

УДК 66.045

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МОПП,

д. т. н, проф.

_____ Архипов О.Г.

« ____ » _____ 20 ____ р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до бакалаврської роботи на тему

«Установка ректифікації суміші вода – оцтова кислота
продуктивністю 2,5 т/год по кубовому залишку з розробкою підігрівача»

Науковий керівник Тараненко Геннадій Володимирович

Студентка групи МБ-14д Трач Альона Сергіївна

РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота на тему

« Установа ректифікації суміші вода – оцтова кислота продуктивністю 2,5 т/год в кубовому залишку з розробкою підігрівача»

Листів - 77, ілюстрацій - 8 , таблиць - 3, посилань -10 .

Об'єктом дослідження у дипломній роботі є технологічна схема установки перегонки і розрахунку ректифікаційної колони з сітчастими пластинами для відділення суміші вода – оцтова кислота та розрахунку даного апарату, який є невід'ємною частиною установки для перегонки.

Метою роботи є розрахунки ректифікаційної колони та заданого апарату (підігрівача), та підбір матеріалу для виготовлення підігрівача.

Проведено аналіз впливу структурних особливостей контактних пристроїв на розміри апарату колони ректифікації, побудований графік залежності діаметру отворів пластини від робочого об'єму колони і найбільш оптимального і був визначений дешевий апарат колони.

Проведено розрахунок заданого підігрівача та розрахунок на міцність елементів апарату. Для заданого апарату були підібрані конструкційні матеріали у відповідності для суміші вода – оцтова кислота.

Розглянуті питання виготовлення теплообмінних апаратів у промисловості та ремонт цих апаратів.

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

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень	5
Вступ	10
1. Аналітичний огляд	12
2. Опис технологічної схеми	16
3. Конструкційні матеріали для виготовлення теплообмінника	22
3.1 Визначення основних розмірів ректифікаційної колони та підігрівача	24
3.2 Визначення продуктивності по дистилляту і кубовому залишку	24
3.3 Визначення мінімального і дійсного числа	25
3.4 Визначення середніх значень параметрів по колоні, фізико-хімічних і термодинамічних констант фаз	27
3.5 Визначення діаметра колони	32
3.6 Визначення гідравлічного опору колони з сітчатими тарілками	32
3.7 Визначення діаметра штуцерів	33
3.8 Теплові розрахунки	36
4. Аналіз впливу конструктивних особливостей контактних пристроїв на розміри колонного апарата	39
5. Розрахунок на міцність підігрівача	43
5.1 Розрахункова температура	44
5.2 Допустимі напружини	45
5.3 Коефіцієнти міцності зварних швів	47
5.4 Додатки до розрахункових величин	47
5.5 Розрахунок кожуха теплообмінника	48
5.6 Розрахунок лінзового компенсатора	49
5.7 Визначення допоміжних величин	52
5.8 Розрахунок компенсатора на міцність	53

6. Технологія виготовлення теплообмінника	56
7. Ремонт теплообмінника	59
8. Техніка безпеки та охорона праці на виробництві	68
8.1. Загальні умови охорони праці та техніки безпеки на підприємствах	68
8.2. Вибухопожежебезпека	71
8.3. Виробниче освітлення	73
8.4. Повітря робочої зони	73
Висновки	75
Літературний огляд	76

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- В.К. – висококиплячий компонент;
ДБН – державні будівельні норми;
Н.К. – низькокиплячий компонент;
Ст – сталь;
КПД – коефіцієнт корисної дії;
СниП – будівельні норми і правила;
В – ширина, м;
ОУ-5 – вуглекислотні вогнегасники;
ОХП-10 – вогнегасник пінний;
ОПС-10, ОППС-100 – вогнегасник порошковий
П – швидкість проникнення корозії;
 G_W – продуктивність по кубового залишку, кг/год;
 G_p – продуктивність по дистиляту, кг/год;
 G_F – продуктивність по вихідній суміші, кг/год;
 a_F – масова концентрація низько киплячого компонента у вихідній суміші, % (мас.);
 a_p – масова концентрація низько киплячого компонента в дистиляті, % (мас.);
 a_W – масова концентрація низько киплячого компонента в кубовій остачі, % (мас.);
 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}^n – середня мольна концентрація низько киплячого компонента в нижній частині колони, % (мол.);

X_{cp}^s – 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_{xcp}^H – середня температура в нижній частині колони, °С;

t_{xw} – температура кубового залишку, °С;

t_{xf} – температура вихідної суміші, °С;

t_{xcp}^s – середня температура у верхній частині колони, °С;

t_{xp} – температура дистилляту, °С;

t_{xf} – температура вихідної суміші, °С;

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

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

ρ_{xcp} – середня щільність рідкої фази, кг/м³;

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

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

μ_{xcp} – 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;

σ_{xcp} – середнє поверхове натяжіння, Н/м;

σ_A – поверхневий натяг компонента А, Н/м;

σ_B – поверхневий натяг компонента В, Н/м;

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

$D_{x(20)}$ – 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}^s – 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 дистилаті, % (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;

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

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

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

$\mu_{y\,A}$ – динамічний коефіцієнт в'язкості компонента А, Па·с;

$\mu_{y\,B}$ – 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_m – 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, $\frac{Дж}{кг \cdot K}$;
 C_w' – питома теплоємність кубового залишку при його середній температурі, $\frac{Дж}{кг \cdot K}$;
 $G_{з.п.}$ – 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;
 $\Delta t_{ср}$ – середня різниця температур, °С;
 $Q_{Д}$ – кількість тепла, що віддається охолоджувальній воді при конденсації парів у дефлегматорі, Вт;
 $G_в$ – 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_n – початкова температура охолодної води, °С;
 $t_{p\ кін}$ – 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°C 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

Темою даного дипломного проекту є «Установка ректифікації суміші вода - оцтова кислота продуктивністю 2,5 т/год по кубовому залишку з розробкою підігрівача». Актуальність теми визначається тим, що на сьогоднішній день у хімічній, нафтохімічній, фармацевтичній, харчовій і інших галузях промисловості часто виникає необхідність розділити суміші двох або більшого числа рідин на окремі складові. Найбільш характерним прикладом є поділ нафтопродуктів на окремі фракції, що володіють різними летючість.

Процес поділу заснований на тому, що всі рідини, складові суміші, мають різні летючості або, інакше кажучи, - різні температури кипіння при однаковому зовнішньому тиску. Наслідком такою властивості рідин є різна кількість парів компонентів над рідкою сумішшю. Пари над сумішшю виявляються збагаченими парами більш летких компонентів. Якщо суміш таких парів відокремити від рідкої фази і повністю сконденсувати, то склад отриманого конденсату буде таким же, що і склад парів. Отже, нова рідка суміш виявиться більшою мірою збагаченою відносно більш летючим компонентом порівняно з вихідною рідкою сумішшю.

Для цього широко застосовують ректифікацію, яка здійснюється в апаратах, званих колони ректифікації. Вони бувають з безперервним контактом фаз - насадок колони, і зі ступінчастим контактом фаз - апарати тарілчастого типу (з ковпачковими, сітчатими, клапанними і ґратчастими тарілками).

Основний обсяг насадок колони заповнюється безладно насипаною дисперсною насадкою, тобто твердим матеріалом, хімічно інертним по відношенню до обох фаз і до цільового компоненту (кільця Рашига, Сідла Берля, Інталокс і ін.). Призначення шару насадки - створення значної поверхні контакту рідкої і газової фаз в результаті стікання рідини по всій поверхні

елементів насадки у вигляді плівки і проходження газового потоку в пустотах між елементами насадки і всередині них. Поверхня контакту фаз приблизно дорівнює сумарній поверхні насадки.

У тарельчатій колоні рідка і газова фази контактують тільки на тарілках, де газ барботує через шар рідини. Рідина перетікає з верхньої тарілки на нижню по вертикальних перетоках, а газова фаза проходить знизу вгору через отвори тарілок і спливає в шарах рідини у вигляді численних бульбашок. Поверхнею контакту фаз є сумарна поверхня всіх газових бульбашок, в шарах рідини на тарілках.

Бінарна суміш що підлягає поділу початкового складу вводиться на деяку проміжну по висоті колони тарілку (або проміжну крапку по висоті насадок колони). Суміш подається при температурі її кипіння (або близькою до неї). У кубі-випарнику з киплячою в ньому кубової рідини безперервно утворюється пара. Щоб підтримати енергоємний процес пароутворення, в куб необхідно подавати гріє водяна пара, при конденсації якого виділяється необхідна теплота. Утворені в кубі-випарнику пари рухаються вгору, вступають в контакт з рідкою фазою, збагачуються летючим компонентом. При цьому рідина збіднюється ім. Пройшовши весь шлях пар надходить в дефлегматор, де конденсується, ділиться на два потоки (флегма і дистиллят). Флегма повертається в колону, щоб паровому потоку було з чого витягувати летючий компонент, збіднюється більш летючим компонентом і приходить в куб-випарник. Таким чином, в ректифікаційної колоні здійснюється безперервний процес поділу подається в колону вихідної суміші на дистиллят і кубовий залишок. Основні переваги насадок колон - здатність працювати при великих навантаженнях по рідини, на потоках рідини і пара, що містять механічні домішки, на агресивних потоках. Ці колони прості по монтажу та виготовлення, довговічні.

