої суміші на чист, що становлять суміш компонента. Такий процес поділу рідких сумішей за допомогою одночасно й багаторазово повторюваних часткових випаровувань і конденсацій називають ректифікацією.

Процес ректифікації здійснюється в противоточних апаратах-колонах: пари рідини, що переганяється, протікають знизу нагору, назустріч парам зверху вниз протікає рідина, що подавати у верхній елемент колони. Між рідкої й паровий фазами виникає масообмін, внаслідок якого пари в міру їх просування по колоні збагачуються легколетучим компонентом, а рідина – менш летучим компонентом. В остаточному підсумку пар, що виходить із верхньої частини колони, являє собою більш-менш чистий легколетучий компонент, конденсація якого дає готовий продукт-дистилят, а з нижньої частини колони випливає порівняно чистий менш летучий компонент, так званий кубовий залишок, який, так само, як і дистилят, може бути кінцевим продуктом перегонки.

Рідина, що надходить на зрошення колони, називають флегмою; її одержують шляхом конденсації пар, що піднімаються з верхньої частини колони, у спеціальних конденсаторах-дефлегматорах. Для утвору пар нижній елемент колони постачають, що гріють пристосуваннями у вигляді змійовиків або трубчаток, у які й підводять необхідна кількість тепла, у більшості випадків з водяною парою, що гріє.

Ступінь поділу рідкої суміші на складові її компонента й чистота одержуваних дистиляту й кубового залишку залежать від того, наскільки розвинена поверхня фазового контакту, а останнє визначається кількістю зрошуваної рідини-флегми й конструктивним оформленням апарата.

2 Опис технологічної схеми та конструкції обладнання

2.1 Опис технологічної схеми та конструкції колони

Колона ректифікації та підігрівник вихідної суміші є складовими частинами апаратурного оформлення процесу ректифікації. Вони відносяться до основного обладнання. Технологічна схема ректифікаційної установки представлена на (рис 1).

До її складу входять:

- колона **КР**;
- ємності **Е1, Е2, Е3**;
- насоси **Н1, Н2, Н3**;
- підігрівник вихідної суміші **П**;
- холодильники **Х1 і Х2**;
- кип'ятильник **К**;
- дефлегматор **Д**.

Установка працює наступним чином:

Вихідна суміш із проміжної ємності **Е1** відцентровими насосами **Н1** і **Н2** подається в теплообмінник **П**, де вона підігрівається до температури кипіння. Нагріта суміш надходить на розділення у середину ректифікаційної колони **КР** на тарілку живлення, де сполука рідини дорівнює сполуці вихідної суміші.

Стікаючи вниз по колоні, рідина взаємодіє з паром, що піднімається нагору та утворюються при кипінні кубової рідини в кип'ятильнику **К**.

Початкова сполука пари приблизно дорівнює сполуці кубового залишку, тобто збіднений легколетучим компонентом. У результаті масообміну з рідиною пар збагачується легколетучим компонентом. Для більш повного збагачення верхню частину колони зрошують відповідно до заданого флегмовим числом рідиною (флегмою), одержуваною в дефлегматорі Д шляхом конденсації пари, що виходить із колони. Частина конденсату виводиться з дефлегматора у вигляді готового продукту поділу – дистилляту, який проохолоджується в теплообміннику X2 і направляється в проміжну ємність E3.

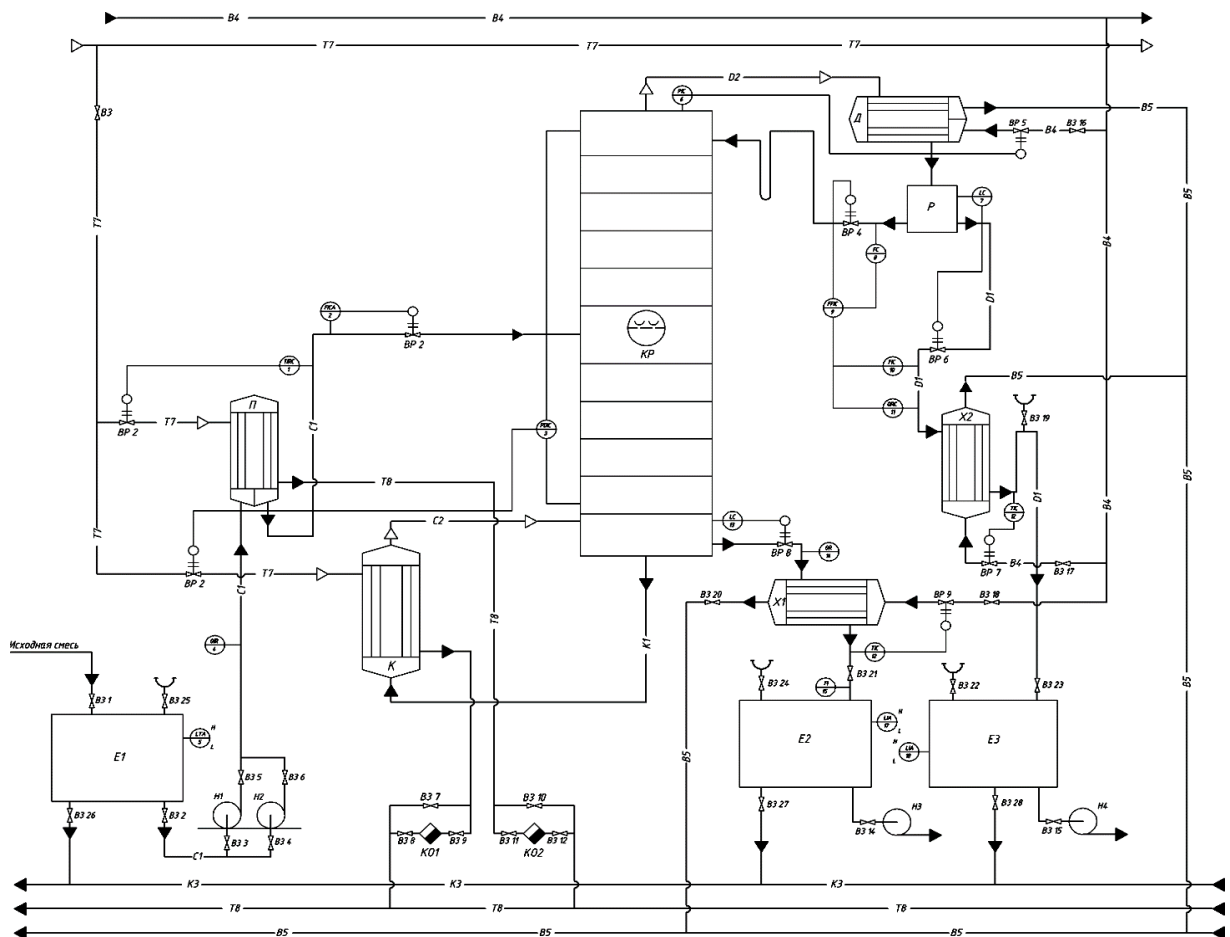


Рисунок 2.1 – Схема ректифікаційної установки.

З кубової частини колони насосом **НЗ** безупинно виводиться кубова рідина – продукт, збагачений важколетучим компонентом, який проохолоджується в теплообміннику **Х1** і направляється в ємність **Е2**.

Таким чином, у ректифікаційній колоні здійснюється безперервний процес поділу вихідної бінарної суміші на дистилат (з високим змістом легколетучего компонента) і кубовий залишок (збагачений важколетучим компонентом).

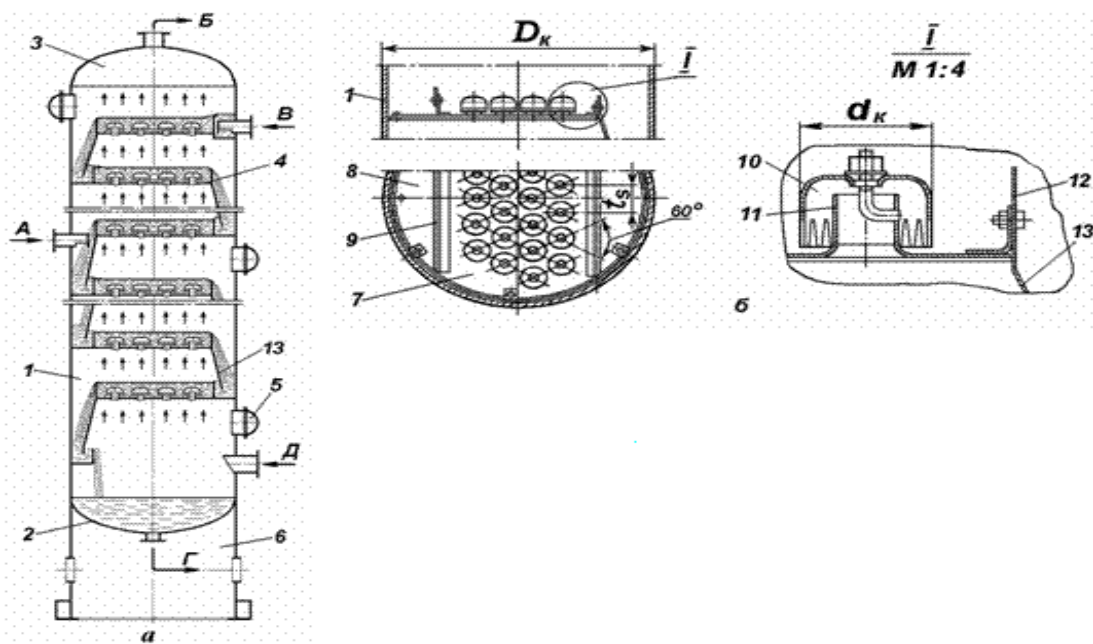


Рисунок 2.2 – Колона ректифікаційна з ковпачковими тарілками.

а - будова колони; б - будова тарілки ковпачкової із сегментними переливами.

Потоки: А - подача вихідної суміші; Б - відведення пари; В - подача флегми; Г - відведення кубової рідини; Д - подача пари з випарника.

1 - корпус колони; 2 - днище; 3 - кришка; 4 - тарілка ковпачкова із сегментними переливами; 5 - люк - лаз; 6 – опора.

Колона з ковпачковими тарілками (рис.2) призначена для розділення суміші ацетон-вода продуктивністю 7,2 т/год по вихідній суміші.

Колона із ковпачковими тарілками являє собою вертикальний циліндричний корпус, що виготовляється суцільнозварним або зібраним з окремих царг. У корпусі на певній відстані одна від іншої встановлюють багатоковпачкові тарілки переливного типу, відстань між тарілками визначається залежно від технологічних параметрів роботи і діаметра колони. Люки-лази для огляду і ремонту тарілок звичайно встановлюють при відстані між тарілками не менш ніж 500 мм, при цьому один люк може бути встановлений в розрахунку на обслуговування декількох тарілок.

Тарілка являє собою круглий диск (для колон діаметром до 1 м), на якій у шаховому порядку укріплені парові патрубки, закриті зверху капсульними або тунельними ковпачками.

Базою тарілки є металеве полотно 7 товщиною 2-5 мм, на якому в певному порядку встановлюють газові (парові) патрубки 11. Парові патрубки на тарілці розташовують переважно в шаховому порядку, діаметри парових патрубків змінюються в інтервалі 50, 70, 80 і 100 мм та їх вибирають за стандартом.

Для ковпачкових тарілок живий перетин парових патрубків звичайно вибирають у межах 10-20 % від площі поперечного перерізу колони, площа поперечного перерізу ковпачка дорівнює подвоєній площі парового патрубка. Над паровими патрубками встановлюють індивідуально або групою капсульні ковпачки і закріплюють їх на відстані 5-10 мм від полотна тарілки. Нижня крайка капсульних ковпачків має прорізи трикутної, прямокутної або трапецієподібної форми висотою 20-30 мм. При роботі колони прорізи ковпачків повинні бути повністю занурені в рідину на

глибину 10-20 мм нижче рівня рідини на тарілці, що забезпечує диспергування потоку газу і барботування його через шар рідини.

На тарілці організована прийомна кишеня 8, в яку надходить рідина з вищерозміщеної тарілки, площа переливної кишені обмежена переливною планкою 9. Із протилежної сторони тарілки встановлюють зливальну планку 12, висота якої регулюється залежно від рівня шару світлої рідини на тарілці.

При струминному і пінному режимах барботажу на тарілці утворюється шар піни, у якому відбувається інтенсивний масоперенос речовини з газової фази в рідку. У нормальному режимі роботи ковпачкових тарілок звичайно висота шару піни, утвореної над верхнім зрізом ковпачків, становить 2-3 висоти шару світлої рідини на тарілці.

При подальшому підвищенні швидкості газу відбувається повне відкриття прорізів і виникає інжекційний режим роботи тарілки, струмені газу прориваються через шар рідини і піни, при цьому відбувається різке зниження інтенсивності взаємодії фаз на тарілці.

Основними перевагами масообмінних колон з ковпачковими тарілками є порівняно високий ККД у широкому діапазоні навантажень щодо газової (парової) фази, можливість роботи із забрудненими рідинами, порівняно невисокий гідравлічний опір колони (не більше 1 кПа).

Основними недоліками колон з ковпачковими тарілками є висока металоємність, більші трудовитрати при виготовленні, монтажі і ремонті тарілок, відносно високий гідравлічний опір.

2.2 Опис конструкції підігрівача

Апарати, призначені для проведення теплообмінних процесів, називають теплообмінними. Ці апарати мають різноманітне конструктивне оформлення, яке залежить від характеру процесів, котрі протікають в них та умов їхнього проведення. Умови проведення процесів теплообміну в промислових апаратах надзвичайно різноманітні. Їх застосовують для робочих середовищ із різним агрегатним станом у широкому діапазоні тисків, температур та фізико-хімічних властивостей.

Передача тепла в теплообмінних апаратах здійснюється від середовища, що має більш високу температуру, до середовища з більш низькою температурою. Рушійною силою процесу теплообміну є різниця температур середовищ.

Кожухотрубчастий теплообмінник з нерухомими трубними решітками та апарати вертикальний (рис.3) складаються з трубного пучка 1, фланців. Апарат обладнується штуцерами для підведення та відведення робочих середовищ, розподільчальної камери 2, які з'єднуються між собою за допомогою нарізними пробками або штуцерами для спорожнення трубного та міжтрубного просторів, а також штуцерами-повітряниками, які встановлюються в нижніх та верхніх точках відповідних порожнин. Штуцери для введення та виведення середовищ повинні мати відповідні фланці.

Апарати з температурним компенсатором на кожусі обладнуються лінзовим компенсатором, призначеним для зниження температурних напружин, що виникають в трубах та кожусі в робочих умовах. Вертикальні апарати встановлюються на опорних лапах .

Початкова суміш з ємкості насосом подається в підігрівач. У підігрівачі початкова суміш нагрівається до температури кипіння і подається в середню

частину колони ректифікації, що безперервно діє, що має контактні массообменные пристрої для взаємодії пари і стікаючої рідини.