1. Аналітичний огляд

Одним з найбільш розповсюджених методів розділення рідких однорідних сумішей, які мають у своєму складі два, або більше компонентів, є перегонка (дистиляція і ректифікація). Перегонка включає часткове випарювання бінарної суміші з послідуною конденсацією утвореної пари. За допомогою перегонки розділяють суміші, всі складові компоненти яких мають різну леткість при одній і тій же температурі. Якщо суміш в своєму складі має два компоненти (бінарна), то при перегонці пар буде мати більше низькокиплячого компонента (Н.К.), в порівнянні з вихідною сумішшю. Таким чином, в процесі перегонки рідинна фаза збіднюється, а парова збагачується н.к. Рідина, яка не випарувалась, має склад більш багатий висококиплячим компонентом (В.К.). Ця рідина називається кубовим залишком, а рідина, що отримана в результаті конденсації пари – дистилятом, або ректифікатом. Степінь збагачення парової фази н.к. при рівних умовах залежить від виду перегонки. Існують два принципово відмінних виду перегонки: проста перегонка (дистиляція) та ректифікація. Перегонка буває декілька видів: фракційна перегонка, перегонка з дефлегмацією, перегонка з водяною парою. Просту перегонку застосовують тільки для розділення однорідних сумішей, леткості яких дуже різняться, тобто для попереднього грубого розділення. Значно більш повне розділення рідких сумішей на компоненти досягається шляхом ректифікації.

Перегонка рідин це процес, в якому колективна рідка суміш нагрівається до кипіння, а пара, що утворюється відбирається і конденсується. У результаті отримують рідину-конденсат, склад якої відрізняється від складу початкової суміші. Повторюючи багато разів процеси випаровування конденсату і конденсації, можна практично повністю розділити вихідну суміш на чисті складові частини (компоненти). Процес перегонки заснований на тому, що рідини, складові суміш, володіють різним тиском (пружністю) пари при одній і тій же температурі. Тому склад пара, а отже, і склад рідини, що виходить при

конденсації пари, будуть дещо відрізнятися від складу початкової суміші: легколетучого (або низькокиплячого) компонента в парі буде міститися більше, ніж у перегонній рідині. Очевидно, що в невипареній рідині концентрація труднолетучого (або висококиплячого) компонента при цьому повинна збільшитися. У простому випадку перегонка майже не відрізняється від випарки. При випарюванні піддаються розчини, що складаються з летючого розчинника і практично нелетючого розчиненої речовини, а при перегонці в пар переходять і розчинник і розчинена речовина. Перегонка є одним з найважливіших технологічних процесів розділення і очищення рідин і зріджених газів в хімічній, нафтохімічній, фармацевтичній, харчовій та інших галузях промисловості.

Перегонку поділяють на два основних види: просту перегонку (або дистиляцію) і ректифікацію. До простої перегонки відносять також перегонку з водяною парою і молекулярну дистиляцію. Проста перегонка з дефлегмацією проводиться для збільшення ступеня поділу вихідної суміші. В цьому випадку пари, що йдуть з перегінного куба, надходять в дефлегматор, де частково конденсуються. При частковій конденсації утворюється флегма, збагачена труднолетучим компонентом, яка зливається назад в куб і взаємодіє з вихідними з куба парами. Пари, збагачені легколетучим компонентом, надходять в конденсатор. Дистилят збирається в збірник. Кубовий залишок видаляється з перегінного куба після досягнення заданої концентрації. Перегонку з водяною парою проводять з метою зниження температури кипіння вихідної суміші речовин, киплячих при температурах понад 100°C , компоненти якої нерозчинні в воді. При такій перегонці відганяти компонент виходить зазвичай у вигляді суміші з водою при температурі кипіння або атмосферному тиску меншому, ніж температура кипіння води. Молекулярна перегонка використовується для поділу компонентів, киплячих при високих температурах і не володіють необхідною термічною стійкістю. Процес проводиться під глибоким вакуумом, відповідним залишковим тиску 1,31-0,131. Молекулярна перегонка протікає шляхом випаровування рідини з її поверхні.

Процес здійснюється на білзрасположенних поверхнях випаровування і конденсації, причому відстань між ними (зазвичай 20-30 мм) має бути менше довжини вільного пробігу молекул.

Під простою перегорокою розуміють процес одноразового часткового випаровування вихідної рідкої суміші і конденсації, що утворюється при цьому. Її застосовують для розділення сумішей. Зазвичай просту перегонку використовують для попереднього розділення, очищення речовин від домішок, смол, забруднень. При цьому сконденсовані пари називають дистилятом, а решту пропарений рідина - залишком.

Теплообмінник - технічний пристрій, в якому здійснюється теплообмін між двома середовищами, які мають різні температури.

- Кожухотрубні теплообмінники.

До корпусу, кожуха по торцях приварені трубні решітки, в яких закріплені пучки труб. В основному труби в ґратах кріпляться з ущільненням розвальцюванням або якимось іншим способом залежно від матеріалу труб і тиску в апараті. Трубні решітки закриваються кришками на прокладках і болтах або шпильках. На корпусі є патрубки (штуцери), через які один теплоносій проходить через міжтрубний простір. Другий теплоносій через патрубки (штуцера) на кришках проходить по трубах. У багатоходову теплообміннику в корпусі і кришках встановлені перегородки для підвищення швидкості теплоносіїв. Для збільшення тепловіддачі застосовують ребра теплообмінних труб, яке виконується або накаткою, або навивкою стрічки. У разі необхідності, конструкція апарату повинна передбачати його очищення.

- Теплообмінники типу «труба в трубі».

Окремі елементи з'єднані між собою патрубками і калачами, утворюючи цілісний апарат необхідного розміру. Ці теплообмінники знаходять собі застосування при невеликих витратах теплоносіїв і при високому тиску.

- Теплообмінники пластинчасті.

Такі теплообмінники складаються з набору пластин, в яких відштамповані

хвилясті поверхні і канали для протоки рідини. Пластини ущільнюються між собою гумовими прокладками і стяжками. Такий теплообмінник простий у виготовленні, легко модифікується (додаються або прибираються пластини), його легко чистити, у нього високий коефіцієнт теплопередачі, але його не можна застосовувати при високому тиску.

- Теплообмінники спіральні.

Теплообмінник являє собою два спіральних каналу, навитих з рулонного матеріалу навколо центральної розділювальної перегородки.

2. Опис технологічної схеми та конструкції колони

Колона ректифікації та підігрівач це складові частини апаратурного оформлення процесу ректифікації. Вони відносяться до основного обладнання. Технологічна схема ректифікаційної установки представлена на рисунку 2.1

Установка працює наступним чином:

Суміш яка виходить з видаткової ємності (1) відцентровим насосом (2) подається в підігрівач (3), де суміш нагрівається до температури кипіння і надходить на живильну тарілку ректифікаційної колони (5). Рідина котра стікає, потрапляє в куб, а з нього до кип'ятильника (4). З кип'ятильника пари рідини надходять в нижню частину колони і рухаються назустріч вихідної суміші, барботирую через неї і збагачуючись низькокиплячим компонентом. Пари, які виходять з колони, надходять до дефлегматора (6) і конденсуються. Дистилят надходить в роздільник (7), де розділяється на два потоки: одна частина в якості флегми повертається в колону і стікає по тарілках вниз, збагачуючись при цьому висококиплячих компонентах, а інша частина надходить в холодильник (8), яка охолоджується і надходить в приймальну ємність (9). Під час роботи частина рідини з куба відводиться в холодильник (11) і потрапляє в приймальну ємність (12) в якості кубового залишку.

Колона (рисунок 2.2) призначена для розділення рідких сумішей, складові яких мають різну температуру кипіння. Класична колона є вертикальний циліндр з контактними пристроями всередині.

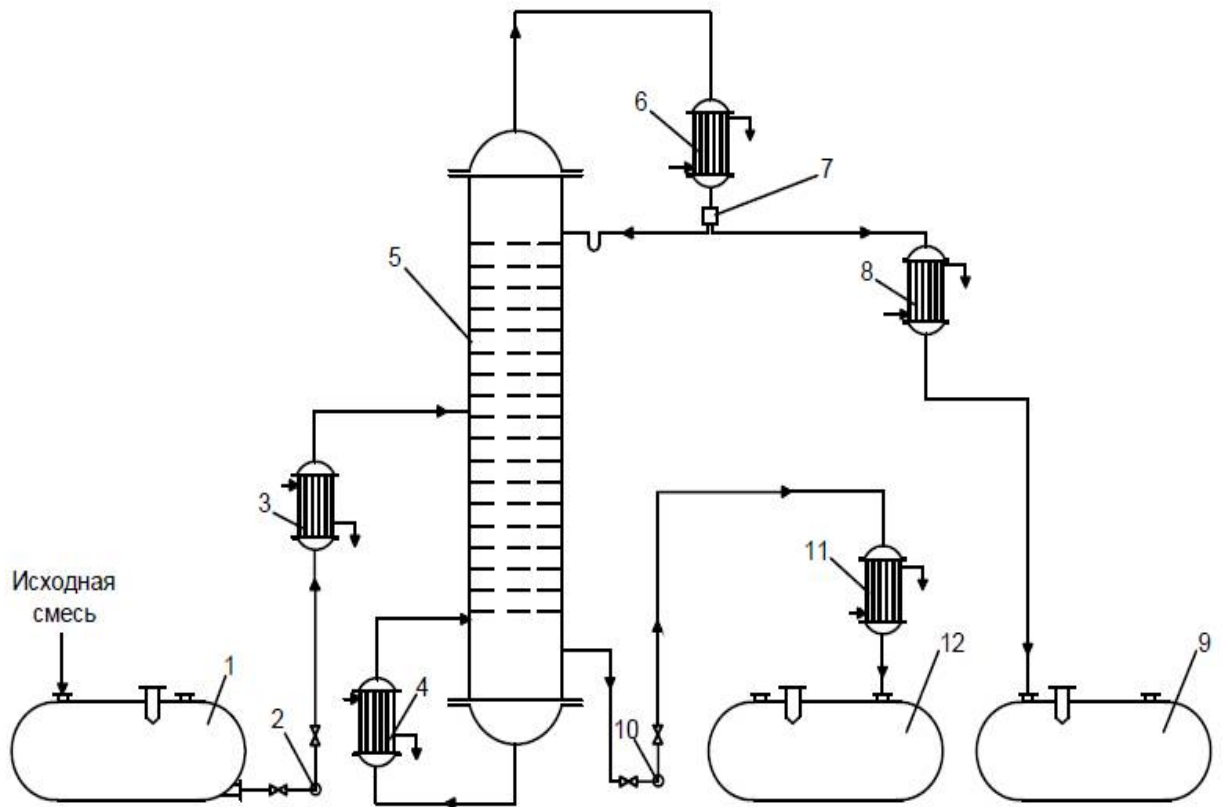


Рисунок 2.1 Технологічна схема виробництва

До складу технологічної схеми виробництва входять:

- 1 - ємність для вихідної суміші; 2, 9 - насоси; 3 - підігрівач;
 4 - кип'ятильник; 5 - ректифікаційна колона; 6 - дефлегматор; 7 - холодильник
 дистилляту; 8 - ємність для збору дистилляту; 10 - холодильник кубової рідини;
 11 - ємність для кубовою рідини

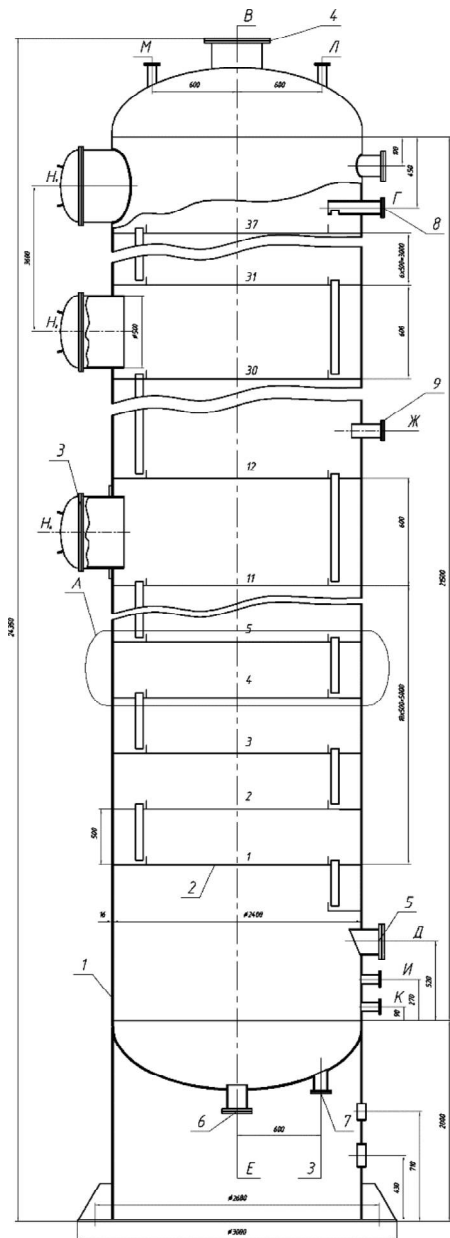


Рисунок 2.2 – Колона ректифікації з сітчастими тарілками

Колонна ректифікації являє собою вертикальний циліндр, усередині якого розташовуються контактні пристрої - тарілки або насадки. Відповідно, розрізняють ректифікаційні колони тарілчасті і насадок. Нагрівається рідка суміш надходить з ємності в колонну ректифікації, де «легкі» фракції (продукти, що мають більш низьку температуру конденсації) концентруються у верхній частині колони, а «важкі» (продукти, що мають більш високу температуру конденсації) - в нижній. Колонна ректифікації складається з корпусу, люка, пристрою вводу, вентиля, колонки рівнеміру, опори, відбійника сітчастого, штуцера входу пари, цапфи та тарілок.

Вихідна суміш, нагріта до температури харчування надходить в колону в якості харчування. Пари піднімаються у верхню частину колони, охолоджуються, конденсуються в холодильнику-конденсаторі і подаються назад на верхню тарілку колони як зрошення. Таким чином у верхній частині колони протivotоком рухаються пари (від низу до верху) і стікає рідина (зверху вниз). Стікаючи вниз по тарілках, рідина збагачується висококиплячими компонентами, а пари, чим вище піднімаються, тим більше збагачуються легкокиплячими компонентами. Таким чином, відводиться з верху колони продукт збагачений легкозакипаючим компонентом. Продукт, що відводиться з верху колони, називають дистилятом. Частина дистиляту, сконденсованого в холодильнику і повернутого назад в колону, називають зрошенням або флегмою. Відношення кількості вертаємої в колону флегми і кількості відведеного дистиляту називається флегмовим числом.

Для створення висхідного потоку пари в кубовій частині ректифікаційної колони частина кубової рідини направляють в теплообмінник, що утворилися пари подають назад під нижню тарілку колони. Таким чином, в кубі колони створюється 2 потоку: 1 потік - рідина, що стікає з верху (із зони харчування + зрошення) 2 потік - пари, що піднімаються з дна колони. Кубова рідина, стікаючи зверху вниз по тарілках, збагачується висококиплячим компонентом, а пари збагачуються легкозакипаючим компонентом.

Підігрівачем вихідної суміші є кожухотрубний теплообмінник (рисунок 2.3).

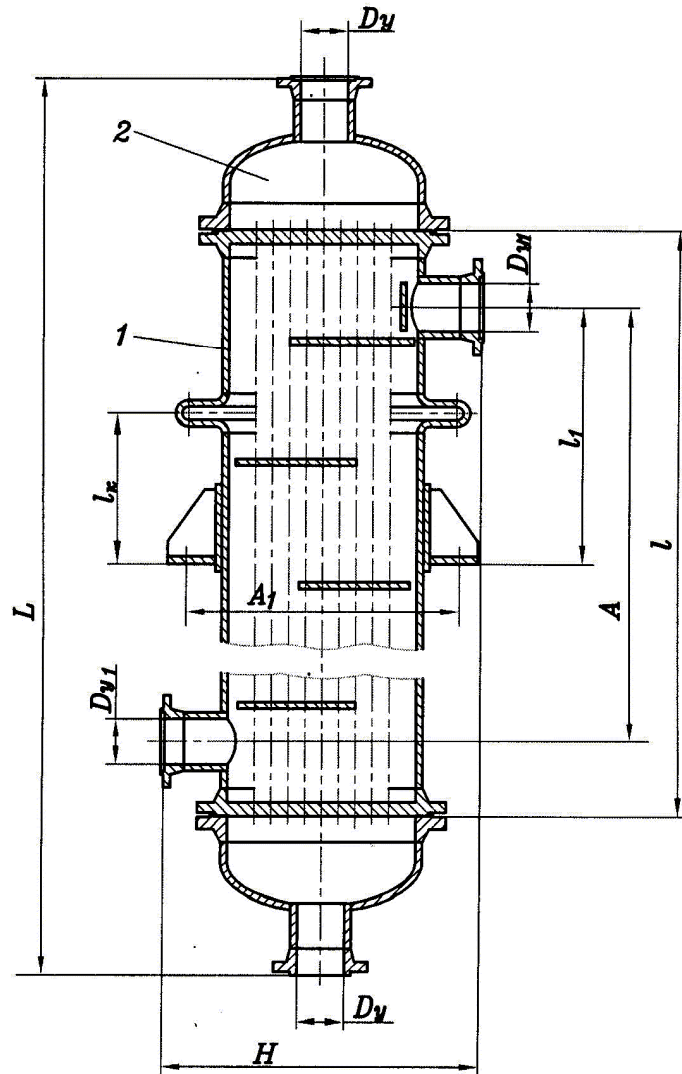


Рисунок 2.3. Кожухотрубчастий теплообмінник з нерухомими трубними решітками та температурним компенсатором на кожусі вертикальний одноходовий по трубах

До корпусу, кожуха по торцях приварені трубні решітки, в яких закріплені пучки труб. В основному труби в ґратах кріпляться з ущільненням розвальцюванням або якимось іншим способом залежно від матеріалу труб і тиску в апараті. Трубні решітки закриваються кришками на прокладках і болтах або шпильках. На корпусі є патрубки (штуцери), через які один теплоносій проходить через міжтрубний простір. Другий теплоносій через патрубки (штуцера) на кришках проходить по трубах. У багатходову теплообміннику в корпусі і кришках встановлені перегородки для підвищення швидкості

теплоносіїв. Для збільшення тепловіддачі застосовують ребра теплообмінних труб, яке виконується або накаткою, або навивкой стрічки. У разі необхідності, конструкція апарату повинна передбачати його очищення.