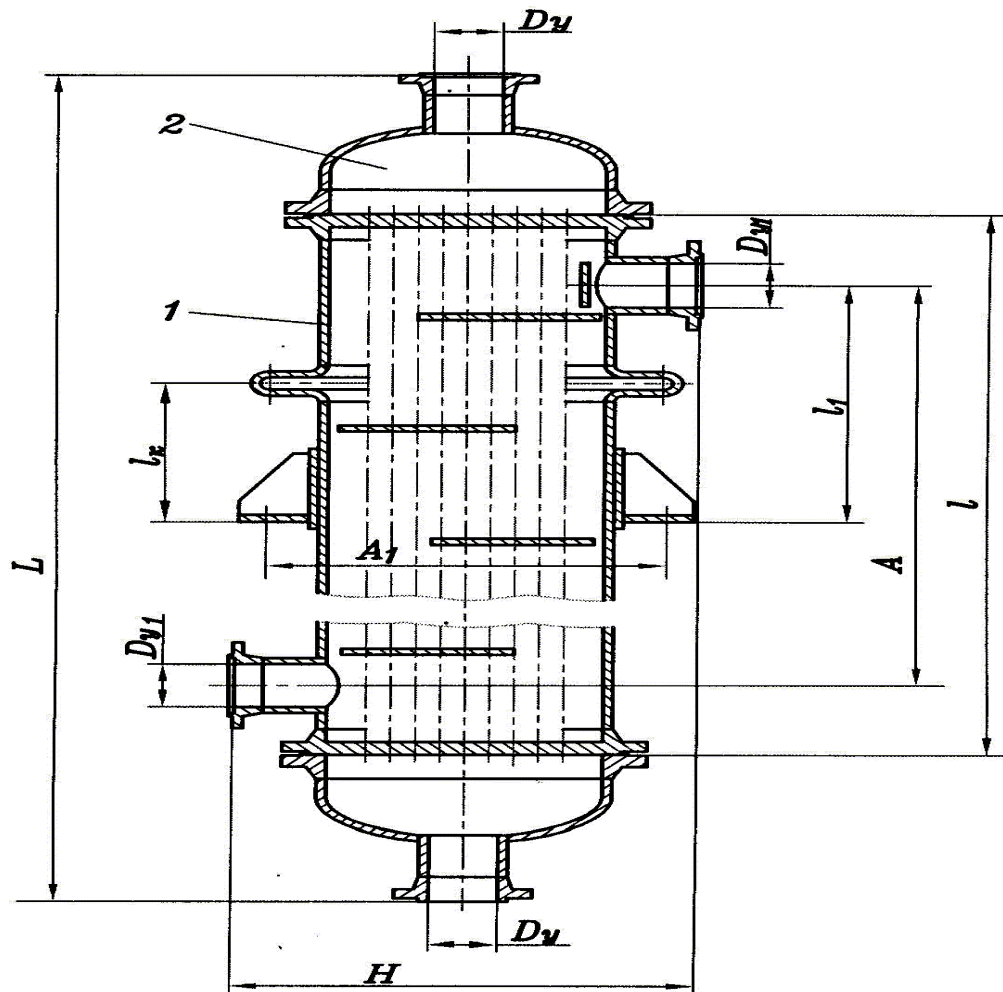


Рисунок 2.3 – Кожухотрубчастий теплообмінний апарат (підігрівач).

Проектування кожухотрубчастих теплообмінних апаратів включає вибір відповідних конструктивних елементів, котрі забезпечують теплогідравлічні характеристики, які задовольняють вимогам міцності та експлуатації. Оскільки ідеальне сполучення всіх факторів практично неможливе, виникає необхідність у компромісному рішенні. Разом з тим задача проектування

сучасних кожухотрубчастих теплообмінних апаратів значно полегшується завдяки наявності діючої у хімічному машинобудуванні детально розробленої нормативно-технічної документації даного питання.

3 Конструкційні матеріали для виготовлення підігрівача

Враховуючи широкий діапазон тисків та температур робочих середовищ, а також різноманітність їхніх властивостей, до сучасних теплообмінних апаратів пред'являються такі основні вимоги:

Конструкція апарата має бути технологічною, надійною протягом передбаченого технічною документацією строку служби, забезпечувати безпеку при виготовленні, монтажі та експлуатації, передбачати можливість огляду (у тому числі внутрішньої поверхні), очистки, промивки, продувки та ремонту, а також забезпечувати можливість термообробки, передбаченої креслеником;

Застосування конкретного типорозміру апарата повинно забезпечувати передачу потрібної кількості тепла від одного середовища до іншого з отриманням необхідних кінцевих температур кожного робочого середовища при заданому рівні гідравлічних опорів.

Основні елементи кожухотрубчатих теплообмінних апаратів: кожух (корпус), розподільна камера й трубний пучок. Останній складається із труб, трубних решіток і перегородок. Елементи сталевих кожухотрубчатих апаратів виготовляють зі сталі. Зі сталі можна виконувати й деякі елементи мідних (ГОСТ 11971 77) апаратів, наприклад кожух.

Для кожного типу сталевих кожухо-трубчатих апаратів у залежності від їх призначення матеріали регламентовано відповідними ГОСТами.

Для виготовлення окремих вузлів та деталей кожухотрубчастих теплообмінників застосовуються різні марки вуглецевих, низьколегованих, корозійностійких сталей, двошарові сталі, титан та кольорові метали (латунні теплообмінні труби). Вибір матеріалу залежить від розрахункових тисків та

температур, а також від корозійних властивостей робочих середовищ у відповідних порожнинах теплообмінників.

Згідно наших умов маємо такі показники матеріалів для виготовлення теплообмінника: в якості конструкційного матеріалу для основних деталей апарата таких як: кожух, фланці апаратні, фланці штуцерів трубного простору та фланці штуцерів кожуха вибираємо сталь Ст3. Сталь 10, яка використовується для виготовлення деталей хімічної апаратури при роботі з середовищами при температурах від 10 до 400 С, підходить для виготовлення труби. Трубні решітки виготовляються з матеріалу 16ГС.

4 Визначення основних розмірів колони та підігрівача

4.1 Розрахунки тарілчастої ректифікаційної колони для розділення суміші ацетон-вода продуктивністю 7,2 т/год по вихідній суміші

4.1.1 Вихідні дані

| | | |
|-----------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| Продуктивність за | вихідній суміші | - 7,2 т/год. |
| Концентрація ацетону: | | |
| | у вихідній суміші | - $a_F = 65\%$ (мас.), |
| | в дистилляті | - $a_D = 99\%$ (мас.), |
| | в кубовому залишку | - $a_W = 11,1\%$ (мас.). |
| Температура: | | |
| | охолоджуючої води | - 11 °С, |
| | дистилляту після холодильника | - 26 °С, |
| | кубового залишку після холодильника | - 27 °С, |
| | вихідної суміші | - 22 °С. |
| Тиск насиченої водяної пари | | - 5 кгс/см. |
| Коефіцієнт надлишку флегми | | - 5. |
| Молярні маси: | | |
| | ацетону | - 58,08 г/моль, |
| | води | - 18 г/моль. |

Температури кипіння:

ацетону - 56 °С,

води - 100,0 °С.

Швидкість руху пару по колоні - 0,875 м/с.

ККД тарілки - 0,6.

Відстань між тарілками - 500 мм.

Діаметр ковпачка - 100 мм.

Колона працює під атмосферним тиском.

Вихідна суміш і флегма вводяться в апарат при температурі кипіння.

4.1.2 Визначення продуктивності за вихідною сумішшю і кубовим залишком

Продуктивність колони за вихідною сумішшю визначаємо за формулою:

$$G_p = \frac{\alpha_F - \alpha_W}{\alpha_P - \alpha_W} = 7200 \cdot \frac{0,65 - 0,111}{0,99 - 0,111} = 4571,02 \text{ кг/Г} = 1,269 \text{ кг/с.}$$

Продуктивність колони за кубовим залишком визначаємо з рівняння:

$$G_W = G_F - G_P = 7200 - 4571,02 = 2628,98 \text{ кг/Г} = 0,73 \text{ кг/с.}$$

Перевірка:

$$7200 \cdot 0,65 = 4571,02 \cdot 0,96 + 2628,98 \cdot 0,111$$

$$4680 = 4388,179 + 291,816$$

$$4680 = 4680$$

4.1.3 Визначення мінімального і дійсного флегмового числа

Перераховуємо масові концентрації в мольні за формулою:

$$X = \frac{\frac{\alpha}{M_A}}{\frac{\alpha}{M_A} + \frac{1-\alpha}{M_B}}, \quad (4.1)$$

де:

X – концентрація низькокиплячого компонента A в бінарній суміші, мол.долі;

α - зміст низькокиплячого компонента A ;

M_A, M_B - молярна маса компонента A і B (відповідно). M_A - молярна маса ацетону 58,08 кг/к моль.

M_B – молярна маса води 18 кг/к моль.

тоді:

концентрація вихідної суміші:

$$X_F = \frac{\frac{\alpha_F}{M_A}}{\frac{\alpha_F}{M_A} + \frac{1-\alpha_F}{M_B}} = \frac{\frac{0,65}{58,08}}{\frac{0,65}{58,08} + \frac{1-0,65}{18}} = 0,36 ;$$

дистиляту:

$$X_P = \frac{\frac{\alpha_P}{M_A}}{\frac{\alpha_P}{M_A} + \frac{1-\alpha_P}{M_B}} = \frac{\frac{0,99}{58,08}}{\frac{0,99}{58,08} + \frac{1-0,99}{18}} = 0,894 ;$$

кубового залишку:

$$X_W = \frac{\frac{\alpha_W}{M_A}}{\frac{\alpha_W}{M_A} + \frac{1-\alpha_W}{M_B}} = \frac{\frac{0,111}{58,08}}{\frac{0,111}{58,08} + \frac{1-0,111}{18}} = 0,035 ;$$

Мінімальна флегмове число визначаємо графо-аналітичним способом. Для цього, на підставі досвідчених даних, в координатах у-х будуємо криву рівноваги для суміші ацетон-вода при атмосферному тиску (рис.1) і криву температур кипіння і конденсації (рис.2).

На діаграмі з точки 1($x_p = y_p$) через точку 2'(x_f, y_f) проводимо пряму лінію до перетину з віссю у. Відрізок, відсікається на осі у позначимо через $V_{\max} = 0,8$.

За величиною цього відрізка знаходимо мінімальне флегмове число:

$$R_{\min} = \frac{X_P}{R_{\min}} - 1 = \frac{0,894}{0,8} - 1 = 0,117 ;$$

Дійсне флегмове число:

$$R = K_r \cdot R_{\min} = 5 \cdot 0,117 = 0,585 ;$$

На діаграмі у-х наносимо лінії робочих концентрацій (робочі лінії) для оптимального флегмового числа $R = 1,17$ (рис.1).

Таблиця 4.1– Рівноважні дані для суміші ацетон-вода.

| Вміст ацетону, мол.% в рідині (x) | Вміст ацетону, мол.% в парі (y) | Температура кипіння, t, °C |
|--------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| 0 | 0 | 100 |
| 5 | 60,3 | 77,9 |
| 10 | 72 | 69,6 |
| 20 | 80,3 | 64,5 |
| 30 | 82,7 | 62,6 |
| 40 | 84,2 | 61,6 |
| 50 | 85,5 | 60,7 |
| 60 | 86,9 | 59,8 |
| 70 | 88,2 | 59 |
| 80 | 90,4 | 58,2 |
| 90 | 94,3 | 57,5 |
| 100 | 100 | 56,1 |

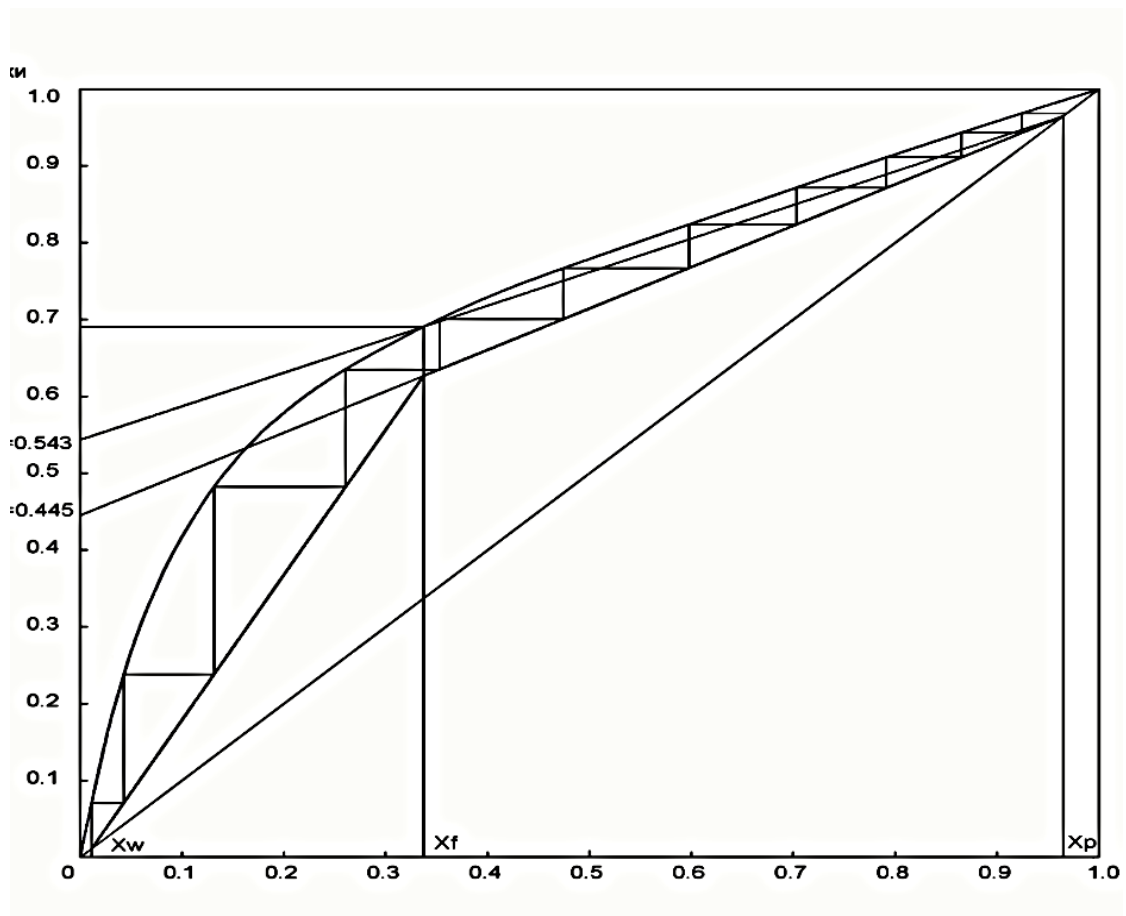


Рисунок 4.1 – Крива рівноваги для суміші ацетон-вода.

Для цього на осі y відкладаємо відрізок $B = \frac{x_P}{R+1} = \frac{0,894}{0,585+1} = 0,564$,

кінець якого з'єднуємо прямою з точкою $(x_P = y_P)$; точку перетину цієї прямої з вертикальною лінією, проведеної з абсциси x_F , і точку (x_F, y_F) з'єднуємо з точкою $(x_W = y_W)$. Отримані лінії є робочими лініями для верхньої і нижньої частин колони, відповідно.