3. Конструкційні матеріали для виготовлення теплообмінника

При виборі і створенні теплообмінної апаратури необхідно враховувати такі важливі чинники, як теплове навантаження апарату, температурні умови процесу, фізико-хімічні параметри робочих середовищ, умови теплообміну, характер гідравлічних опорів, його корозійну стійкість та термін експлуатації.

Хімічні продукти в тій чи іншій мірі завжди викликають корозію матеріалу апарату, тому для виготовлення їх застосовуються різні метали (залізо, чавун, алюміній) і їх сплави. Найбільше застосування знаходять сталі. Завдяки здатності змінювати свої властивості залежно від складу, можливості термічної і механічної обробки сталі з низьким змістом вуглецю добре штамнуються, але погано обробляються різанням. Додатки інших металів - легуючих елементів - покращують якість сталей і додають їм особливі властивості (наприклад, хром покращує механічні властивості, зносостійкість і корозійну стійкість; нікель підвищує міцність, пластичність; кремній збільшує жаростійкість)

Вибір матеріалу проводиться виходячи з умов роботи апарату. Так як середовище агресивне (вода - оцтова кислота), для даних умов ректифікації підходить хромонікелева сталь. З хромонікелевих сталей найбільш широке поширення для хімічного апарату і машинобудування отримали сталі, містять 17-19% Cr і 8-10% Ni. За довідником вибираємо для деталей колони леговану сталь X18H10T, швидкість корозії 0,1 мм / рік. Дана сталь володіє найбільшою хімічною і корозійною стійкістю при її робочих параметрах, має гарну зварюваність і допускає холодну і гарячу механічну обробку, а також є недефіцитним і стійка в оцтовій кислоті будь-якої концентрації при будь-якій температурі до температури кипіння включно. [7]

Беручи до уваги властивості і параметри (температура, тиск) робочих середовищ в апараті для виготовлення металевих елементів апарату, які контактують з оброблювальними середовищами (теплоносіями) використовуємо сталь 12X18H9T ГОСТ 5632-72. А для решти металевих

елементів використовуємо конструкційну вуглецеву сталь звичайної якості марки Ст10 ГОСТ380-94.

Для виготовлення ущільнювальних прокладок фланцевих з'єднань використовуємо пароніт маслобензотривкий ПМБ ГОСТ 481-80.

Для виготовлення кріпильних елементів використовуємо конструкційну вуглецеву сталь підвищеної якості марки Сталь 35 ГОСТ 1050-88.

3.1. Визначення основних розмірів ректифікаційної колони та підігрівача

Вихідні дані:

Продуктивність по вихідній суміші - 2,5 т / год;

Концентрація оцтової кислоти:

- у вихідній суміші – $X_F = 35\%$ (мас.),
- в дистиллят – $X_P = 90\%$ (мас.),
- в кубовому залишку - $X_W = 0,02\%$ (мас.).

температура:

- охолоджуючої води - 17°C ,
- дистилляту після холодильника - 22°C ,
- кубового залишку після холодильника - 21°C ,
- вихідної води - 13°C .

Тиск насиченої водяної пари - 5 кгс / см²,

Коефіцієнт надлишку флегми - 2,1.

Діаметр отворів в тарілці – 20мм

КПД – 0,6

Колона працює при атмосферному тиску.

Вихідна суміш і флегма вводяться в апарат при температурі кипіння.

3.2. Визначення продуктивності по дистилляту і кубовому залишку

Продуктивність колони по дистилляту визначаємо за формулою (2.3):

$$G_P = G_F \cdot \frac{X_F - X_W}{X_P - X_W} = 0,9722 \cdot \frac{0,3 - 0,02}{0,91 - 0,03} = 0,4462 \text{ кг/с.}$$

Продуктивність колони по кубовому залишку визначаємо з рівняння (2.1):

$$G_F = G_P + G_W = 0,4462 + 0,9722 = 1,4184$$

$$G_W = G_F - G_P = 1,4184 - 0,4462 = 0,9722 \text{ кг/с.}$$

Превірка:

$$1,4187 \cdot 0,3 = 0,4462 \cdot 0,91 + 0,9722 \cdot 0,02$$

$$0,4255 = 0,4060 + 0,019$$

$$0,4255 = 0,4255.$$

3.3. Визначення мінімального і дійсного числа

Перераховуємо масові концентрації в молярний за формулою

$$X = \frac{\frac{\alpha}{M_A}}{\frac{\alpha}{M_A} + \frac{1-\alpha}{M_B}},$$

де X – концентрація низькокиплячого компонента А в бінарній суміші, моль частки - зміст низькокиплячого компонента А в бінарній суміші, мас. частки; M_A , M_B - молярна маса компонента А і В (відповідно).

Молярні маси: оцтова кислота - 58 кг / кмоль. вода - 18 кг / кмоль. Тоді концентрація вихідної суміші:

$$X_F = \frac{\frac{x_F}{M_A}}{\frac{x_F}{M_A} + \frac{1-x_F}{M_B}} = \frac{\frac{0,3}{18}}{\frac{0,3}{18} + \frac{1-0,3}{58}} = 0,63;$$

дистилляту:

$$X_P = \frac{\frac{x_P}{M_A}}{\frac{x_P}{M_A} + \frac{1-x_P}{M_B}} = \frac{\frac{0,91}{18}}{\frac{0,91}{18} + \frac{1-0,91}{58}} = 0,967;$$

кубового залишку:

$$X_W = \frac{\frac{x_W}{M_A}}{\frac{x_W}{M_A} + \frac{1-x_W}{M_B}} = \frac{\frac{0,02}{18}}{\frac{0,02}{18} + \frac{1-0,02}{58}} = 0,064.$$

Мінімальне флегмове число визначаємо графо-аналітичним способом. Для цього на підставі досвідчених даних [7, 8], в координатах у-х будемо криву рівноваги для суміші метиловий спирт-вода при атмосферному тиску (рис. 3.1) і криву температур кипіння і конденсації (рис. 3.2).

Дані по рівноваги для інших бінарних сумішей наведені в Додатку А даного методичного посібника.

Таблиця 3.1 - Рівноважні дані для суміші вода- оцтова кислота

Зміст компонента А, мол. %		Температура кипіння, t, °C
У рідині (x)	в парі (y)	
0	0	118,1
5	9,2	115,4
10	16,7	113,8
20	30,3	110,1
30	42,5	107,5
40	53	105,8
50	62,6	104,4
60	71,6	103,3
70	79,5	102,1
80	86,4	101,3
90	93	100,6
100	100	100

На діаграмі у-х з точки 1 ($x_p = y_p$) через точку 2 (X_F, y_F^*) проводимо пряму лінію до перетину з віссю у. Відрізок, що відсікається на осі у, позначимо через $B_{\max} = 0,53$. За величиною цього відрізка знаходимо мінімальне флегмове число (формула 2.6):

$$R_{\min} = \frac{x_p}{B_{\max}} - 1 = \frac{0,967}{0,31} - 1 = 2,119.$$

Дійсне флегмове число, використовуючи рівняння (2.7)

$$R = K_R \cdot R_{\min} = 2,1 \cdot 2,119 = 4,45.$$

На діаграмі у-х наносимо лінії робочих концентрацій (робочі лінії) для оптимального флегмового числа $R = 5,5686$ (рис. 3.3): для цього на осі у відкладаємо відрізок

$$B = \frac{x_p}{R + 1} = \frac{0,967}{4,45 + 1} = 0,177,$$

кінець якого з'єднуємо прямою з точкою 1 ($x_p = y_p$); точку перетину цієї прямої з вертикальною лінією, проведеної з абсциси X_F , позначимо точкою 2 (X_F, y_F) і, нарешті, крапку 2 з'єднуємо з точкою 3 ($x_W = y_W$). Лінії 1-2 і 2-3 є робочими лініями для верхньої і нижньої частин колони, відповідно.

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

Рідка фаза.

Середня мольна концентрація в нижній частині колони:

$$X_{cp}^n = \frac{X_W + X_F}{2} = \frac{0,064 + 0,63}{2} = 0,347.$$

Середня мольна концентрація у верхній частині колони:

$$X_{cp}^e = \frac{X_F + X_P}{2} = \frac{0,063 + 0,967}{2} = 0,798.$$

Середня мольна концентрація по колоні:

$$X_{cp} = \frac{X_{cp}^n + X_{cp}^6}{2} = \frac{0,347 + 0,798}{2} = 0,572.$$

Середня масова концентрація по колоні:

$$a_{cp} = \frac{x_{cp} \cdot M_A}{x_{cp} \cdot M_A + (1 - x_{cp}) \cdot M_B},$$
$$a_{cp} = \frac{0,573 \cdot 18}{0,573 \cdot 18 + (1 - 0,573) \cdot 58} = 0,293.$$

Середня температура в нижній частині колоні:

$$t_{xcp}^n = \frac{t_{XW} + t_{XF}}{2} = \frac{114 + 102}{2} = 108,9 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Середня температура в верхній частині колоні:

$$t_{xcp}^6 = \frac{t_{XF} + t_{XP}}{2} = \frac{102 + 100}{2} = 101 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Середня температура по колонці:

$$t_{Xcp} = \frac{t_{xcp}^n + t_{xcp}^6}{2} = \frac{108,9 + 101}{2} = 101,56 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Значення t_{XW} , t_{XF} , t_{XP} взяті з діаграм $t - x$, y (рис. 3.2).

Середня мольна маса

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

$$M_{xcp} = 18 \cdot 0,572 + 58 \cdot (1 - 0,572) = 35,129 \text{ кг/кмоль}.$$

Середня щільність визначається по формулі:

$$\rho_{xcp} = \frac{\rho_A \cdot \rho_B}{\rho_B \cdot a_{cp} + \rho_A (1 - a_{cp})},$$

де ρ_A і ρ_B - щільність компонент А і В при температурі t_{xcp} . $\rho_A = 954,4375 \text{ кг/м}^3$ при $t_{xcp} = 104,75 \text{ } ^\circ\text{C}$ [1, с. 512]; Приложение Б. $\rho_B = 949,45 \text{ кг/м}^3$.

$$\rho_{xcp} = \frac{954,4375 \cdot 949,45}{949,45 \cdot 0,293 + 954,4375(1 - 0,293)} = 950,9059 \text{ кг/м}^3.$$

Середню в'язкість розраховуємо за рівнянням:

$$\lg \mu_{x \text{ ср}} = X_{\text{ср}} \cdot \lg \mu_A + (1 - X_{\text{ср}}) \cdot \lg \mu_B,$$

де μ_A и μ_B - динамічні коефіцієнти в'язкості компонентів А і В, Па·с. $\mu_A = 0,2716$ мПа · с при $t_{\text{ср}} = 104,75$ °С [1, с. 516]; Додаток Б.

$$\mu_B = 0,2626 \text{ мПа} \cdot \text{с}.$$

$$\lg \mu_{x \text{ ср}} = 0,572 \cdot (-0,572) + (1 - 0,5807) \cdot (-0,5807) = -0,0752$$

$$\mu_{x \text{ ср}} = 0,8410 \text{ мПа} \cdot \text{с} = 0,841 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Середнє поверхневий натяг визначаємо 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 натягу компонентів А и В, н/м.

$$\sigma_A = 57,95 \text{ н/м при } t_{x \text{ ср}} = 104,75 \text{ °С [1, с. 526]; Додаток Б.}$$

$$\sigma_B = 19,3725 \text{ н/м}.$$

$$\sigma_{x \text{ ср}} = 57,95 \cdot 0,572 + 19,3725 (1 - 0,572) = 41,4388 \cdot 10^{-3} \text{ н/м}.$$

Коефіцієнт дифузії при середній температурі визначаємо [1]:

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

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

$b = \frac{0,2\sqrt{\mu}}{\sqrt[3]{\rho}}$, тут μ [мПа · с] и ρ [кг/м³] – в'язкість і щільність розчинника (води) при

$t = 20$ °С; $t = t_{x \text{ ср}}$. Коефіцієнт дифузії при 20 ° С розраховуємо по емпіричному рівнянню [1]:

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

де V_A і V_B - молярний обсяги компонентів А і В, см³ / моль;

A, B - коефіцієнти, що залежать від властивостей компонентів, $A = 1$; $B = 1$ [1, с. 269]; Додаток Б, таблиця Б.4

$$b = \frac{0,2\sqrt{\mu}}{\sqrt[3]{\rho}} = \frac{0,2\sqrt{1,22}}{\sqrt[3]{1048}} = 0,0216.$$

Молярний обсяги компонентів [1, с. 288]; Додаток Б, таблиця Б.5:

$$V_A = 14,8 \text{ см}^3/\text{моль};$$

$$V_B = 68,4 \text{ см}^3/\text{моль}.$$

$$D_{x(20)} = \frac{1 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 1 \cdot \sqrt{1,22} (14,8^{1/3} + 68,4^{1/3})^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{18} + \frac{1}{58}} = 5,67 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}.$$

$$D_{x(t)} = 5,67 \cdot 10^{-9} [1 + 0,0216 (104,75 - 20)] = 16,049 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Парова фаза.

Середня мольна концентрація в нижній частині колони:

$$y_{cp}^n = \frac{y_W + y_F}{2} = \frac{0,64 + 0,68}{2} = 0,372.$$

Середня мольна концентрація у верхній частині колони:

$$y_{cp}^e = \frac{y_F + y_P}{2} = \frac{0,68 + 0,96}{2} = 0,82.$$

Середня мольна концентрація по колоні:

$$y_{cp} = \frac{y_{cp}^n + y_{cp}^e}{2} = \frac{0,372 + 0,82}{2} = 0,59.$$

Середня температура в нижній частині колони:

$$t_{y_{cp}}^n = 108,51^\circ\text{C}.$$

Середня температура у верхній частині колони:

$$t_{y_{cp}}^e = 101,78^\circ\text{C}.$$

Температури, знайдені з діаграми $t - x, y$ (рис. 3.2).

Середня температура по колоні:

$$t_{y\text{cp}} = \frac{t_{y\text{cp}}^n + t_{y\text{cp}}^6}{2} = \frac{108,51 + 101,78}{2} = 105,14 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Средня мольная маса

$$M_{y\text{cp}} = M_A \cdot y_{\text{cp}} + M_B \cdot (1 - y_{\text{cp}}) = 18 \cdot 0,59 + 58 \cdot (1 - 0,59) = 34,4 \text{ кг/кмоль}.$$

Средня густина:

$$\rho_{y\text{cp}} = \frac{M_{y\text{cp}}}{22,4} \cdot \frac{P}{P_0} \cdot \frac{T_0}{T},$$

тут $T = 273 + t_{y\text{cp}}$, $^\circ\text{C}$; $P = 1 \text{ кгс/см}^2$ (тиск в колоні атмосферний).

$$\rho_{y\text{cp}} = \frac{34,4}{22,4} \cdot \frac{1}{1,013} \cdot \frac{273}{378,14} = 1,094 \text{ кг/м}^3.$$

Средня в'язкість [1]:

$$\frac{M_{y\text{cp}}}{\mu_{y\text{cp}}} = \frac{y_{\text{cp}} \cdot M_A}{\mu_{yA}} + \frac{(1 - y_{\text{cp}}) \cdot M_B}{\mu_{yB}},$$

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

$\mu_{yA} = 1,37 \cdot 10^{-5} \text{ Па}\cdot\text{с}$ при $t_{y\text{cp}} = 101 \text{ }^\circ\text{C}$ [9, с. 8, 9]; Додаток Б.

$$\mu_{yB} = 1,15 \cdot 10^{-5} \text{ Па}\cdot\text{с}.$$

$$\frac{34,4}{\mu_{y\text{cp}}} = \frac{0,59 \cdot 18}{1,37 \cdot 10^{-5}} + \frac{(1 - 0,59) \cdot 58}{1,15 \cdot 10^{-5}},$$

$$\mu_{y\text{cp}} = 1,2156 \cdot 10^{-5} \text{ Па}\cdot\text{с}.$$

Коефіцієнт дифузії для парової фази визначаємо за рівнянням [1]:

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

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

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

$$D_y = \frac{4,3 \cdot 10^{-7} \cdot 378,14^{3/2}}{1 \cdot (14,8^{1/3} + 68,4^{1/3})^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{18} + \frac{1}{58}} = 12,45 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}.$$

3.5. Визначення діаметра колони

Діаметр колони визначаємо за рівнянням (2.8). Витрата, що проходить по колоні пара, може бути визначений:

$$V_y = \frac{G_y}{\rho_{y\text{ ср}}} = \frac{G_p \cdot (R+1)}{\rho_{y\text{ ср}}} = \frac{0,4166 \cdot (4,45+1)}{1,094} = 2,075 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Швидкість пари в колоні визначаємо за рівнянням (2.9). Попередньо приймаємо відстань між тарілками $h = 300$ мм. Використовуємо раніше знайдені $\rho_{x\text{ ср}} = 950,750$ кг / м³ і $\rho_{y\text{ ср}} = 0,9596$ кг / м³. Для сітчатих тарілок за графіком (рис. 2.2) знаходимо $C = 0,032$.

Тоді швидкість пара в колоні:

$$W = 1,6 \text{ м/с}.$$

Тоді діаметр колони

$$D = \sqrt{\frac{V_y}{0,785 \cdot W}} = \sqrt{\frac{0,6227}{0,785 \cdot 1,6}} = 1,28 \text{ м}.$$

Приймаємо стандартне значення діаметра колони $D = 1,4$ м (див. Додаток В) і уточнюємо швидкість пара в колоні:

$$W = \frac{V_y}{0,785 \cdot D^2} = \frac{3,0543}{0,785 \cdot 1,6^2} = 1,519 \text{ м/с}.$$

3.6. Визначення гідравлічного опору колони з сітчатими тарілками

Гідравлічний опір колони ректифікації визначаємо за рівнянням (2.20):

$$\Delta P_k = n \cdot \Delta P_T.$$

Для Сітчатої тарілки приймаємо: діаметр отворів $d_o = 20$ мм, висота переливу $h_{пер} = 0,03$ мм, вільне перетин тарілки $F_o = 0,08$ (8%).