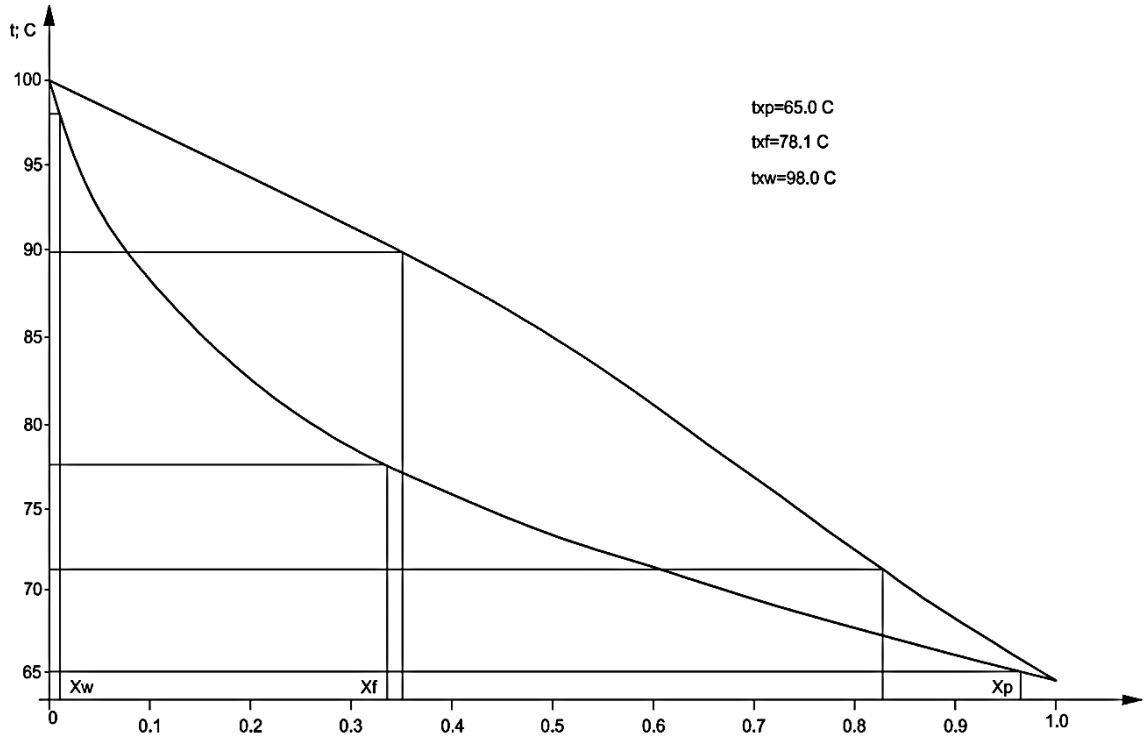


Рисунок 4.2 – Крива температур кипіння і конденсації.

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

Рідка фаза.

Середня мольна концентрація в нижній частині колони:

$$X_{\text{сеп}}^{\text{H}} = \frac{X_W + X_P}{2} = \frac{0,035 + 0,36}{2} = 0,197 .$$

Середня мольна концентрація у верхній частині колони:

$$X_{\text{сеп}}^{\text{B}} = \frac{X_F + X_P}{2} = \frac{0,36 + 0,894}{2} = 0,627 .$$

Середня мольна концентрація по колоні:

$$X_{\text{сеп}} = \frac{X_{\text{сеп}}^{\text{H}} + X_{\text{сеп}}^{\text{B}}}{2} = \frac{0,197 + 0,627}{2} = 0,412 .$$

Середня масова концентрація по колоні:

$$\alpha_{\text{ср}} = \frac{x_{\text{ср}} \cdot M_A}{x_{\text{ср}} \cdot M_A + (1 - x_{\text{ср}}) \cdot M_B} , \quad (4.2)$$

$$\alpha_{\text{сеп}} = \frac{0,412 \cdot 58,08}{0,412 \cdot 58,08 + (1 - 0,412) \cdot 18} = 0,693 .$$

Середня температура в нижній частині колони:

$$t_{\text{x сеп}}^{\text{H}} = \frac{t_{\text{xW}} + t_{\text{xP}}}{2} = \frac{85 + 61}{2} = 73 \text{ } ^\circ\text{C} .$$

Середня температура у верхній частині колони:

$$t_{\text{x сеп}}^{\text{B}} = \frac{t_{\text{xP}} + t_{\text{xF}}}{2} = \frac{61 + 67}{2} = 64 \text{ } ^\circ\text{C} .$$

$$t_{\text{x сеп}} = \frac{t_{\text{сеп}}^{\text{H}} + t_{\text{сеп}}^{\text{B}}}{2} = \frac{73 + 64}{2} = 68,5 \text{ } ^\circ\text{C} .$$

Значення t_{xW} , t_{xP} , t_{xP} взяті з діаграми $t - x$, у (рис. 2).

Середня молярна маса:

$$M_{\text{x ср}} = M_A \cdot X_{\text{ср}} + M_B \cdot (1 - X_{\text{ср}}),$$

$$M_{x \text{ ср}} = 58,08 + 0,412 + 18 \cdot (1 - 0,412) = 34,512 \text{ кг/моль}$$

Середня густина визначається по формулі:

$$\rho_{x \text{ ср}} = \frac{\rho_A \cdot \rho_B}{\rho_B \cdot \alpha_{\text{ср}} + \rho_A (1 - \alpha_{\text{ср}})} \quad (4.3)$$

де ρ_A и ρ_B – густина компонентів А і В при температурі $t_{x \text{ ср}}$.

$$\rho_A = 734,5 \text{ кг/м}^3 ; \rho_B = 978,3 \text{ кг/м}^3 ; \text{ при } t_{x \text{ ср}} = 68,5 \text{ }^\circ\text{C} .$$

$$\rho_{x \text{ ср}} = \frac{734,5 \cdot 978,3}{978,3 \cdot 0,693 + 734,5 \cdot (1 - 0,693)} = 795,35 \text{ кг/м}^3 .$$

Середнє значення поверхневого натягу визначається за рівнянням:

$$\sigma_{x \text{ ср}} = \sigma_A \cdot X_{\text{ср}} + \sigma_B \cdot (1 - X_{\text{ср}}),$$

де σ_A и σ_B – поверхневі натяги компонентів А і В, н/м.

Поверхневий натяг при $t_{x \text{ ср}} = 68,5 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$\sigma_A = 17,58 \cdot 10^{-3} \text{ н/м}, \quad \sigma_B = 64,67 \cdot 10^{-3} \text{ н/м}.$$

$$\sigma_{x \text{ ср}} = 17,58 \cdot 10^{-3} \cdot 0,412 + 64,67 \cdot 10^{-3} \cdot (1 - 0,412) = 45,23 \cdot 10^{-3} \text{ н/м}$$

Парова фаза.

Середня мольна концентрація в нижній частині колони:

$$y_{\text{ср}}^{\text{н}} = \frac{y_W + y_F}{2} = \frac{0,035 + 0,36}{2} = 0,197 .$$

Середня мольна концентрація у верхній частині колони:

$$y_{\text{ср}}^{\text{В}} = \frac{y_{\text{F}} + y_{\text{P}}}{2} = \frac{0,36 + 0,894}{2} = 0,627 .$$

Середня мольна концентрація по колоні:

$$y_{\text{ср}} = \frac{y_{\text{ср}}^{\text{H}} + y_{\text{ср}}^{\text{В}}}{2} = \frac{0,197 + 0,627}{2} = 0,412 .$$

Середня температура в нижній та верхній частинах колоні знаходимо з діаграми $t - x$ (рис. 2):

Середня температура в нижній частині колоні: $t_{y_{\text{ср}}}^{\text{H}} = 65 \text{ } ^\circ\text{C}$;

Середня температура у верхній частині колоні: $t_{y_{\text{ср}}}^{\text{В}} = 94 \text{ } ^\circ\text{C}$;

Середня температура по колоні:

$$t_{y_{\text{ср}}} = \frac{t_{y_{\text{ср}}}^{\text{H}} + t_{y_{\text{ср}}}^{\text{В}}}{2} = \frac{65 + 94}{2} = 79,5 \text{ } ^\circ\text{C} .$$

Середня мольна маса:

$$M_{y_{\text{ср}}} = M_{\text{A}} \cdot y_{\text{ср}} + M_{\text{B}} \cdot (1 - y_{\text{ср}}); \quad (4.4)$$

$$M_{y_{\text{ср}}} = 58 \cdot 0,412 + 18 \cdot (1 - 0,412) = 34,48 \text{ кг/моль} .$$

Середня густина:

$$\rho_{y_{\text{ср}}} = \frac{M_{y_{\text{ср}}}}{22,4} \cdot \frac{P}{P_0} \cdot \frac{T_0}{T} , \quad (4.5)$$

де $T = 273 + t_{y_{\text{ср}}} \text{ } ^\circ\text{C}$; $P = 1 \text{ кгс/см}^2$ (тиск в колоні атмосферний).

$$\rho_{y_{\text{ср}}} = \frac{34,48}{22,4} \cdot \frac{1}{1,033} \cdot \frac{273}{(273 + 79,5)} = 1,15 \text{ кг/м}^3 .$$

4.1.5 Визначення діаметру колони

Діаметр колони визначаємо за рівнянням:

$$D = \sqrt{\frac{V_y}{0,785 \cdot W}} \quad (4.6)$$

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

$$V_y = \frac{G_y}{\rho_{y \text{ сер}}} = \frac{G_P \cdot (R+1)}{\rho_{y \text{ сер}}} = \frac{4571,02 \cdot (0,585+1)}{1,15 \cdot 3600} = 1,75 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Тоді діаметр колони:

$$D = \sqrt{\frac{1,75}{0,785 \cdot 1,0}} = 1,5 \text{ м}.$$

Приймаємо стандартне значення діаметра колони $D = 1,6 \text{ м}$ і уточнюємо швидкість пару в колоні:

$$W = \frac{V_y}{0,785 \cdot D^2} = \frac{1,75}{0,785 \cdot 1,6^2} = 0,875 \text{ м/с}.$$

4.1.6 Визначення висоти колони

Число дійсних тарілок, яке забезпечує задану чіткість поділу, визначається за формулою:

$$n_{\text{дійсн.}} = \frac{n_{\text{теор.}}}{\text{КПД}_{\text{тарілки}}}; \quad (4.7)$$

де $n_{\text{теор.}}$ - число теоретичних тарілок в колоні. Визначається як число ступенів в межах концентрацій $X_W \div X_P$ на графіку $x-y$ (рис. 1).

В результаті побудови (рис. 1) отримуємо число теоретичних тарілок $n=4$.

$$n_{\text{дійсн.}} = \frac{n_{\text{теор.}}}{\text{КПД}_{\text{тарілки}}} = \frac{4}{0,6} = 6,6 \approx 7, \text{ приймаємо } 7 \text{ шт.}$$

Тоді висота колони:

$$H = (n_d - 1) \cdot h + H_{\text{сеп}} + H_{\text{куб}} = (7-1) \cdot 0,5 + 0,8 + 2 = 5,8 \text{ м.}$$

де h – довжина між тарілками дорівнює 0,5 м.

$H_{\text{сеп}} = 0,8$ $H_{\text{куб}} = 2$, із таблиці 21 відносно діаметру колони.

4.2 Теплові розрахунки підігрівача

Рівняння теплового балансу для підігрівача:

$$Q = 1,05 \cdot G_F \cdot C_F' \cdot (t_{XF} - t_{\text{нач}}) = G_{г.п} \cdot r \quad (4.8)$$

Тут теплові втрати прийняті в розмірі 5% від корисно витрачається теплоти;

t_{XF} - температура кипіння вихідної суміші, $t_{XF} = 67$ °С; $t_{\text{нач}}$ - початкова температура (задана), $t_{\text{нач}} = 22$ °С;

Питома теплоємність вихідної суміші:

$$C_F' = \alpha_F \cdot C_A + (1 - \alpha_F) \cdot C_B, \quad (4.9)$$

де C_A , C_B - питомі теплоємності ацетону і води при середній температурі:

$$t_{XF}^{cp} = \frac{t_{XF} + t_{\text{нач}}}{2} = \frac{67 + 22}{2} = 44,5 \text{ °С}$$

$C_A = 0,54$ к кал/кг°С ; $C_B = 1$ к кал/кг°С.

$$C_F' = 0,65 \cdot 0,54 + (1 - 0,65) \cdot 1 = 0,701 \text{ к кал/кг}^\circ\text{C} = 2935 \text{ Дж/ кг}\cdot\text{K}.$$

$$Q = 1,05 \cdot \frac{7200}{3600} \cdot 2935 \cdot (67 - 22) = 277358 \text{ Вт}$$

Витрата що гріє пара:

$$G_{г.п.} = \frac{Q}{r} = \frac{277358}{2117 \cdot 10^3} = 0,131 \text{ кг/с.}$$

де $r = 2117 \text{ кДж/кг}$, при $P = 5 \text{ кгс/см}^2$.

Середня різниця температур:

$$151,1 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow 151,1 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$22 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow 67 \text{ }^\circ\text{C}$$

Температура насиченої водяної пари при $P = 5 \text{ кгс/см}^2$ становить $151,1 \text{ }^\circ\text{C}$.

Велика різниця температур:

$$\Delta t_б = 151,1 - 22 = 129,1 \text{ }^\circ\text{C};$$

Мала різниця температур:

$$\Delta t_м = 151,1 - 67 = 84,1 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\text{Так як } \frac{\Delta t_б}{\Delta t_м} = \frac{129,1}{84,1} = 1,54 < 2 ,$$

тоді середню різницю температур визначаємо за рівнянням:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_б + \Delta t_м}{2} = \frac{129,1 + 84,1}{2} = 106,6 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Коефіцієнт теплопередачі приймаємо $K = 250 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{K}$;

Поверхня теплообміну підігрівача вихідної суміші:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{cp}} = \frac{277358}{250 \cdot 106,6} = 10,41 \text{ м}^2.$$

Згідно нашим розрахункам приймаємо одноходовой кожухотрубчастий теплообмінник з наступними характеристиками:

- діаметр кожуха 273 мм;
- труба 20 × 2 мм;
- кількість труб в теплообміннику 61 шт;
- довжину труб 3 м;
- поверхню теплообміну 11,5 м².

Згідно всіх умов розрахунків та властивостей приймаємо теплообмінник 273ТНВ-1.6-М1/20-3-1-У ТУ26-02-1105-89.

5 Розрахунки на міцність елементів підігрівача

5.1 Вихідні дані

Тип апарата — теплообмінник ТНВ, ТУ26-02-1105-89.

| | |
|--|---|
| Діаметр кожуха D , мм | 273 |
| Довжина теплообмінних труб l , мм | 3000 |
| Зовнішній діаметр теплообмінної труби d_m , мм | 20 |
| Товщина стінки труби S_m , мм | 2 |
| Число ходів по трубах | 1 |
| Розрахунковий тиск у трубному просторі, МПа | 1,0 |
| Розрахунковий тиск у міжтрубному просторі, МПа | 1,0 |
| Розрахункова температура труб, °С | 129,1 |
| Розрахункова температура кожуха, °С | 151,1 |
| Матеріал кожуха, розподільної камери, кришки | Ст3 |
| Матеріал трубних решіток | 16ГС |
| Матеріал теплообмінних труб | Ст10 |
| Матеріал прокладки кожуха | пароніт |
| Матеріал прокладки розподільної камери | пароніт |
| Середовище в трубному просторі | Вибухопожежобезпеч не, 4 класу небезпеки |
| Середовище в міжтрубному просторі | Вибухопожежонебезпеч не, 2 класу небезпеки |

Теплообмінник 273ТНВ-1.6-М1/20-3-1-У ТУ26-02-1105-89.

5.2 Розрахунки на міцність підігрівача

Розрахункова температура.

Розрахункова температура розподільної камери:

$$t_{\text{кам}} = 2 t_m - t_k \quad (5.1)$$

$$t_{\text{кам}} = 2 \cdot 129,1 - 151,1 = 107,1 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Розрахункова температура ізолюваних фланців:

$$t_\phi = t_k$$

де t_k – розрахункова температура апарата, $^\circ\text{C}$.

Розрахункову температуру ізолюваних апаратних фланців і фланців штуцерів розподільної камери підігрівача приймаємо рівній температурі розподільної камери, тобто:

$$t_\phi = t_{\text{кам}} = 107,1 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Розрахункову температуру ізолюваних фланців штуцерів кожуха ухвалюємо рівній температурі середовища міжтрубного простору, тобто:

$$t_\phi = t_k = 151,1 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Розрахункова температура болтів ізолюваних фланцевих з'єднань:

$$t_\phi = 0,97 \cdot t$$

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

$$t_\phi = 0,97 \cdot t_{\text{кам}} = 0,97 \cdot 107,1 = 104 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Розрахункова температура болтів фланцевих з'єднань штуцерів міжтрубного простору:

$$t_6 = 0,97 \cdot t_k = 0,97 \cdot 151,1 = 146,5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Допустиме напруження.

Допустимі напруги при розрахунковій температурі $[\sigma]$ і при температурі 20°C $[\sigma]_{20}$, МПа, для матеріалів елементів апарата наведено в таблиці.

Пробний тиск, при якому проводиться випробування апарату, визначаємо по формулі:

$$P = 1,25 \cdot P_m \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} \quad (5.2)$$

Відношення $[\sigma]_{20}/[\sigma]$ ухвалюємо по тим з використаних матеріалів елементів кожної порожнини апарата, для яких воно є найменшим.

Для трубного простору при мінімальному відношенні допустимих напружень $[\sigma]_{20}/[\sigma] = 1,016$ пробний тиск становить:

$$P_{пр.м} = 1,25 \cdot P_m \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,25 \cdot 1 \cdot 1,016 = 1,28 \text{ МПа}$$

Гідростатичний тиск при випробуванні трубного простору підігрівача становить:

$$P_{г.тр} = \rho_g \cdot g \cdot H_T \cdot 10^{-6}, \quad (5.3)$$

де $H_T = 0,726\text{м}$ - висота стовпа води в трубному просторі.

$$P_{г.тр} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,726 \cdot 10^{-6} = 0,007 \text{ МПа}$$

Гідростатичний тиск при випробуванні трубного простору:

$$P_{гтр} = 0,007 \text{ МПа} < 0,05 P_{прт} = 0,05 \cdot 1,28 = 0,064 \text{ МПа}$$

становить менш 5% від пробного, тому за розрахунковий тиск в умовах випробувань ухвалюємо пробне

$$P_{ит} = P_{прт} = 1,28 \text{ МПа}$$

Умова:

$$P_{умр} = 1,28 \text{ МПа} \leq 1,35 \cdot P_m \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,35 \cdot 1 \cdot 1,016 = 1,38 \text{ МПа}$$

виконується, тому розрахунки елементів трубного простору в умовах гідравлічних випробувань проводити не потрібно.

Для міжтрубного простору (кожуха) при відношенні допустимих напружень $[\sigma]_{20}/[\sigma] = 1,09$ пробний тиск становить:

$$P_{прк} = 1,25 \cdot P_k \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]}$$

$$P_{прк} = 1,25 \cdot 1 \cdot 1,019 = 1,3 \text{ МПа}$$

Гідростатичний тиск при випробуванні міжтрубного простору знаходимо за формулою (5.3), де $H_k = 0,726 \text{ м}$:

$$P_{зк} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,726 \cdot 10^{-6} = 0,007 \text{ МПа}$$

$$P_{гк} = 0,007 \text{ МПа} < 0,05 \cdot 1,3 = 0,065 \text{ МПа}$$

$$P_{ик} = P_{прк} = 1,3 \text{ МПа}$$

Таблиця 5.1 – Допустимі напруження матеріалів елементів підігрівача.

| Елементи апарата | Матеріал | Допустимі напруження, МПа | | Відношення допустимих напружень |
|---|----------|--|--------------------------------------|---------------------------------------|
| | | при температурі 20 °С, $[\sigma]_{20}$ | при розрахунковій температурі, | |
| Кожух | Ст3 | 154 | 151 | 1,019 |
| Трубні решітки | 16ГС | 196 | 191 | 1,026 |
| Труби | Ст10 | 130 | 127,5 | 1,016 |
| Фланці апаратні | Ст3 | 154 | 152,5 | 1,009 |
| Фланці штуцерів трубного простору | Ст3 | 154 | 152,5 | 1,009 |
| Фланці штуцерів кожуха | Ст3 | 154 | 151 | 1,019 |
| Болти й гайки апаратних фланців і штуцерів трубного простору | 35 | 130 | 129 | 1,008 |
| Болти й гайки фланцевих з'єднань штуцерів кожуха | 35 | 130 | 127,5 | 1,017 |

Умова:

$$P_{ук} = 1,3 \text{ МПа} \leq 1,35 \cdot P_{к.} \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,35 \cdot 1 \cdot 1,019 = 1,4 \text{ МПа}$$

виконується, тому розрахунки елементів міжтрубного простору в умовах гідравлічних випробувань проводити не потрібно.

Коефіцієнти міцності зварених швів.

Трубний простір підігрівача по розрахунковому тискові, температурі і характеру робочого середовища відносяться до 4 групи судин, для яких довжина контрольованих швів становить не менш 25 % від їхньої загальної довжини. Для стикових швів із двостороннім суцільним проваром, виконаних автоматичним зварюванням коефіцієнт міцності зварених швів ухвалюємо рівним $\varphi_p = 0,9$.

Міжтрубний простір підігрівача по розрахунковому тискові, температурі і характеру робочого середовища відносяться до 1 групи судин, для яких довжина контрольованих швів становить не менш 100 % від їхньої загальної довжини. Для стикових швів із двостороннім суцільним проваром, виконаних автоматичним зварюванням коефіцієнт міцності зварених швів ухвалюємо рівним $\varphi_p = 1$.

Для стикових (кільцевих) швів, які доступні зварюванню лише з однієї сторони і мають у процесі зварювання металеву підкладку з боку кореня шва, яка прилягає по всій довжині шва до основного металу, при контрольованій довжині швів 100 %, коефіцієнт міцності зварених кільцевих швів кожуха ухвалюємо рівним $\varphi_t = 0,8$.

Добавки до розрахункових величин.

Суми добавок до розрахункових величин визначаємо по формулі:

$$C = C_1 + C_2, \quad (5.4)$$

де C_1 - добавка для компенсації корозії і ерозії, мм;

C_2 - добавка для компенсації мінусового допуску, мм.

Добавку для компенсації корозії і ерозії C_1 розраховуємо по формулі:

$$C_1 = \Pi \cdot \tau + C_3, \quad (5.5)$$

де Π - швидкість проникнення корозії;

$\tau = 10$ років - розрахунковий термін служби дефлегматора;

C_3 - добавка для компенсації ерозії, мм.

Добавку для компенсації ерозії не враховуємо, ухвалюючи, що підігрівач працює із чистими рідкими середовищами (без твердих абразивних часток).

Швидкість проникнення корозії для матеріалу міжтрубного простору ухвалюємо $\Pi_k = 0,05$ мм/рік, а трубного - $\Pi_T = 0$ мм/рік.

Добавка для компенсації корозії становить:

- для труб з боку трубного і міжтрубного просторів

$$C_{1T} = 0 \text{ мм}$$

- для кожуха

$$C_{1k} = \Pi_k \cdot \tau = 0,05 \cdot 10 = 0,5 \text{ мм}$$

Добавку для компенсації мінусового допуску C_2 , мм, ухвалюємо по стандарту.

5.3 Розрахунки кожуха підігрівача

Розрахункову товщину стінки кожуха від дії внутрішнього тиску визначаємо по формулі:

$$S_{pk} = \frac{P_k \cdot D}{2 \cdot [\sigma]_k \cdot \varphi_p - P_k} \quad (5.6)$$

де P_k – розрахунковий тиск у міжтрубном просторі підігрівача при розрахунковій температурі, МПа;

$D = 273$ мм - внутрішній діаметр обичайки кожуха, мм;

φ_p - коефіцієнт міцності поздовжніх зварених швів.

$$S_{pk} = \frac{1 \cdot 273}{2 \cdot 151 \cdot 1 - 1} = 1 \text{ мм}$$

Відповідно стандарту виконавчу товщину стінки кожуха ухвалюємо рівною $S_k = 4$ мм. Добавка для компенсації мінусового допуску для сталевого листа товщиною 4мм становить $C_2 = 0,5$ мм.

$$C_2 = 0,5 \text{мм} > 0,05 \cdot S_k = 0,05 \cdot 4 = 0,2 \text{мм}$$

Добавку ураховуємо, так як вона перевищує 5 % від номінальної товщини листа.

Сума добавок до розрахункової товщини стінки кожуха становить:

$$C_k = C_{1k} + C_{2k} = 0,5 + 0,5 = 1,0 \text{мм}$$

Виконавчу товщину стінки кожуха визначаємо по формулі:

$$S_k > S_{pk} + C_k \quad (5.7)$$

$$S_k = 1 + 1,0 = 2 \text{ мм.}$$

Остаточно ухвалюємо виконавчу товщину стінки кожуха рівної $S_k = 4$ мм.

Припустимий внутрішній надлишковий тиск у кожусі визначаємо по формулі:

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi_p \cdot (S - C)}{D + (S - C)} \quad (5.8)$$

$$[P] = \frac{2 \cdot 151 \cdot 1 \cdot (4 - 1)}{273 + (4 - 1)} = 3,28 \text{ МПа}$$

Умова міцності:

$$P_K = 1,0 \text{ МПа} \leq [P]_K = 3,28 \text{ МПа} \text{ виконується.}$$

Умова застосування розрахункових формул:

$$\frac{S - C}{D} = \frac{4 - 1}{273} = 0,0109 \leq 0,1 \text{ умова виконується.}$$

5.4 Визначення товщини трубних решіток

Товщину трубних решіток ухвалюємо рівною 20 мм із наступною перевіркою на міцність і твердість.

Розрахунковий тиск визначаємо по формулі:

$$P = \max\{|P_T|; |P_K|; |P_T - P_K|\} \quad (5.9)$$

$$P = \max\{1,0; 1,0; |1,0 - 1,0|\} = 1,0 \text{ МПа.}$$

Розрахункову товщину трубних решіток за умови міцності максимальної безтрубної зони визначаємо по формулі:

$$S_{pp} = 0,5 \cdot D_e \sqrt{P / [\sigma]_p}, \quad (5.10)$$

де $D_e = 21,3 \text{ мм}$ – діаметр окружності, уписаної в максимальну безтрубну зону, визначаємо конструктивно.

$$S_{pp} = 0,5 \cdot 21,3 \sqrt{1/191} = 1,15 \text{ мм}$$

Виконавчу товщину трубних решіток за умови міцності максимальної безтрубної зони визначаємо по формулі:

$$S_p > S_{pp} + C_p = 1,15 + 1,3 = 2,35 \text{ мм}$$

Ухвалюємо $S_p = 20 \text{ мм}$.

Коефіцієнт ослаблення трубних решіток визначаємо по формулі:

$$\phi_p = 1 - d_0 / t_p \quad (5.11)$$

$$\phi_p = 1 - 20,15 / 26 = 0,225$$

Розрахункову товщину трубних решіток у перерізі канавки під поздовжньою перегородку визначаємо по формулі:

$$S_{np} = S_{pp} \cdot \max \left\{ 1 - \sqrt{\frac{d_0}{b_n} \cdot \left(\frac{t_n}{t_p} - 1 \right)}; \sqrt{\phi_p} \right\} \quad (5.12)$$

$$S_{np} = 1,4 \cdot \max \left\{ 1 - \sqrt{\frac{20,15}{8} \cdot \left(\frac{45}{26} - 1 \right)}; \sqrt{0,225} \right\} = 1,15 \cdot \max \{ -0,35; 0,474 \} = 0,65 \text{ мм}$$

Товщина трубних решіток у перерізі під поздовжньою перегородку в розподільній камері повинен бути не менше

$$S_{np} > S_{pp} + C_p = 0,65 + 1,3 = 1,95 \text{ мм}$$

З конструктивних міркувань ухвалюємо товщину трубних решіток у перерізі канавки під поздовжню перегородку в розподільній камері рівної 18 мм.

5.5 Визначення допоміжних величин

Значення коефіцієнтів лінійного розширення матеріалів кожуха α_k і труб α_m ухвалюємо:

$$\alpha_k = 11,6 \cdot 10^{-6} 1/^\circ C; \quad \alpha_m = 11,6 \cdot 10^{-6} 1/^\circ C$$

Різницю в подовженні кожуха й труб у робочих умовах, яку необхідно компенсувати визначаємо по формулі:

$$\Delta = l \cdot \left[\alpha_k \cdot (t_k - t_0) - \alpha_m \cdot (t_m - t_0) \right] \quad | \quad (5.13)$$

$$\Delta = 3000 \left| [11,6 \cdot 10^{-6} \cdot (151,1 - 20) - 11,6 \cdot 10^{-6} \cdot (129,1 - 20)] \right| = 1,04 \text{ мм}$$

Визначаємо здатність, що компенсує, однієї лінзи компенсатора при загальному числі циклів навантаження $N = 10^3$, $\Delta_l = 5,5 \text{ мм}$.

$$n_l = \frac{\Delta}{\Delta_l} = \frac{1,04}{5,5} = 0,19$$

Отримане число лінз округляємо до найближчого більшого цілого числа, тобто $n_l = 1$.

5.6 Розрахунки лінзового компенсатора

Умови застосування розрахункових формул:

$$\frac{S_l}{d_H} \leq 0,035; \quad 1,08 \leq \frac{D_l}{d_H} \leq 3; \quad \frac{2r}{D_l - d_H} \leq 0,4;$$

$$\frac{S_l}{d_H} = \frac{3}{408} = 0,007 < 0,035;$$

$$1,08 < \frac{D_n}{d_n} = \frac{562}{408} = 1,377 < 3,00;$$

$$\frac{2 \cdot r}{D_n - d_n} = \frac{2 \cdot 14}{562 - 408} = 0,18 < 0,4$$

виконуються.