Гідравлічний опір Сітчатие тарілки визначимо за рівнянням (2.22).

$$\Delta P_{сх} = \zeta \frac{W_o^2 \cdot \rho_{ycp}}{2} = 1,82 \frac{16,8578^2 \cdot 1,094}{2} = 282,9179 \text{ Па.}$$

Швидкість пара в отворах:

$$W_o = W / F_o = 1,34 / 0,08 = 16,8578 \text{ м/с.}$$

$$\Delta P_{\sigma} = \frac{4\sigma}{1,3d_o + 0,08d_o^2} = \frac{4 \cdot 41,4388 \cdot 10^{-3}}{1,3 \cdot 0,02 + 0,08 \cdot 0,02^2} = 6,3673 \text{ Па.}$$

Для визначення статичного тиску рідини на тарілці визначаємо витрата рідкої фази в нижній частині колони:

$$L = G_p \cdot R + G_F = 1,4997 \cdot 4,45 + 3,999 = 10,67 \text{ т/ч}$$

або в об'ємному вираженні 11,22 м³/ч.

Для колони D = 1,4 м довжина зливного борту l_{сл} = Π = 1,57 м (див. Додаток

В), тоді інтенсивність потоку $\frac{L}{l_{сл}} = \frac{14,77}{1,57} = 9,40 \frac{\text{м}^3}{\text{ч} \cdot \text{м}}$.

Так як $\frac{L}{l_{сл}} = 9,40 > 5 \frac{\text{м}^3}{\text{ч} \cdot \text{м}}$, то m = 10000.

Тоді по рівнянню (2.25):

$$\begin{aligned} \Delta P_{cm} &= 1,3 \left[K \cdot h_{nep} + \sqrt[3]{K \left(\frac{L}{m \cdot l_{сл}} \right)^2} \right] \cdot \rho_{хср} \cdot g = \\ &= 1,3 \left[0,5 \cdot 0,03 + \sqrt[3]{0,5 \left(\frac{11,22}{10000 \cdot 0,960} \right)^2} \right] \cdot 950,905 \cdot 9,81 = 296,817 \text{ Па.} \end{aligned}$$

3.7. Визначення діаметра штуцерів

Штуцер подачі флегми:

$$d = \sqrt{\frac{V_{\phi}}{0,785 \cdot W_{\phi}}},$$

$$V_{\phi} = \frac{G_{\phi}}{\rho_A} = \frac{G_p \cdot R}{\rho_A} = \frac{1499,76 \cdot 4,45}{3600 \cdot 739,25} = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Так як швидкості потоку приймаємо орієнтовно, то можна прийняти щільність флегми, як щільність метилового спирту: $\rho_A = 739,25 \text{ кг / м}^3$ при $t = 65 \text{ }^\circ\text{C}$.

Приймаємо $W_{\phi} = 0,5 \text{ м/с}$, тоді

$$d = \sqrt{\frac{2,5 \cdot 10^{-3}}{0,785 \cdot 0,5}} = 0,0799 \text{ м}.$$

Стандартний розмір труби для виготовлення штуцера $\text{Ø}38 \times 3 \text{ мм}$, [6, с. 17].

Штуцер подачі вихідної суміші:

$$d = \sqrt{\frac{V_F}{0,785 \cdot W_F}},$$

$$V_F = \frac{G_F}{\rho_F}; \quad \rho_F = \frac{\rho_A \cdot \rho_B}{\rho_B \cdot \alpha_F + (1 - \alpha_F) \cdot \rho_A},$$

при $t_{XF} = 102,93 \text{ }^\circ\text{C}$

$$\rho_F = \frac{954,4375 \cdot 949,45}{949,45 \cdot 0,35 + (1 - 0,35) \cdot 954,4375} = 951,189 \text{ кг/м}^3,$$

$$V_F = \frac{1,111}{951,189} = 1,16 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Приймаємо $W_F = 0,8 \text{ м/с}$, тоді

$$d = \sqrt{\frac{1,16 \cdot 10^{-3}}{0,785 \cdot 0,8}} = 0,043 \text{ м}.$$

Стандартний розмір труби для виготовлення штуцера $\text{Ø}70 \times 3 \text{ мм}$, [6, с. 17].

Штуцер виходу кубового залишку:

$$d = \sqrt{\frac{V_W}{0,785 \cdot W_W}},$$

$$V_W = \frac{G_W}{\rho_W} = \frac{0,6444}{958,84} = 7,242 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}.$$

$\rho_w = 958,84 \text{ кг/м}^3$ – щільність води при $98,8 \text{ }^\circ\text{C}$.

Приймаємо $W_W = 0,3 \text{ м/с}$, тоді

$$d = \sqrt{\frac{7,242 \cdot 10^{-4}}{0,785 \cdot 0,3}} = 0,05 \text{ м}.$$

Стандартний розмір труби для виготовлення штуцера $\text{Ø}108 \times 6 \text{ мм}$, [6, с. 17].

Штуцер виходу кубової рідини (подається на кип'ятильник):

$$d = \sqrt{\frac{V_{\text{к.ж}}}{0,785 \cdot W_{\text{к.ж}}}},$$

$$V_{\text{к.ж}} = \frac{G_F + G_\phi - G_W}{\rho_B} = \frac{1,111 + 0,4166 - 0,644}{949,45} = 8,77 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Приймаємо $W_{\text{к.ж}} = 0,3 \text{ м/с}$, тоді

$$d = \sqrt{\frac{8,77 \cdot 10^{-4}}{0,785 \cdot 0,3}} = 0,06 \text{ м}.$$

Стандартний розмір труби для виготовлення штуцера $\text{Ø}159 \times 7 \text{ мм}$, [6, с. 16].

Штуцер виходу пари з колони:

$$d = \sqrt{\frac{V_y}{0,785 \cdot W_y}},$$

$$V_y = 1,966 \text{ м}^3/\text{с} \text{ (см. розділ 3.4).}$$

Приймаємо $W_y = 15 \text{ м/с}$, тоді

$$d = \sqrt{\frac{1,966}{0,785 \cdot 15}} = 0,409 \text{ м}.$$

Стандартний розмір труби для виготовлення штуцера $\text{Ø}426 \times 15 \text{ мм}$, [6, с. 17].

Гідравлічний опір однієї тарілки:

$$\Delta P_T = \Delta P_{\text{сyx}} + \Delta P_\sigma + \Delta P_{\text{ст}} = 142,6579 + 6,3673 + 256,817 = 405,82 \text{ Па}.$$

Гідравлічний опір колони:

$$\Delta P_K = n \cdot \Delta P_T = 25 \cdot 405,82 = 10145,055 \text{ Па.}$$

Раніше прийняте відстань між тарілками $h = 0,5$ м перевіряємо по співвідношенню (2.26):

$$h > 1,8 \cdot \Delta P_T / \rho_{\text{х ср}} \cdot g,$$

$$1,8 \cdot \frac{586,102}{950,905 \cdot 9,81} = 0,113 \text{ м,}$$

$0,5 > 0,113$, умова дотримується.

3.8. Теплові розрахунки

Підігрівач вихідної суміші

Рівняння теплового балансу для підігрівача:

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

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

t_{XF} – температура кипіння вихідної суміші;

$t_{нач}$ – початкова температура (задана).

Питома теплоємність вихідної суміші

$$c_F' = a_F \cdot C_A + (1 - a_F) \cdot C_B,$$

де C_A , C_B – питомі теплоємності оцтової кислоти і води при середній температурі

$$t_{XF}^{cp} = \frac{t_{XF} + t_{нач}}{2} = \frac{102 + 17}{2} = 68,965 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$C_A = 1 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}; C_B = 0,537 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}, [1, \text{ с. 562}]; \text{ таблиця Б.7 Додатки.}$$

$$c_F' = 0,35 \cdot 1 + (1 - 0,35) \cdot 0,537 = 0,699 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} = 2930,26 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$

$$Q = 1,05 \cdot G_F \cdot c_F' (t_{XF} - t_{нач}) =$$

$$1,05 \cdot 1,111 \cdot 2930,26 \cdot (102 - 17) = 293734,07 \text{Вт}.$$

Витрата гріючого пара:

$$G_{\text{г.п.}} = \frac{Q}{r} = \frac{293734,07}{2117 \cdot 10^3} = 0,138 \text{ кг/с},$$

$$r = \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} P = 6,5 \text{ кгс/см}^2 [1, \text{ с. 550}]; \text{ таблиця Б.9 Додаток.}$$

Средня різниця температур

$$151 \longrightarrow 151,1$$

$$17 \longrightarrow 102,93$$

Температура пари, що гріє $t_{\text{г.п.}} = 147^\circ\text{C}$ [1, с. 550]; таблиця Б.9 Додаток.