Розрахунковий діаметр западини хвилі компенсатора розраховуємо по формулі:

$$d_1 = d_n - S_n \quad (5.14)$$

$$d_1 = 408 - 3 = 405 \text{ мм}$$

Розрахунковий діаметр гребеня хвилі компенсатора визначаємо по формулі:

$$d_2 = D_n - S_n \quad (5.15)$$

$$d_2 = 562 - 3 = 559 \text{ мм}$$

Середній радіус тороїдального переходу хвилі компенсатора розраховуємо по формулі:

$$r_s = 0,5 \cdot (2 \cdot r + S_n) \quad (5.16)$$

$$r_s = 0,5 \cdot (2 \cdot 14 + 3) = 16 \text{ мм}$$

Допоміжну величину впливу переходу розраховуємо по формулі:

$$\rho_n = 2 - 100 \cdot \frac{r}{d_1 + d_2} \quad (5.17)$$

$$\rho_n = 2 - 100 \cdot \frac{16}{405 + 559} = 0,52 \text{ мм}$$

Розрахункову ширину пластинчастої зони хвилі компенсатора визначаємо по формулі:

$$b_n = 0,5 \cdot (d_2 - d_1 + \rho_n \cdot r_s) \quad (5.18)$$

$$b_n = 0,5 \cdot (559 - 405 + 0,52 \cdot 16) = 52,7 \text{ мм}$$

Радіус закруглення пластинчастої зони хвилі компенсатора розраховуємо по формулі:

$$R_0 = 0,25 \cdot (d_2 + d_1 - 2 \cdot b_n) \quad (5.19)$$

$$R_0 = 0,25 \cdot (559 + 405 - 2 \cdot 52,7) = 132,4 \text{ мм}$$

Середній діаметр хвилі компенсатора визначаємо по формулі:

$$d_{cp} = 0,5 \cdot (d_2 + d_1) \quad (5.20)$$

$$d_{cp} = 0,5 \cdot (559 + 405) = 482 \text{ мм}$$

Характеристики хвилі обчислюємо по формулах:

$$\xi = \frac{d_2}{d_1} - 1; \quad (5.21)$$

$$\xi = \frac{559}{405} - 1 = 0,3606$$

$$n = \frac{d_2 - d_1}{2 \cdot r_s} - 2; \quad (5.22)$$

$$n = \frac{559 - 405}{2 \cdot 16} - 2 = 1,031$$

$$\alpha = \frac{S_n}{d_1}; \quad (5.23)$$

$$\alpha = \frac{3}{405} = 0,0074$$

$$\lambda = \frac{b_n}{R_0}; \quad (5.24)$$

$$\lambda = \frac{52,7}{132,4} = 0,398$$

$$\gamma = 1 + 1,25 \cdot \frac{d_2}{d_1} - \frac{3,2 \cdot r_s}{d_2 - d_1}; \quad (5.25)$$

$$\gamma = 1 + 1,25 \cdot \frac{559}{405} - \frac{3,2 \cdot 16}{559 - 405} = 2,173$$

Розрахункову товщину S_3 , мм, розраховуємо по формулі:

$$S_3 = 0,25 \cdot (d_2 - d_1 - \gamma \cdot r_s) \cdot \sqrt{P/[\sigma_L]} \quad (5.26)$$

$$S_3 = 0,25 \cdot (559 - 405 - 2,173 \cdot 16) \cdot \sqrt{\frac{1}{151}} = 1,62 \text{ мм}$$

Розрахункову товщину стінки компенсатора S_4 , мм, визначаємо по формулі:

$$S_4 = \frac{P + d_{cp}}{2 \cdot [\sigma]_L \cdot \varphi} \cdot \frac{L}{d_2 - d_1 + 2l + 2,3r}; \quad (5.27)$$

$$S_4 = \frac{1 \cdot 482}{2 \cdot 151 \cdot 1} \cdot \frac{72}{559 - 405 + 2 \cdot 5 + 2,3 \cdot 16} = 0,988 \text{ мм}$$

де $L = 72$ мм – виконавча довжина компенсатора ;

$l_k = 5$ мм – приєднувальна довжина циліндричної частини компенсатора .

Розрахункову товщину стінки компенсатора $S_{лр}$ визначаємо по формулі:

$$S_{лр} = S_4 \cdot \sqrt{0,5 \cdot \sqrt{0,25 + (S_3 / S_4)^4}} \quad (5.28)$$

Суму добавок до розрахункової товщини стінки лінзового компенсатора при її товщині $S_l = 3$ мм ухвалюємо рівної 0,22мм .

Виконавчу товщину стінки лінзового компенсатора розраховуємо по формулі:

$$S_l \geq S_{лр} + C_l = 1,78 + 0,22 = 2 \text{ мм}$$

Остаточно ухвалюємо виконавчу товщину стінки компенсатора рівної 3 мм

Допустимий тиск визначаємо по формулі:

$$S_{лр} = 0,988 \cdot \sqrt{0,5 + \sqrt{0,25 + (1,62 / 0,988)^4}} = 1,78 \text{ мм}$$

Суму добавок до розрахункової товщини стінки лінзового компенсатора при її товщині $S_l = 3$ мм ухвалюємо рівної 0,22мм .

Виконавчу товщину стінки лінзового компенсатора розраховуємо по формулі:

$$S_l \geq S_{лр} + C_l = 1,78 + 0,22 = 2 \text{ мм}$$

Остаточно ухвалюємо виконавчу товщину стінки компенсатора рівної 3 мм

Допустимий тиск визначаємо по формулі:

$$[P]_l = 16 \cdot \left(\frac{S_l - C_l}{d_2 - d_1 - \gamma \cdot r_s} \right)^2 \cdot [\sigma]_l \quad (5.29)$$

$$[P]_1 = 16 \cdot \left(\frac{3 - 0,22}{559 - 405 - 2,173 \cdot 16} \right)^2 \cdot 151 = 6,22 \text{ МПа}$$

Допустимий тиск $[P]_2$ визначаємо по формулі:

$$[P]_2 = \frac{2 \cdot [\sigma]_n \cdot \phi \cdot (S_n - C_n)}{d_{cp}} \cdot \frac{d_2 - d_1 + 2 \cdot l_k + 2,3 \cdot r_s}{L} \quad (5.30)$$

$$[P]_2 = \frac{2 \cdot 151 \cdot 1 \cdot (3 - 0,22)}{482} \cdot \frac{559 - 405 + 2 \cdot 5 + 2,3 \cdot 16}{72} = 5,18 \text{ МПа}$$

Допустимий тиск визначаємо по формулі:

$$[P]_n = \frac{[P]_1}{\sqrt{1 + \left(\frac{[P]_1}{[P]_2} \right)^2}} \quad (5.31)$$

$$[P]_n = \frac{6,22}{\sqrt{1 + \left(\frac{6,22}{5,18} \right)^2}} = 2,98 \text{ МПа}$$

5.7 Розрахунок компенсатора на малоциклову втомленість

Так як точні дані про числа циклів N_w і N_p відсутні, приймаємо:

$$N_w = N_p = 0,5^N = 500.$$

Допустиму амплітуду інтенсивності напруження від розмаху тисків розраховуємо за формулою:

$$[\sigma]_{ap} = \frac{2300 - t}{2300} \cdot \frac{0,45 \cdot 10^5}{\sqrt{n_N \cdot N}} + \frac{0,66 \cdot R_m^{20} - 0,43 \cdot R_e^{20}}{n_\sigma}$$

$$[\sigma]_{ap} = \frac{2300 - 65}{2300} \cdot \frac{0,45 \cdot 10^5}{\sqrt{10 \cdot 500}} + \frac{0,66 \cdot 460 - 0,43 \cdot 250}{2} = 902,3 \text{ МПа.}$$

Напруження від деформації розраховуємо за формулою:

$$\sigma_\omega = \frac{E_\lambda \cdot S_\lambda}{n_\lambda \cdot b_\lambda^2} \cdot (2 + \lambda) \cdot \Delta \varpi$$

$$\sigma_\omega = \frac{194,5 \cdot 10^3 \cdot 3}{2 \cdot 52,7^2} \cdot (2 + 0,398) \cdot 1,04 = 120 \text{ МПа}$$

Із деяким збільшенням у бік запасу міцності приймаємо $\Delta P = P$ і $[\Delta P] = [P]_\lambda$

Напруження від тиску визначаємо за формулою

$$\sigma_p = 3[\sigma]_\lambda \cdot \frac{\Delta P}{[\Delta P]}$$

$$\sigma_p = 3 \cdot 151 \cdot \frac{1}{2,98} = 317 \text{ МПа.}$$

Умова міцності:

$$\frac{\sigma_\omega}{2[\sigma]_{a\varpi}} + \frac{\sigma_p}{2[\sigma]_{ap}} = \frac{120}{2 \cdot 902,3} + \frac{317}{2 \cdot 902,3} = 0,24 < 1,0$$

виконується.

6 Технологія виготовлення підігрівача

6.1 Виготовлення обичайок

Обечайка - це циліндрична або конічна деталь, що не заглушена з кінців (тобто без днища). У перетині деталь виглядає як кільце.

Обичайки можуть бути виготовлені різними способами. Вибір способу виготовлення обичайок залежить від товщини металу і вимог до міцності готової деталі. Найбільш економічний спосіб виготовлення обичайок - вальцювання, тобто деформування листового матеріалу (сталь, алюміній) уздовж певного напрямку. Вальцювання може бути холодною або гарячою, в залежності від товщини матеріалу. Як правило, тонкостінні обичайки виготовляються методом холодного вальцювання, а товстостінні - гарячої.

Обичайки виготовляють звареними з напівфабрикатів. Вальцювання, штампування обичайок допускається робити тільки на відповідних машинах або пресах. Виготовлення обичайок ручним способом, а також місцеве нагрівання й виправлення молотком не допускається.

Для виготовлення обичайки спочатку виконується розмітка листових заготівель із метою вказівки границь обробки й раціонального розкрою листа для найбільш повного використання металу. Розмітка виконується на розмічальних столах або плитах. По маркуванню листа перевіряється відповідність марки металу, довжини, товщини й ширини листа вимогам креслення. Лист укладається на розмічальний стіл маркуванням нагору й на ньому розмічається базова ризику уздовж крайки з найменшої серповидністю. На листі розмічаються ризики під відрізок, ризики з непаралельністю не більше 1 мм під строжку й контрольні ризики. Різання листа здійснюють на гильйотинних ножицях. Після різання здійснюють

обробку кромки на верстаті. Після цього лист подається до преса для підгибки кромки. Після підгинання кромки лист подається до листозгинальної машини - вальца.

Для виготовлення простий циліндричної обичайки досить вальців з трьома валами. Листовий матеріал, з якого необхідно виготовити деталь, прокладається між валами, які подгибають його до потрібного радіуса. Із трьома валками розташованими симетрично. Зборку поздовжнього стику роблять гідравлічними струбцинами. Після приварки на ролікоопорах вхідної й вихідної планок звареним трактором виконується зварювання внутрішнього шва на флюсовій подушці, а після зачищення кореня шва зварюється зовнішній поздовжній шов. Після зварювання зовнішнього шва на стенді шов зачищають, знімають посилення й видаляють вхідну й вихідну планки. Далі обичайка подається до листозгинальної машини на виправлення, зварні шви контролюються ультразвуковою дефектоскопією. Отвори в обичайці під штуцера обробляють вирізкою газовим різакон з попередньою розміткою.

Для деяких завдань необхідна більш складна деталь - конічна обичайка. Вона використовується для з'єднання труб або обичайок різного діаметру, а так само в різних апаратах, за допомогою яких переганяють рідкі або в'язкі субстанції.

Для виготовлення конічної обичайки використовується чотирехвальцевий апарат, в якому лист металу затискається між нижнім і верхнім валами, а його вигин здійснюється бічними валами. Обечайка, найчастіше, виготовляється з несварних заготовок.

Отримана в результаті деталь, може використовуватися у виготовленні апаратів хімічної промисловості, а так само в будівництві при прокладці газопроводів.

6.2 Виготовлення еліптичних днищ

Циліндричні корпуси як горизонтальних, так і вертикальних апаратів з обох боків обмежуються днищами, які разом з обичайками є одними з основних елементів хімічних апаратів.

У хімічному машинобудуванні застосовуються еліптичні, напівсферичні, сферичні невідбортовані, конічні відбортовані, конічні невідбортовані, плоскі відбортовані, плоскі невідбортовані днища, а також плоскі днища, які приєднуються на болтах (кришки).

У посудинах, що працюють під тиском, найчастіше застосовуються опуклі еліптичні та напівсферичні днища. (рис. 1).

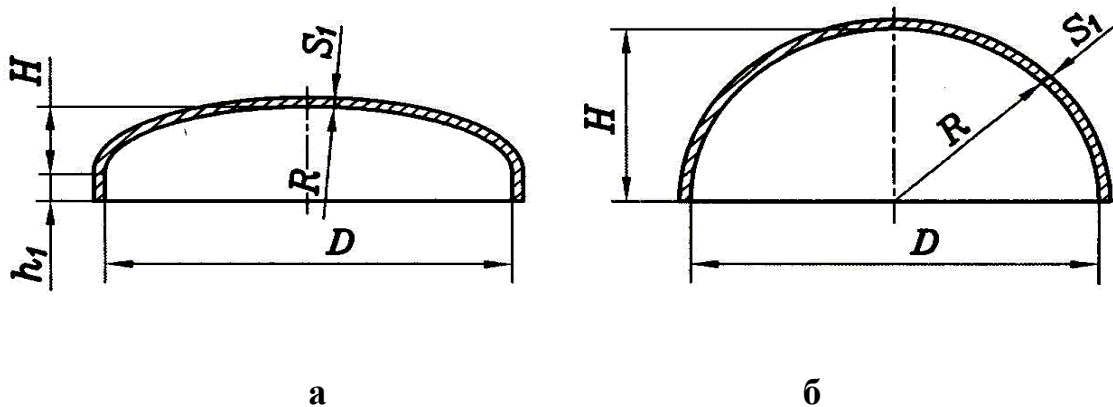


Рисунок 6.1 – Конструкції опуклих днищ.

а – еліптичне днище; б – напівсферичне днище;

Розміри й форма днищ повинні відповідати ГОСТ 6533-78. Виготовлення еліптичного днища виконують по технічних умовах на виготовлення й поставку днищ, які викладені в стандартах на днища. Днища можна виготовляти штампуванням на пресах, методом обкатування роликками,

електрогідравлічним й електромагнітним штампуванням. Зварні шви розташовують по хорді на відстані від центра не більше 440 мм. Мінімальна відстань між меридіональними швами приймають не менш 100 мм. Днища зі штампованих елементів зварюють стиковими швами із двостороннім проваром.

Формовку днища методом штампування на пресах проводять у наступному порядку. Заготівля за допомогою транспортера подається в нагрівальну піч для рівномірного нагрівання до необхідної температури. Температурний інтервал штампування 850-950 °С. Нагріта заготівля спеціальними захватами витягається з печі й подається на транспортер, за допомогою якого транспортується до штампа, що перебуває під пресом. Штмп складається із циліндричного пуансона з еліпсоїдною торцевою поверхнею, виконаної за формою кулі. Під час штампування, пуансон, рухаючись униз тягне заготовку через матрицю.

Потім заготівлю встановлюють на протяжне кільце й штамнують, як правило, за одну операцію. Заготівля знімається при ході пуансона нагору. Завершальні операції передбачають розмітку днищ для підрізування торця й розмітку отворів, підрізування торця й обробку отворів, термообробку, очищення, контроль і таврування.

6.3 Встановлення штуцерів

Штуцер – це короткий патрубок (відрізок труби), втулка з малим отвором для створення перепаду тиску або для з'єднання (з допомогою різі) між собою труб, приєднання їх до резервуарів тощо. Зокрема, штуцер - деталь трубопроводу або його з'єднувального вузла, що являє собою втулку, один з

кінців якої має внутрішню або зовнішню різьбу для кріплення до різних ємностей або трубопроводів.

Після розмітки корпусу виробляється вирізка отворів для установки люків, штуцерів й інших елементів арматури апарата.

Отвори для установки штуцерів на обичайці й днищі розміщують на відстані від краю ближнього зварного шва до осі отворів на відстані не менш 0,9 діаметра 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 поздовжніх 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% контролю зварених швів просвічуванням або ультразвуковою дефектоскопією.

Заготівки для фланців одержують вигином прокату. Технологічний процес виготовлення заготівель по цьому методі полягає в розрізі смуги або профілю на мірні заготівлі, згинанні в кільце й стиковому зварюванню. Далі заготівлі піддають механічній обробці, обробляють ущільнювальні поверхні й внутрішній діаметр фланця. Потім висвердлюються відтвори під болти. Фланці штуцерів штампують у відкритих штампах. За один хід преса

прошивають отвору й обрізають заусенці на кривошипних пресах у комбінованих штампах. Отримані заготівлі також механічно обробляють.