Велика різниця температур:

$$\Delta t_{\text{б}} = 151,1 - 17 = 134,1 \text{ } ^\circ\text{C};$$

менша різниця температур:

$$\Delta t_{\text{м}} = 151,1 - 102,93 = 48,17 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Так як $\frac{\Delta t_{\text{б}}}{\Delta t_{\text{м}}} = \frac{134,1}{48,17} = 2,78 > 2$, тоді середню різницю температур визначаємо за

рівнянням (2.38):

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{\Delta t_{\text{б}} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln \frac{\Delta t_{\text{б}}}{\Delta t_{\text{м}}}} = \frac{85,93}{\ln 2,78} = 93,93 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Коефіцієнт теплопередачі приймаємо орієнтовно рівним $250 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ [6, с. 47].

Поверхня теплообміну підігрівача вихідної суміші

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{\text{ср}}} = \frac{293734,07}{250 \cdot 83,83} = 14,01 \text{ м}^2.$$

Приймаємо одноходовой кожухотрубчасті теплообмінник з наступними характеристиками [6, с. 51]:

- Діаметр кожуха 325 мм;
- труба 20x2 мм;
- кількість труб в теплообміннику 90 шт;
- довжина труб 2 м;
- поверхня теплообміну 11 м^2 .

4. Аналіз впливу конструктивних особливостей контактних пристроїв на розміри колонного апарата

Коли обираються конструкція колони та тип контактних пристроїв, перевагу потрібно передавати тим апаратам, які відносно прості за своєю конструкцією та забезпечують високу ефективність при різних робочих навантаженнях, низький гідравлічний опір апарата та можливість роботи на забруднених середовищах, невелику трудомісткість при виготовленні та монтажі і ремонті.

Різноманіття конструкцій масо обмінних колонних апаратів пояснюється різними технологічними процесами. Ще у конструкціях масо обмінних апаратів відбиваються специфічні особливості проведених у них процесах. Тому основні типи та пристрої колон ректифікації знайшли велике застосування в галузях промисловості хімії і газу переробки та нафтопереробки.

Більш широке поширення в промисловості набули барботажні масообмінні ректифікаційні колони тарілчастого типу з тарілками переливного типу і із ступенем контактом фаз. Зазвичай масообмінний апарат це циліндрична колона, по висоті котрої на відстані встановлені масообмінні контактні пристрої. Найчастіше використовують тарілки такі як : сітчасті, ковпачкові, клапанні, жалюзійно- клапанні, струминні та ґратчасті.

Конструктивно сітчасті тарілки є найпростішими і виглядають як диски або їх окремі частини – секції, які виготовляються із тонколистою металу товщиною 1-3 мм і отворами. Отвори які знаходяться в тарілках можуть бути круглими, просіяними або просічновитянутими шириною 2-4 мм і довжиною 10-25 мм. Круглі отвори зазвичай розставлені в шаховому порядку. Робоча площа тарілки становить близько 80% загальної площі поперечного перерізу колони. Перетин тарілки це сумарна площа отворів на тарілці і складає 8-12% площі всієї тарілки, тому робоча швидкість газу в отворах тарілки в 8-12 раз вища швидкості газу у вільному перетині масообмінної колони.

Газ котрий надходить під тарілку з об'ємною витратою і барботує через

шар світлої рідини на тарілці, у результаті створює гідродинамічний режим барботажу, що характеризує інтенсивність між фазною взаємодією.

Основними робочими режимами барботажу є струминний і пінний, за яких на тарілці утворюється шар високо газованої піни, в якому в основному і відбувається інтенсивний масообмін і перенесення речовини з газової фази в рідку. Інтенсивність переносу залежить від швидкості газу в отворах тарілки, від діаметра пухирців, висоти шару рідини і властивостей взаємодіючих фаз.

В дипломній роботі було розраховано ректифікаційну колону із сітчастими тарілками діаметром отворів на тарілці 20 мм. За розрахунками колони ректифікації отримано діаметр колони 1,4 м, висота колони складає $H = 9800$ мм.

Порівняно з розрахунками інших робіт отримуємо графік, на якому показано апарат який доцільно буде прийняти у виробництво на підприємство.

Щоб побудувати графік потрібно знайти робочий об'єм за формулою:

1) Сітчаста колона ректифікації з отворами на тарілці $d_0 = 5$ мм:

$$D_{\text{роз}} = \sqrt{V_y / (0,785 \cdot w)} = \sqrt{2,075 / (0,785 \cdot 1)} = 1,625 \text{ м}$$

$$N_{\text{д}} = NT / \eta = 13 / 0,87 = 15 \text{ шт}$$

$$H = (N_{\text{д}} - 1) \cdot 0,5 = (15 - 1) \cdot 0,5 = 7 \text{ м}$$

$$S=(\pi \cdot D_{\text{роз}}^2)/4=(3,14 \cdot 1,625^2)/4= 2,072 \text{ м}^2$$

$$V=H \cdot S=7 \cdot 2,072= 14,504 \text{ м}^3$$

2) Сітчаста колона ректифікації з отворами на тарілці $d_0=8$ мм:

$$D_{\text{роз}}=\sqrt{V_y / (0,785 \cdot w)}=\sqrt{2,075 / (0,785 \cdot 1,2)}= 1,484 \text{ м}$$

$$N_{\text{д}}=N_{\text{т}}/\eta=13/0,5=16 \text{ шт}$$

$$H=(N_{\text{д}}-1) \cdot 0,5=(16-1) \cdot 0,5=7,427 \text{ м}$$

$$S=(\pi \cdot D_{\text{роз}}^2)/4=(3,14 \cdot 1,484^2)/4= 1,728 \text{ м}^2$$

$$V=H \cdot S=7,427 \cdot 1,728= 12,833 \text{ м}^3$$

3) Сітчаста колона ректифікації з отворами на тарілці $d_0=12$ мм:

$$D_{\text{роз}} = \sqrt{V_y / (0,785 \cdot w)} = \sqrt{2,075 / (0,785 \cdot 1,4)} = 1,374 \text{ м}$$

$$N_{\text{Д}} = NT / \eta = 130,75 = 18 \text{ шт}$$

$$H = (N_{\text{Д}} - 1) \cdot 0,5 = (18 - 1) \cdot 0,5 = 8,5 \text{ м}$$

$$S = (\pi \cdot D_{\text{роз}}^2) / 4 = (3,14 \cdot 1,374^2) / 4 = 1,481 \text{ м}^2$$

$$V = H \cdot S = 8,5 \cdot 1,481 = 12,588 \text{ м}^3$$

4) Сітчаста колона ректифікації з отворами на тарілці $d_0 = 20$ мм:

$$D_{\text{роз}} = \sqrt{V_y / (0,785 \cdot w)} = \sqrt{2,075 / (0,785 \cdot 1,6)} = 1,285 \text{ м}$$

$$N_{\text{Д}} = NT / \eta = 13 / 0,5 = 26 \text{ шт}$$

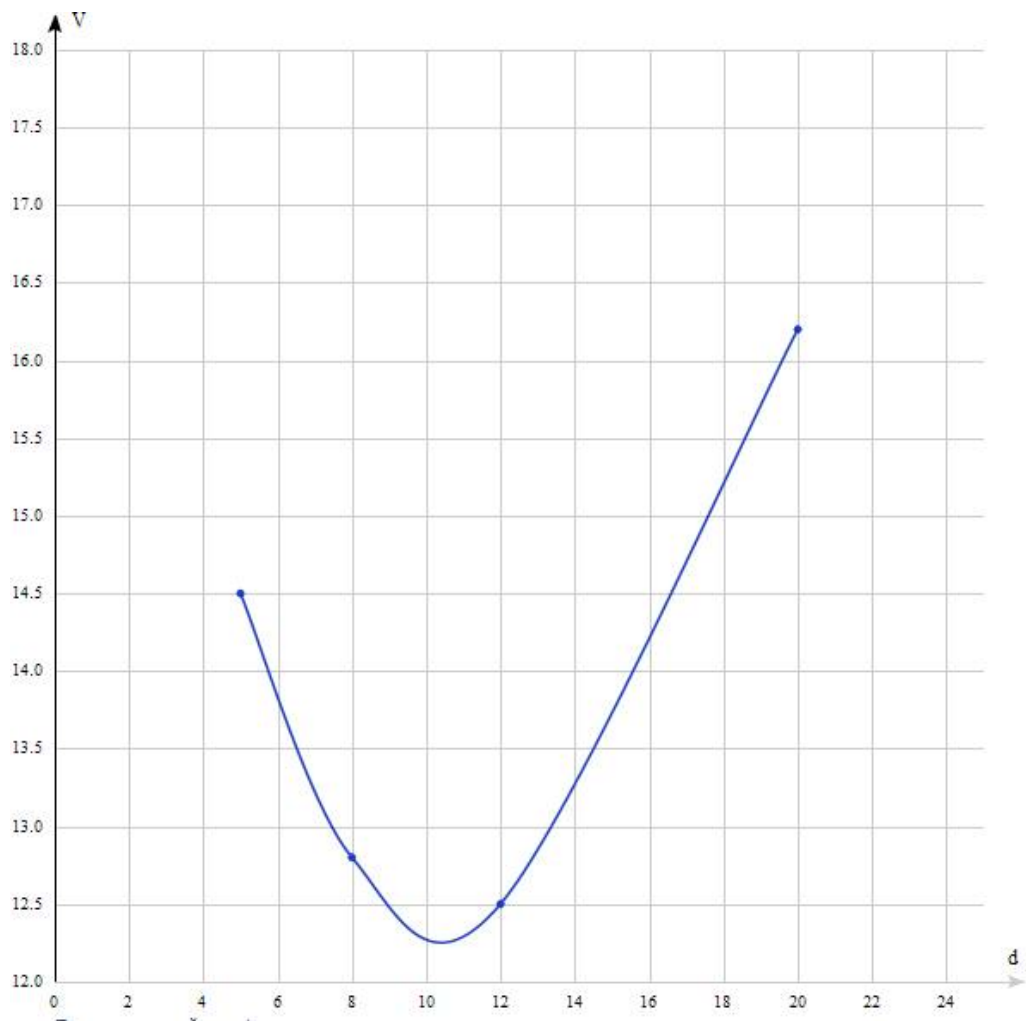
$$H=(N_d-1)\cdot 0,5=(26-1)\cdot 0,5=12,5 \text{ м}$$