При збиранні плоских фланців з патрубками необхідно забезпечити рівномірний кільцевий зазор між патрубком і фланцем. Зазор між зовнішньою поверхнею патрубка (обичайки) і стінкою отвору плоского фланця не повинен перевищувати 2,5 мм.

Зварювання штуцерів із плоским фланцем виробляються в такий спосіб: штуцер укладається ущільнювальною поверхнею на складальну плиту, по внутрішньому діаметрі встановлюються підкладки, по товщині рівні товщині підведення й торця патрубка до сполучної поверхні фланця. Патрубок торцем укладається у фланець на підкладку. Витримується перпендикулярність осі щодо ущільнювальної поверхні фланця. Патрубок прихоплюється й потім приварюється до фланця.

Штуцер встановлюють на виході потоку із газової, нафтової, газліфтною (іноді насосних) свердловин у системі поверхневого обладнання для регулювання дебіту свердловин. Можуть встановлюватися і на будь-яких інших трубопроводах.

6.4 Збирання й зварювання корпусу

При виготовленні теплообмінників використовують нержавіючі сталі. При підготовці до зварювання теплообмінників необхідно врахувати те, що вони виготовляються з високолегованих конструкційних сталей і тому необхідно врахувати спеціальні вимоги для цих сталей.

В обичайці кромки під зварювання, що стикуються, завширшки 15-20 мм від кромки й торця зачищаються абразивом або металевою щіткою.

Обичайки встановлюють на складальний стенд, збираються й зварюються по кільцевих швах. Поздовжні шви в горизонтальних апаратах повинні розташовуватися поза межами нижньої частини корпусу, якщо ця частина мало доступна для огляду. Потім виконується зварювання спочатку зовнішніх, а потім після зачищення - зварювання внутрішніх кільцевих швів.

Застосовувати комбінований спосіб зварювання з'єднань великої товщини, при якому внутрішні і зовнішні не стикаються з агресивним середовищем шви виконуються електродами, що забезпечують меншу корозійну стійкість, але підвищену стійкість металу шва проти гарячих тріщин (в тому числі і за рахунок наявності феритної фази), при цьому товщина шару, зверненого до корозійного середовища, рівноцінна за корозійною стійкістю основного металу, повинна бути не менше 3 мм.

6.5 Кріплення труб в трубних решітках

Зовнішня поверхня кінців прямих теплообмінних труб (за винятком труб з корозійностійких сталей) має бути зачищена до чистого металу на довжину, рівну подвоєній товщині трубних грат плюс 20 мм. Довжина зачистки кінців П-образних труб повинна дорівнювати товщині решіток плюс 20мм. Зовнішній діаметр труби після зачищення не має бути менше величини для відповідного класу точності з'єднання.

Сталеві теплообмінні труби, що застосовуються в трубних пучках теплообмінних апаратів, повинні відповідати вимогам галузевого стандарту і відповідним стандартам на сортамент труб, які вибираються залежно від класу точності з'єднання труб з трубними решітками.

6.6 Розвальцьовування труб

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

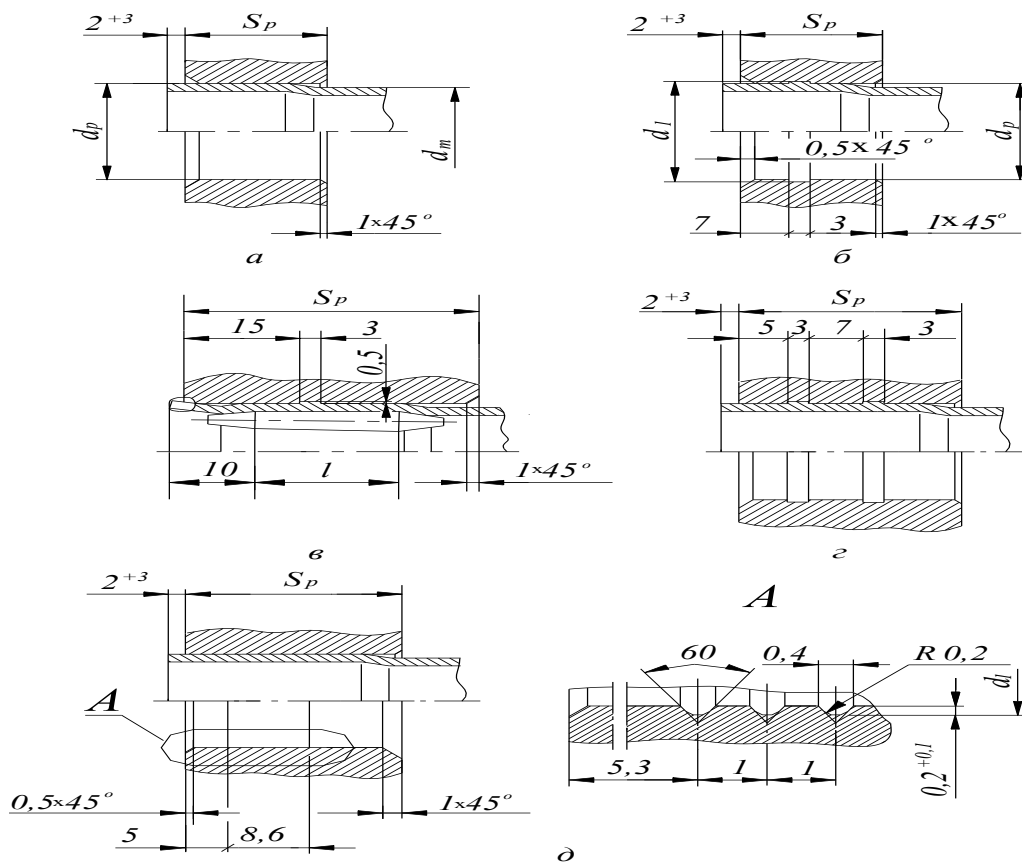


Рисунок 6.2 – Основні типи розвальцьовки труб у трубних решітках.

а – типу P1; б – типу P2; в – типу P3; г – типу P4; д – типу P5.

Найбільш розповсюдженим способом кріплення кінців труб у трубних решітках є розвальцьовка (рис. 2). Труби вставляють в отвори трубної решітки з певним зазором, після чого обкатують зсередини спеціальним

вальцюванням інструментом, оснащеним роликами. При цьому в стінках труби створюються залишкові пластичні деформації, а в трубних решітках – пружні деформації, завдяки чому досягається необхідна міцність і герметичність вальцівного з'єднання.

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

6.7 Зварювання труб з трубними решітками

Перед зварюванням труб з трубними решітками кінці труб, а також лицьову поверхню решіток і отвору в трубних решітках слід зачистити до чистого металу від іржі, бруду, масла і ретельно знежирити.

Діаметральний зазор між трубними решітками і трубою рекомендується не більше 0,3 мм. Для забезпечення цієї вимоги рекомендується кінцеве розвальцювання труби перед зварюванням до торкання зовнішньої поверхні труби з краєм трубного отвору (рис. 3).

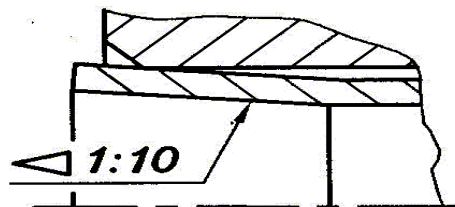


Рисунок 6.3 – Кінцеве розвальцювання труби перед зварюванням.

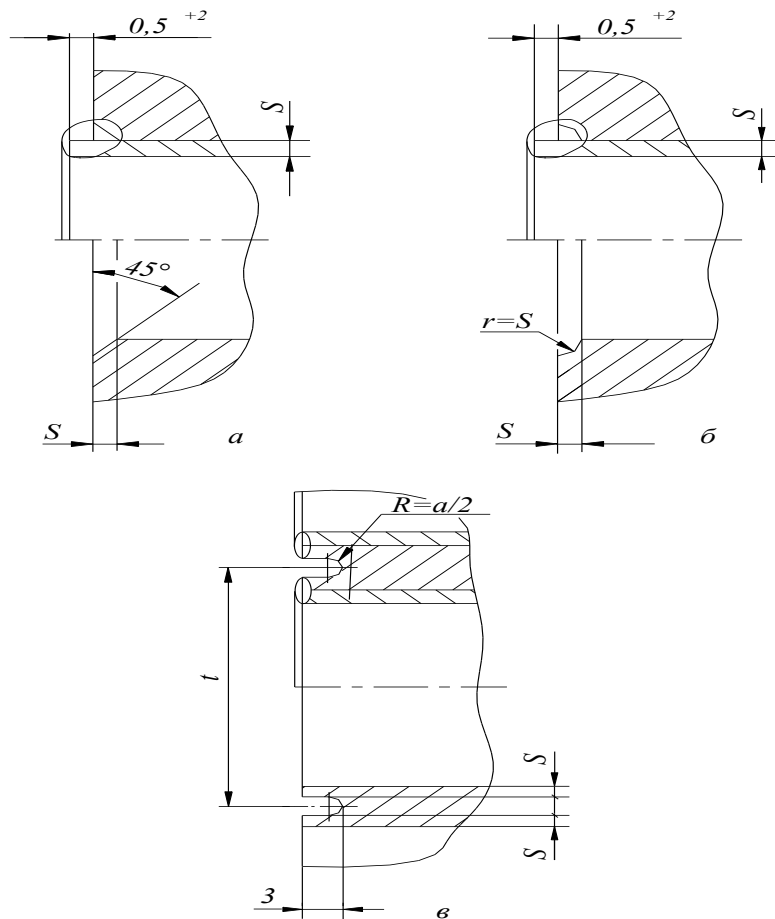


Рисунок 6.4 – Типи зварки труб із трубними решітками.

а – тип С1; б – тип С2; в – тип С3.

У комбінованих з'єднаннях труби повинні виступати над поверхнею трубних решіток не менш, ніж на 2 мм, крім апаратів з розширювачем на кожусі, для яких виступ труби над поверхнею трубої решітки не повинний бути менше 0,5 мм.

Типи зварки труб із трубними решітками, застосовувані в комбінованих з'єднаннях, приведені на (рис. 4).

6.8 Збирання підігрівача

Деталі й вузли (складальні одиниці) апарату, підготовлені до складання, направляють після проходження технічного контролю на складальний ділянку. Збірка теплообмінних апаратів проводиться відповідно до технологічної схеми, розробленої в процесі проектування апарату. Технологічна схема складання може бути заснована на операціях складання як окремих деталей у вузли, так і укрупнених вузлів апарату.

Збирання підігрівача необхідно проводити в такій послідовності:

- приєднати кришки;
- змонтувати фланцеві сполуки кришок та трубчатки;
- змонтувати трубопроводи входу та виходу продукту;
- заізолювати підігрівача.

6.9 Випробування після виготовлення

Після завершення збирання проводиться гідравлічне випробування апарату з метою виявлення дефектів виготовлення і збірки апарату, а також герметичності трубної системи і апарату в цілому.

Усе теплообмінні труби мають бути піддані гідравлічним випробуванням на підприємстві-виготовнику. При відсутності в сертифікатах даних про гідравлічні випробування підприємство-виготовник теплообмінних апаратів зобов'язано провести вибіркові гідравлічні випробування відповідно до вимог ГОСТ 3845-75 по 3 % труб від кожної партії, але не менше 5 труб. При

отриманні незадовільних результатів хоча б однієї з труб проводять повторні випробування на подвійній кількості труб, взятих із тієї ж партії.

Гідравлічні випробування на міцність та герметичність кріплення труб в трубних решітках здійснюється пробним тиском, який визначається галузевим стандартом.

Якщо умовний тиск для кожуха менше умовного тиску для трубного простору, випробування герметичності здійснюється повітрям, гасом, галоїдами, гелієм, хладоном, аміаком тощо. Якщо товщина трубної решітки розрахована на перепад тиску між трубним та міжтрубним просторами, умови гідравлічного випробування та випробування на герметичність кріплення труб в трубних решітках повинні проводитись відповідно до вимог галузевого стандарту.

Зварний шов приварення трубної решітки до фланця та кожуха в апаратах з трубним пучком, який не витягається з кожуха, має бути перевірений радіографічним методом або ультразвуковою дефектоскопією по всій його довжині.

У випадку недоступності шва або окремих його ділянок для перевірки радіографічним методом або ультразвуковою дефектоскопією метод контролю вибирається за РД 26-11-01-85.

Кожний перетік середовища в трубному просторі від одного кінця теплообмінника до другого є ходом. Змінюючи число ходів, можна змінювати швидкість руху середовища усередині труб.

Гідровипробування проводиться водою. При заповненні теплообмінника водою, повітря повинне бути цілком вилучене. Для гідровипробування теплообмінника застосовується вода з температурою не нижче $+5^{\circ}\text{C}$ і не вище $+40^{\circ}\text{C}$. Тиск при випробуванні повинний контролюватися двома

манометрами. Тиск у випробовуваному теплообміннику повинний підвищуватися плавно, використання стиснутого повітря або газу не допускається. Мінімальну величину пробного тиску $P_{пр}$ при гідравлічному випробуванні підігрівана, а також трубопроводів в межах теплообмінника приймають:

$$P_{пр} = 1,25 \cdot P \cdot [\sigma]^{20} / [\sigma]^t \quad (6.1)$$

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 теплообмінника під пробним тиском залежить від товщини стінки апарата і складає 10 хвилин. Після витримки теплообмінника під пробним тиском, його знижують до розрахункового, при якому проводиться огляд зовнішньої поверхні теплообмінника, усіх його роз'ємних і зварних сполук.

Пневматичне випробування. Якщо гідравлічне випробування неможливо здійснити, наприклад, через велику вагу води або труднощі видалення води, то дозволяється замінювати його пневматичним випробуванням за допомогою повітря або інертного газу на таке ж випробувальний тиск, як при гідравлічному способі. Пневматичні випробування проводять з особливими заходами безпеки в присутності осіб, відповідальних за їх проведення та за техніку безпеки.

Випробування гасом. Виявлення течі в апаратах з трубками, привареними до трубним дошках, представляє великі труднощі. Гідравлічне випробування водою не дає, як правило, хороших результатів, так як мікроскопічні тріщини в зварних швах виявляються тільки із застосуванням випробувального тиску і

при робочій температурі. Створення робочих умов під час випробувань не завжди здійснено. У таких випадках хороші результати дає гідравлічне випробування трубної системи або всього апарату гасом. Для виявлення протікання гасу поверхні трубних дощок і зварних швів із зовнішнього боку фарбують крейдианим розчином і просушують. Наповнений гасом апарат витримують протягом 30-50 хв. Якщо після закінчення цього часу на забарвлених місцях не з'являться жовті плями, герметичність швів визнається задовільною.

Випробування течешукачем. Установки і апарати, що працюють під розрідженням, повинні задовольняти вимогам високої герметичності. Вакуумні випробування апаратів і установок виробляють за допомогою течешукачів. Перед випробуванням отвори змонтованого апарату або установки герметично закривають пробками або заглушками. Після цього проводять попереднє випробування на герметичність повітрям або інертним газом під тиском. Потім усувають дефекти в швах і в роз'ємних з'єднаннях, виявлені обмилуванням. Переконавшись у відсутності видимих витоків, приступають до відкачування з апарату або установки повітря вакуум-насосом. Після досягнення постійного робочого вакууму подальше визначення місць проникнення повітря виробляють течешукачем.

Випробування флуоресцеїном. Одним з найбільш надійних і швидких методів виявлення порушення герметичності в апаратах, призначених для роботи під вакуумом, є люмінесцентний метод з використанням флуоресцеїну (діоксіфлуорана). Флуоресцеїн легко змивається водою, нетоксичний, корозійно не активний, в лужних розчинах сильно флуоресціює. Паровий простір конденсатора заповнюють конденсатом. Через люк або штуцер в конденсатор заливають розчин флуоресцеїну. Найбільш сприятлива концентрація флуоресцеїну в воді-7-10 мг / л. Після заповнення парового простору конденсатора розчином флуоресцеїну трубні дошки та

інші місця можливих протікань опромінюють переносний ультрафіолетовою лампою. Вода, яка містить флуоресцеїн, світиться під дією ультрафіолетового опромінення яскравим жовто-зеленим світлом, чітко виявляючи найменші протікання на обстежуваній поверхні.

Результати повторних випробувань є остаточними. При отриманні незадовільних результатів повторних випробувань треба провести випробування усієї партії труб.

7 Ремонт підігрівача

7.1 Планово-попереджувальні ремонти для теплообмінного обладнання

У сучасних умовах при швидко зростаючому рівні механізації й автоматизації виробничих процесів питання забезпечення належного стану обладнання, правильного догляду за ним, своєчасного й якісного ремонту набувають усе більше значення.

Для виключення значних втрат у виробництві, пов'язаних з несправністю технологічного й енергетичного устаткування, необхідно приділяти належну увагу організації технічного обслуговування й ремонту устаткування, роботі ремонтних служб підприємства.

Система планово-попереджувального ремонту. Прийнята в хімічній промисловості, система технічного обслуговування й ремонту устаткування базується на комбінації технічного обслуговування й планово-запобіжних ремонтів.

Планово-запобіжні ремонти (ПЗР) проводять по Методу планово-періодичних ремонтів для основного устаткування й післяоглядових ремонтів (ремонт за технічним станом) для допоміжного обладнання.

Розподіл на основне або допоміжне устаткування умовно залежить від конкретних умов експлуатації даного устаткування й ступені його впливу на одержання кінцевого й проміжного продукту. Звичайно до основного відносять устаткування, призначене для проведення основних хімікотехнологічних процесів і одержання цільового продукту.

Вихід з ладу основного устаткування приводить до зупинки технічної лінії (установки) або різкому зниженню її продуктивності.

Сутність планово-періодичного ремонту полягає в тому, що ремонти всіх видів планують і виконують в строго встановлені ремонтними нормативами строки. Сутність ремонту по технічному стану (метод післяоглядових ремонтів) полягає в тому, що види й строки ремонту планують на основі відомостей про технічний стан устаткування, отриманих при проведенні періодичного технічного обслуговування.

Система ПЗР устаткування підприємств хімічної промисловості передбачає поточний і капітальний ремонт.

Поточний ремонт виконують для забезпечення або відновлення працездатності устаткування; він полягає в заміні або відновленні окремих складальних одиниць і деталей обладнання. Поточні ремонти включають: операції періодичного технічного обслуговування; роботи із заміни або відновлення швидкозношуваних деталей і складальних одиниць; ремонт футеровки й захисного покриття; фарбування; перевірку кріпильних з'єднань й заміну вишедших з ладу деталей; заміну набивки сальників і прокладок, ревізію арматур, очищення, промивання й ревізію механізмів; зміну масла в мастильних системах, перевірку на точність і ін.

Капітальний ремонт виконують для відновлення справності й повного або близького до повного відновлення ресурсу устаткування із заміною або відновленням будь-яких його елементів, включаючи базові. При капітальних ремонтах виконують, як правило, роботи з модернізації устаткування й впровадженню нової техніки.

Обсяг капітального ремонту й докладний перелік робіт встановлюються відомістю дефектів. Типові роботи при капітальному ремонті: заходи в обсязі поточного ремонту; повне розбирання, очищення й промивання

ремонтуючого устаткування; заміна й відновлення всіх зношених деталей і вузлів, включаючи базові; повна або часткова заміна ізоляції, футеровки й ін.; складання, вивірка, регулювання й центрування встаткування; фарбування й післяремонтне випробування. При капітальному ремонті усувають дефекти устаткування, виявлені як у процесі експлуатації, так і при проведенні ремонту.

ПЗР обладнання проводять на основі ремонтних нормативів, певних для машин і устаткування різних типів. Ці нормативи визначають: міжремонтний період; тривалість простою в ремонті з розбивкою на підготовчий, ремонтний і заключний періоди (у годинах); трудомісткість ремонту (у осіб/год). Міжремонтний період визначає час роботи обладнання між двома послідовно проведеними ремонтами і є основою для розробки такого показника системи планово-запобіжного ремонту, як структура ремонтного циклу. Загальне число робочих годин устаткування умовно прийнято 720 год на місяць, 8640 год у рік. Залежно від умов роботи виробництва й з обліком технічного стану обладнання допускаються наступні відхилення від нормативу міжремонтного періоду: + 15 % між поточними ремонтами; + 10 % між капітальними ремонтами. Тривалість простою обладнання в ремонті обчислюють із моменту відключення устаткування до моменту здачі відремонтованого обладнання експлуатаційному персоналу й виводу встаткування на робочий режим і включає час проведення підготовчих, ремонтних і заключних робіт. До підготовчих робіт належать зупинка встаткування, скидання тиску, вивід продукту, продувка, промивання, нейтралізація, установлення заглушок і ін. Підготовчі роботи завершують задачею обладнання ремонтному персоналу. Тривалість власне ремонтних робіт - це період від моменту приймання обладнання в ремонт до моменту здачі відремонтованого встаткування експлуатаційному персоналу, включаючи час випробувань на міцність і щільність і обкатування вхолосту.

До заключних робіт належать підготовка, пуск устаткування в експлуатацію й вивід його на робочий режим.

7.2 Підготовчі роботи перед проведенням ремонту

Підготовка устаткування до ремонту впливає на повноту усунення дефектів, а також на кількість ремонту. Крім того, правильна підготовка встаткування до ремонту досить важлива для забезпечення безпеки персоналу, зайнятого на ремонтних роботах. Послідовність і зміст операцій по виводу працюючого встаткування в ремонт обмовляється в технологічних інструкціях.

Устаткування виводиться з роботи в плановому порядку обслуговуючим персоналом за вказівкою особи відповідального за його стан і безпечну експлуатацію. Потім його від'єднують від діючих трубопроводів і від іншого встаткування установкою заглушок. Заглушки встановлювані у фланцевих розніманнях, виготовляють відповідно до вимог норм із пофарбованими в червоні кольори хвостовиками, із вказівкою привласнених номерів, D_y та P_y .

Установка заглушок записується у вахтовому журналі із вказівкою номера, місця й часу установки й прізвища виконавця. Так само реєструється й зняття заглушок.

Теплообмінник готують до ремонту в такий спосіб. Доводять тиск у теплообміннику до атмосферного, видаляють робоче середовище, після чого його пропарюють водяною парою, що витісняє пари, що залишилися в теплообміннику, і газу. Після пропарювання теплообмінник промивають водою. У деяких випадках пропарювання й промивання чергують кілька разів.

Підготовленість устаткування підтверджується в наряді-допуску, що видається ремонтній бригаді.

Після закінчення провітрювання варто зробити аналіз повітря, взятого з різних порожнин теплообмінника. До робіт усередині теплообмінника дозволяється приступати тільки тоді, коли аналіз покаже, що концентрація шкідливих газів і пари не перевищує гранично припустимих санітарних норм.

7.3 Розбирання апарата, виявлення й усунення дефектів

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

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

При ремонті внутрішні поверхні очищають від бруду й інших відкладень.

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 й ремонт всіх контрольно-вимірювальних приладів й автоматичних пристосувань необхідно робити відповідно до «Правил організації й перевірки вимірювальних приладів і контролю за

станом вимірювальної техніки з дотриманням стандартів і технічних умов», затвердженими комітетом стандартів, мір і вимірювальних приладів.

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

Перед зварюванням перевіряється якість підготовки й зборки елементів, що зварюють. Зсув кромek 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 позитивній температурі навколишнього повітря. Допускаються зварювальні роботи з попереднім підігрівом при температурі навколишнього повітря не нижче - 20°C.

При ремонті корпусів використовують ручне електродугове зварювання, крім того може бути використане автоматичне й 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 полистно. При заміні цілої проміжної обичайки використовують вантажопідйомні механізми. Вони утримують верхню неушкоджену частину апарата. Цю частину

відокремлюють від дефектної обичайки й 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 й після стикування з обичайкою й перевірки частин обоє стикових шва заварюються. При полистовій заміні використовують листи, завальцьовані по радіусу, рівному радіусу корпусу.

Дефектні днища при неможливості їхнього ремонту на місці замінюють новими.

7.4 Ремонт вузла кріплення труб до трубної решітки

Основними способами кріплення труб до трубної решітки в трубчастих теплообмінних апаратах є розвальцьовування роликками і зварка у поєднанні з розвальцьовуванням. Аналіз виходу з ладу теплообмінників, виконаний ВНІПТхімнафтоапаратури, показав, що від 14 до 25% відмов викликано порушенням герметичності вальцювальних з'єднань. Повзучість і релаксація при високих температурах порушують герметичність з'єднання, у зв'язку з чим при робочих температурах понад 450 °С для сталевих труб і понад 250 °С для труб з кольорових металів і сплавів необхідно застосовувати комбіноване кріплення (розвальцьовування і зварку). При деформації труби роликками виникає вельми високий місцевий контактний тиск, що викликає у ряді середовищ зниження корозійної стійкості в зоні вальцювального поясу в порівнянні з недеформованим металом труби, відшаровування і лущення металу труб (у цих випадках, якщо дозволяє робоча температура, успішно застосовують клеєвальцьовочні з'єднання), руйнування захисного покриття (для труб оцинкованих, алюмінізованих і ін.), що призводить до необхідності розвальцьовування через тонкостінні проміжні втулки.

Зварку труб з трубними решітками застосовують в основному в теплообмінниках, що працюють при температурі вище 450°C і тиску більше $14,0\text{МПа}$, у поєднанні з розвальцьовуванням, виконаним роликівим інструментом, а також імпульсними методами і ін. Таке комбіноване кріплення труб застосовують і при меншому тиску і температурах у випадках, коли до герметичності з'єднань пред'являють особливі вимоги, пов'язані з пожежо- або вибухонебезпекою, а також токсичністю або радіоактивністю робочого середовища.

Застосування зварки без додаткового розвальцьовування доцільно тільки для апаратів, у яких товщина трубних решіток менше зовнішнього діаметру теплообмінних труб.

Заміна труб в трубних решітках включає видалення дефектних труб, підготовку нових труб (різання в розмір і зачистку кінців під розвальцьовування або зварку), набивання їх в пучки і кріплення в решітках.

Труби видаляють найчастіше вручну з використанням облямовування. Для цього висвердлюють трубу приблизно на три довжини розвальцьованої частини, зменшуючи при цьому товщину її стінки. Для тонких труб висвердлювання не обов'язкове. Після цього між трубою і внутрішньою поверхнею отвору решітки забивають спеціальне облямовування, яке деформує стінку труби. Ретельність в установці і роботі цим інструментом запобігає пошкодженню отвору трубних решіток. Потім облямовуванням трубу вибивають з трубних решіток.

Дефектні труби можна видаляти за допомогою спеціального устаткування, до складу якого входять портативна насосна станція, гідравлічний пістолет, електроімпульсний ключ, ручний ключ і комплект різьбових стрижнів. Насосна станція забезпечує тиск в системі до 70МПа .

Труби видаляють в такій послідовності. Завальцьовану трубу відрізають на відстані 5—10 мм від внутрішньої поверхні трубних решіток. Перед видаленням дефектні труби доцільно відрізати з внутрішньої сторони трубних решіток. Потім стрижень з різьбленням за допомогою ручного або електричного ключа угвинчують в трубу, що підлягає видаленню, на стрижень надягають гідравлічний пістолет із змінним упором, що нагвинчується на його кінець; при цьому стрижень затискається і гідропістолет витягує трубу.

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

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

Ремонт вузла кріплення труб в трубних решітках полягає в усуненні розгерметизації цього вузла у наслідок корозії, дії циклічних і термоциклічних навантажень, релаксації напружин у вальцювальному з'єднанні і тому подібне.

Порушення герметичності може бути викликане розгерметизацією труби і вузла кріплення. У першому випадку течі легко усунути установкою конічних пробок з обох боків дефектної труби. Такі пробки завдовжки 40—60 мм застосовують для герметизації труб зовнішнім діаметром 10—28 мм з вуглецевих і корозійно-стійких сталей, латуні, монеля. Для холодильників,

конденсаторів і інших апаратів при робочій температурі середовища не вище 105°C рекомендуються пробки з фібри, що розбухає при контакті з водою і надійно ущільнює місце течії.

Застосування конічних пробок скорочує час простою установок. При плановому ремонті і заміні дефектних труб пробки видаляють і велику частину їх використовують повторно.

Течія в місцях кріплення труб в умовах експлуатації усувається зазвичай розвальцьовуванням, оскільки застосування зварки часто неможливе за умовами техніки безпеки. При розвальцьовуванні на робочих місцях (без демонтажу теплообмінника) використання звичайного устаткування нерідко утруднене великою висотою вертикально розташованих теплообмінників, обмеженістю об'єму закритих камер і тому подібне. В цих випадках застосовують розвальцьовочний інструмент з ручним приводом.

Розвальцьовочний інструмент впливає на трубу і трубну решітку в процесі розвальцьовування. Найбільш точним і продуктивним методом контролю цього процесу в даний час є вимір і обмеження величини моменту, що крутить, на провідному елементі інструменту — хвостовику веретена.

Трьохроликівий розвальцьовочний інструмент з регульованою глибиною розвальцьовування набув в даний час найбільшого поширення як у нас, так і за рубежем. У пазах корпусу, що розташовані під кутом 120° один до іншого і під кутом α (де $\alpha=1^{\circ}30'—4^{\circ}30'$) до подовжньої осі інструменту, обертаються ролики, які утримуються від випадіння завальцьованими краями пазів. У середині корпусу обертається і переміщається в осьовому напрямі веретено з фіксуючою гайкою. Гвинт фіксує в корпусі положення підшипникового упору, що складається з нерухомої обойми, підшипника, стопорного кільця і різьбового упору, що обертається разом з корпусом. Глибину

розвальцьовування регулюють перекриттям підшипниковим упором частини довжини роликів переміщенням по різьбленню упору.

У якості привіда використовують пневмо- і електродвигуни, а також (значно рідше) гідромотори. Передача зазвичай складається із знижуючого редуктора або коробки швидкостей, механізму реверсу (при використанні нереверсивного двигуна) і пристрою для фіксації розвальцьовочного інструменту. Все більшого поширення набувають передачі з проміжним валом (зазвичай – телескопічного типу) між інструментом і приводом.

8 Техніка безпеки

Система організаційних і технічних заходів і засобів, що надають запобігання виробничий травматизм, носить назву техніки безпеки. Інструктаж з техніки безпеки проводить головний інженер з техніки безпеки. Особливе значення має інструктаж на робочому місці з показом безпечних методів роботи.

Техніка безпеки при ремонті обладнання забезпечується, насамперед, підготовкою робочого місця: будь те централізована, змішана організація ремонтної служби на підприємстві або ремонт по місці установки обладнання. Для цього повинні бути передбачені вільні проходи, шляхи доставки деталей, інструментів і пристосувань, огороження робочої зони, запобіжні й попереджувачі пристрої.

При роботі на висоті, як правило, повинні використовуватися інвентарні підмостки й ліса. У виняткових випадках з дозволу головного інженера ці обладнання можна виготовляти індивідуально по затвердженому проекту. Навантаження на них не повинно перевищувати розрахункову. Настили повинні забезпечуватися поруччям висотою не менш 1 м, мати поручні, бортову дошку висотою не менш 0,15 м і проміжну горизонтальну планку. Рами, стійки, сходи кріпляться до стійких конструкцій. Сходи повинні мати нахил до обрію не більш 60°.

Особливо високі вимоги пред'являються до підвісних і піднімальних лісів: вони повинні бути випробувані під навантаженням, що перевищує розрахункову в 1, 5 рази; підтримуючі й робочі канати повинні мати дев'ятикратний запас міцності.

Земляні роботи (особливо машинами) проводяться тільки з письмового дозволу керівництва підприємства за встановленою формою. Ця форма

передбачає узгодження зі службами: електроцеху, пожежної охорони, зв'язки, транспорту й водопостачання. Район проведення земляних робіт позначається знаками й вказівниками.

При ремонті обладнання електрозварювальні роботи повинні бути організовані відповідно до ГОСТ 12.3.003-75

«Роботи електрозварювальні. Загальні вимоги безпеки» і Правилами пожежної безпеки при проведенні зварювальних і інших вогневих робіт на об'єктах народного господарства. До зварювальних і інших вогневих робіт допускаються фахівці, що мають талон про перевірку знань вимог пожежної безпеки. Зварники проходять інструктаж з безпеки праці через кожні три місяці. Роботи з електрозварювання у взриво і пожеженебезбечних приміщеннях повинні проводитися відповідно до вимог Типової інструкції з організації безпечного ведення вогневих робіт, затвердженої Держтехнаглядом. Забороняється проводити зварювальні роботи на відкритому повітрі під час дощу й снігопаду.

Місця проведення постійних вогневих робіт затверджуються наказом керівника підприємства, а тимчасових – письмовим дозволом за спеціальною формою, підписаною особою, відповідальним за пожежну безпеку даного виробництва. Слід зазначити, що дозвіл видається тільки на робочу зміну. У випадку аварії зварювальні роботи проводяться без письмового дозволу, але під спостереженням керівника підрозділу. Місця проведення вогневих робіт повинні забезпечуватися засобами пожежогасіння. Після проведення вогневих робіт керівник об'єкта або особа, відповідальне за пожежну безпеку, повинен забезпечити перевірку місця проведення цих робіт протягом 3-5 годин після їхнього виконання.

Балони з киснем або горючим газом для газозварювальних робіт повинні мати на горловинах запобіжні ковпаки, що загвинчуються. Балони при

транспортуванні як наповнені, так і порожні не повинні зазнати поштовхам і ударам. Також вони повинні бути захищені від сонячних променів і інших джерел тепла й вилучені від пальників на відстань не менш як 5 м.

Майданчик, де встановлені ацетиленові генератори, повинен бути огороженим. Барабани з карбідом необхідно відкривати за допомогою латунного зубила й молотка або спеціальним ножем, змазаним товстим шаром солідолу. Застосування мідних інструментів для розкриття барабанів забороняється. Барабани з-під карбіду необхідно охороняти від води.

Ємнісне обладнання, що підлягає розкриттю для ремонту, повинне бути охолоджене, звільнене від продукту, відключене від діючої апаратури й трубопроводів. Потім це обладнання промивається, пропарюється гострою парою, продувається інертним газом і повітрям. Устаткування розкривається тільки в присутності начальника зміни й відповідального за проведення робіт особи, які перевіряють готовність цього встаткування до розкриття.

Після розкриття в апаратах і ємностях можна працювати тільки по письмовому дозволу начальника цеху. Цей дозвіл видається механікові цеху або особі, відповідальному за проведення робіт. Дозвіл містить дані про підготовленість устаткування до ремонту, особливі заходи безпеки при проведенні робіт, сполука бригади виконавців, термін дії цього дозволу, прізвище й посада особи, відповідального за провадження робіт. У дозволі вказуються також тривалість безперервної роботи в апараті й порядок зміни працюючих. Огляд, чищення й ремонт усередині обладнання роблять особи чоловічої статі не молодше 20 років, що пройшли медичне обстеження й проінструктовані про заходи безпечної роботи на даному об'єкті. Ремонт устаткування робиться бригадою, що полягає не менш чому із двох людей: один працює, а іншої спостерігає за ним. У випадку газонебезпечних робіт, що спостерігають повинне бути двоє. Повітря в обладнанні, перед входом

робітника всередину, перевіряється за допомогою відбору й аналізу проб на зміст токсичних і вибухонебезпечних речовин.

Робота усередині обладнання проводиться в ретельно пригнаному шланговому протигазу з відрегульованою подачею свіжого повітря. Робітник перед входом в апарат повинен поверх одягу надягти пояс із хрестоподібними лямками й прикріпленої до них сигнально-рятувальною мотузкою (довжиною не менш 10 м), яка вільним кінцем надійно закріплена поза обладнанням. Ця мотузка служить також для найпростішого зв'язку між працюючим і спостерігачем (дублером).

Якщо температура в апараті перевищує 50 °С, то працювати в ньому забороняється. Дублер завжди перебуває біля люка апарата й спостерігає за працюючим, тримаючи в руці сигнально-рятувальну мотузку. Спостерігач повинен бути споряджений так, щоб у будь-який момент він міг надати працюючому допомогу і якщо буде потреба витягти його з апарату. У період роботи усередині обладнання необхідно систематично робити аналіз повітря в ньому. У випадку збільшення концентрації небезпечних газів в апараті роботи повинні бути припинені, а працюючі вилучені з нього.

Виконувати ремонтні роботи усередині обладнання слід проводити неіскристим інструментом. Якщо потрібно при ремонті усередині апарата застосування відкритого вогню, то такі роботи можна виконувати тільки з письмового дозволу головного інженера підприємства. Цей дозвіл повинний бути погоджене з місцевими органами пожежного нагляду. Роботи при цьому виконуються строго по спеціально розробленій інструкції й при наявності акту огляду обладнання на відсутність небезпечних речовин у ньому. Вогневі ремонтні операції проводяться при повністю відкритих люках і кришках. Обладнання повинне бути заземлене до початку зварювальних робіт, а електродотримач заблоковано з пускачем так, щоб заміна електрода могла

проводитися тільки при відключеному струмі. Зварник повинен працювати усередині обладнання в діелектричних рукавичках, калошах шоломі, що ізолює, касці, підлокітниках і наколінниках.

Значний обсяг робіт при ремонті припадає на такелажні операції. Тому необхідно знати основні правила безпечного виконання цих робіт. Перед підйомом і транспортуванням вузлів і обладнання необхідно перевірити справність вантажопідйомних механізмів. Крім того, до ручного транспортування вузлів і деталей устаткування допускаються особи, що досягли вісімнадцятирічного віку й минулі медичний огляд. Слід пам'ятати, що одна людина може піднімати вантаж вагою не більш 500 Н.

Забороняється при роботі вантажопідйомних механізмів: перебувати під вантажем, що піднімається; відривати краном устаткування від бетонної підливи, що примерзло до землі; допускати розгойдування вантажу; залишати на тривалий час вантаж у піднятому стані; виправляти під час роботи лебідки неправильне намотування троса на барабан; допускати повне розмотування троса (на барабані повинне залишатися не менш півтора витків троса). Якщо встаткування експлуатується з використанням електроенергії, то перед його ремонтом необхідно відключити енергію, а на рубильнику повісити плакат «Не включати – працюють люди».

Великий обсяг робіт при ремонті припадає на слюсарні операції, тому слід розглянути правила безпечного виконання їх. Стенди й слюсарні верстати на стороні, зверненої до інших робочих місць і проходам, повинні мати сітку, що огорожує, висотою 600 мм. Перед виконанням ремонтних робіт необхідно перевіряти справність ручного інструмента й кріплення його на рукоятках. Нарощування гайкових ключів трубами для збільшення крутного моменту забороняється. Верстати для заточення повинні мати захисні запобіжні кожухи й прозорий екран для захисту очей від часток абразиву й

металу. Також забороняється відвертати й загортати гайки за допомогою молотка й зубила.

При ремонті деталей на свердлильних верстатах необхідно виконувати наступні правила:

- а) деталь повинна бути надійно закріплена на столі в лещатах або пристосуванні;
- б) стружку зі стола не можна видаляти рукою;
- в) забороняється подавати охолодну рідину змоченими обтиральними кінцями.

При ремонті обладнання в приміщеннях зниженої небезпеки можна застосовувати електроінструмент на напрузі 127 або 220 В, а в приміщеннях підвищеної небезпеки напруга не повинна перевищувати 36 В. Щодо цього пневмоінструмент більш безпечний і може застосовуватися в сирих приміщеннях, під дощем. Працювати із пневмоінструментом необхідно в захисних окулярах і з установкою екранів для захисту від шматків, що відлітають. Забороняється працювати з електро і пневмоінструментом на приставних сходах.

При ремонті й випробуванні обладнання необхідно передбачати заходи, які виключають ушкодження діючого встаткування. Крім того, забороняється проведення пневматичних випробувань устаткування й трубопроводів без видалення працюючих з небезпечної зони; не можна проводити одночасно вогневі роботи й роботи, які можуть викликати викид вибухонебезпечних або горючих газів. Під час гідравлічних і пневматичних випробувань забороняється перебувати персоналу поруч із апаратом. Пневматичні випробування не можна проводити в діючих цехах, на естакадах і в каналах, де є працюючі трубопроводи. Підвищення й зниження тиску при

випробуванні проводиться плавно й повільно. Забороняється робити огляд і під час підвищення й зниження тиску.

Випробування апаратів і машин проводять відповідно до технічних умов, правил і нормами для кожного виду обладнання. Перед випробуваннями обладнання забирають допоміжні пристосування, вантажопідйомні механізми, матеріали й інструмент, а також сторонні предмети з обертових частин і із внутрішніх порожнин апаратів. Особлива увага приділяється токопідводним і запобіжним обладнанням, стану заземлення, кріпленню фундаментних болтів.

Обкатування обладнання із приводами проводиться на холостому ходу й під навантаженням. При цьому забороняється усувати дефекти на ходу машини. У перервах випробування машину відключають від джерел живлення й вивішуються попереджувальні таблички з написами «Машинна несправна», «Вхід не пускати».

При ремонті неметалічних деталей устаткування часто застосовують токсичні речовини – ацетон, малеїновий ангідрид, бензин, чотирихлористий вуглець і т.п. Токсичні речовини виділяються при ремонтній обробці пластмас.

Ремонтні роботи з такими матеріалами повинні проводитися в ізольованих приміщеннях або в загальних, але на спеціальних виділених і обладнаних витяжною вентиляцією місцях. Для ремонту слід брати мінімально необхідну кількість токсичних матеріалів, а робітники повинні бути в спецодязі, окулярах і респіраторах.

Для попередження виробничого травматизму на кожному підприємстві усі працівники, незалежно від виробничого стажу і кваліфікації, повинні один раз на шість місяців проходити повторний інструктаж, а особи, які

виконують роботи підвищеної безпеки (зварювальники та ін) - один раз на три місяці.

Висновки

Конструкція підігрівача, його основних складових одиниць і розрахунки виконані відповідно до діючої в хімічному машинобудуванні нормативно-технічної документації.

Розрахунки підігрівача на міцність виконані в повному обсязі і підтверджують працездатність розробленої конструкції апарата.

У ході виконання даного дипломного проекту були розраховані матеріальний і тепловий баланси. Виконано конструктивний розрахунок проєктованого апарату, в ході якого визначено основні розміри проєктованої колони та підігрівача:

- 1) діаметр колони – 1600 мм;
- 2) висота колони – 5800 мм;
- 3) відстань між тарілками – 500 мм;
- 4) кількість тарілок – 7 шт;
- 5) діаметр підігрівача – 273 мм;
- 6) діаметр трубок – 20x2 мм;
- 7) довжина трубок – 3000 мм;
- 8) кількість трубок – 61 шт;

Визначено діаметри штуцерів, підібрані стандартні конструктивні елементи.

Накреслені графічна частина: загальний вигляд підігрівача, технологічна схема ректифікаційної установки, збірні одиниці апаратів.

Перелік джерел посилання

1. Дытнерский Ю.И. и др. Колонные аппараты. Каталог/ Под ред. Дытнерского Ю.И., 2-е изд-во. – М.: ЦИНИНЕФТЕХИММАШ, 1978. – С. 220.
2. Плановский А.Н., Николаев П.И. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии, 3-е изд. – М.: Химия, 1987. – 496 с.
3. В.В. Іванченко, О.І. Барвін, Ю.М. Штонда. Конструювання та розрахунок кожухотрубчастих теплообмінних апаратів. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. Даля. – 2006. – 208 с.
4. О.І. Барвін, І.М. Генкіна, В.В. Іванченко, Г.В. Тараненко, Ю.М. Штонда. Конструювання та розрахунок сталевих зварних посудин та апаратів. Обичайки та днища. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. Даля. – 2005. – 295 с.
5. Розрахунок на міцність, жорсткість і герметичність фланцевих з'єднань посудин та апаратів. Методика і приклад розрахунку. Сост. О.І. Барвін, В.В. Іванченко, І.М. Генкіна, В.Г. Табунціков, Г.В. Тараненко, Ю.М. Штонда. – Сєвєродонецьк, СТИ, 2005. – 67.
6. О.І. Барвін, І.М. Генкіна, В.В. Іванченко, Г.В. Тараненко, Ю.М. Штонда. Конструювання та розрахунок сталевих зварних посудин та апаратів. Фланцеві з'єднання. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. Даля. – 2007. – 303 с.
7. Машины и аппараты химических производств. Учебник для вузов по специальности «Машины и аппараты химических производств и предприятий строительных материалов». И.И. Поникаров и др. – М.: Машиностроение. 1989. – 368 с.

8. В.В. Іванченко, Д.О. Куліков, В.Г. Табунціков. Конструкції випарних апаратів. Конспект лекцій. Сєвєродонецьк, 2003. – 24 с.
9. Методичні вказівки до розрахунку елементів кожухотрубчастих теплообмінних і гріючих камер випарних апаратів на міцність, жорсткість та стійкість. Сєвєродонецьк, 2004. – 68 с.
10. В.В. Іванченко, В.Г. Табунціков. Конструкції пластинчастих та спіральних теплообмінних апаратів. Конспект лекцій. Сєвєродонецьк, 2003. – 28с.
11. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – Л.: Химия, 1987. – 576с.
12. Методические указания к выполнению курсовой работы на тему “Расчет ректификационной установки непрерывного действия”. - Ильиных А.А., Носач В.А., Резанцев И.Р., 2005 – 90с.
13. Доманский И.В., Исаков В.П. и др. Под общей редакцией Соколова В.Н. Машины и аппараты химических производств: Примеры и задачи. – Л.: Машиностроение, 1982. – 384 с.
14. Расчеты основных процессов и аппаратов нефтепереработки. Справочник/Под редакцией Судакова Е.Н., 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1979. – 568 с.
15. 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.
16. 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.