$$S=(\pi\cdot D_{\text{роз}}^2)/4=(3,14\cdot 1,285^2)/4= 1,296 \text{ м}^2$$

$$V=H\cdot S=12,5\cdot 1,296=16,2 \text{ м}^3$$

Побудуємо графік та визначимо оптимальний варіант:

d0, мм	5	8	12	20
V, м ³	14,504	12,833	12,588	16,2



Доцільно використовувати колону ректифікації з діаметром отворів на сітчастій тарілці $d_0=12$ мм. Тому що в цьому варіанті найменший робочий об'єм а отже і менша металосмність. З усіх чотирьох варіантів цей найбільш оптимальній.

4. Розрахунок на міцність підігрівача

Вихідні дані:

Внутрішній діаметр кожуха , мм	325
Довжина теплообмінних труб , мм	2000
Зовнішній діаметр теплообмінної труби , мм	20
Товщина стінки труби , мм	2
Число ходів по трубам	1
Розрахунковий тиск у трубному просторі , МПа	0,02989
Розрахунковий тиск у міжтрубному просторі , МПа	0,029
Розрахункова температура труб , °С	134,1
Розрахункова температура кожуха , °С	48,17
Матеріал кожуха	12X18H10T
Матеріал розподільної камери, кришки, трубної решітки та теплообмінних труб	12X18H10T

5.1. Розрахункова температура

Визначаємо розрахункову температуру розподільної камери

$$t_{\text{кам}} = 2 t_m - t_k$$

$$t_{\text{кам}} = 2 \cdot 134,1 - 48,17 = 85,93 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Визначаємо розрахункову температуру ізольованих фланців

$$t_{\text{ф}} = t,$$

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

Розрахункову температуру ізольованих фланців і фланців штуцерів розподільної камери теплообмінника приймаємо рівною температури розподільної камери, тобто $t_{\text{ф}} = t_k = 85,93 \text{ } ^\circ\text{C}$

Розрахункову температуру ізольованих фланців штуцерів кожуха приймаємо рівною температурі середовища міжтрубного простору тобто

$$t_{\text{ф}} = t_k = 48,17 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Розрахункова температура болтів для ізольованих фланцевих з'єднань

$$t_{\text{б}} = 0,97 * t$$

Розрахункова температура болтів корпусних фланцевих з'єднань та фланців штуцерів розподільної камери дорівнює

$$t_{\text{б}} = 0,97 * 85,93 = 83,35 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Розрахункова температура болтів фланцевих з'єднань штуцерів міжтрубного простору

$$t_{\text{б}} = 0,97 * 48,17 = 46,72 \text{ } ^\circ\text{C}$$

5.2. Допустимі напружини

Таблиця 5.1 – Допустимі напружини матеріалів деталей теплообмінника

Елементи апарата	Матеріал	Допустимі напружини, МПа		Відношення допустимих напружин $[\sigma]_{20}/[\sigma]$
		при температурі 20°C $[\sigma]_{20}$	при розрахунковій температурі $[\sigma]$	
Кожух	12X18H10T	184	174	1,057
Трубна решітка	12X18H10T	184	169,2	1,087
Труби	12X18H10T	184	169,2	1,087
Фланці апаратні	12X18H10T	184	169,2	1,087
Фланці штуцерів трубного простору	12X18H10T	184	163,2	1,127
Фланці штуцерів міжтрубного простору	Сталь 20	147	137,5	1,069
Болти та гайки кріплення апаратних фланців та штуцерів трубного простору	12X18H10T	184	164	1,122
Болти фланцевих з'єднань штуцерів міжтрубного простору	Сталь 35	130	125,99	1,032
Гайки фланцевих з'єднань штуцерів міжтрубного простору	Сталь 20	147	142,19	1,034

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

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

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

Для трубного простору при мінімальному відношенні допустимих напружень $[\sigma]_{20}/[\sigma] = 1,042$ пробний тиск становить

$$P_{np.m} = 1,25 \cdot P_m \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,25 \cdot 1 \cdot 1,042 = 1,28 \text{ МПа}$$

Гідростатичний тиск при випробуванні трубного простору теплообмінника становить

$$P_{z.mp} = \rho_s \cdot g \cdot H_T \cdot 10^{-6},$$

де $H_T = 0,596 \text{ м}$ [13] - висота стовпа води в трубному просторі

$$P_{z.mp} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,596 \cdot 10^{-6} = 0,007 \text{ МПа}$$

Гідростатичний тиск при випробуванні трубного простору

$$P_{z.mp} = 0,007 \text{ МПа} < 0,05 P_{np.m} = 0,05 \cdot 1,28 = 0,064 \text{ МПа}$$

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

$$P_{u.m} = P_{np.m} = 1,28 \text{ МПа}$$

Умова

$$P_{u.mp} = 1,28 \text{ МПа} \leq 1,35 \cdot P_m \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,35 \cdot 1 \cdot 1,042 = 1,38 \text{ МПа}$$

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

Для міжтрубного простору (кожуха) при відношенні допустимих напружень $[\sigma]_{20}/[\sigma] = 1,067$ пробний тиск становить:

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

$$P_{np\kappa} = 1,25 \cdot 1 \cdot 1,067 = 1,3 \text{ МПа}$$

Гідростатичний тиск при випробуванні міжтрубного простору

$$P_{z\kappa} = \rho_g \cdot g \cdot H_{\kappa} \cdot 10^{-6}$$

де $H_{\kappa} = 0,596 \text{ м}$ [13]

$$P_{z\kappa} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,596 \cdot 10^{-6} = 0,007 \text{ МПа}$$

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

$$P_{ук} = P_{np\kappa} = 1,3 \text{ МПа}$$

Умова

$$P_{ук} = 1,3 \text{ МПа} \leq 1,35 \cdot P_{\kappa} \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,35 \cdot 1 \cdot 1,067 = 1,4 \text{ МПа}$$

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

5.3. Коефіцієнти міцності зварних швів

Для першої групи апаратів приймаємо коефіцієнт міцності зварних швів $\varphi = 1$.

5.4. Добавки до розрахункових величин

Суми добавок до розрахункових величин визначаємо по формулі:

$$C = C_1 + C_2,$$

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:

$$C_1 = \Pi \cdot \tau + C_3,$$

де Π - швидкість проникнення корозії;

$\tau = 10 \text{ років}$ - розрахунковий термін служби теплообмінника;

C_3 - добавка для компенсації ерозії, мм.

Добавку для компенсації ерозії не враховуємо, ухвалюючи, що теплообмінник працює із чистими рідкими середовищами (без твердих

абразивних часток)

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

Добавка для компенсації корозії становить:

- для труб з боку трубного і міжтрубного просторів

$$C_{1m} = 0 \text{ мм}$$

- для кожуха

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

Добавку для компенсації мінусового допуску C_2 , мм, ухвалюємо по стандарту [14].

5.5. Розрахунок кожуха теплообмінника

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

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

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

$D = 317$ мм - внутрішній діаметр обичайки кожуха, мм;

φ_p - коефіцієнт міцності поздовжніх зварених швів.

$$S_{pk} = \frac{1 \cdot 317}{2 \cdot 172,5 \cdot 1 - 1} = 1,46 \text{ мм}$$

Відповідно стандарту [14] виконавчу товщину стінки кожуха ухвалюємо рівною $S_k = 4$ мм. Добавка для компенсації мінусового допуску для сталевих листа товщиною 4 мм становить $C_2 = 0,5$ мм. Добавку

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

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:

$$S_k > S_{pk} + C_k$$
$$S_k = 1,46 + 1,0 = 2,46 \text{ мм.}$$

Остаточно ухвалюємо виконавчу товщину стінки кожуха рівної $S_k = 4 \text{ мм}$.

Припустимий внутрішній надлишковий тиск у кожусі визначаємо по формулі:

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi_p \cdot (S - C)}{D + (S - C)}$$
$$[P] = \frac{2 \cdot 165 \cdot 1 \cdot (4 - 1)}{317 + (4 - 1)} = 1,45 \text{ МПа}$$

Умова міцності

$$P_k = 1,0 \text{ МПа} \leq [P]_k = 1,45 \text{ МПа} \quad \text{виконується.}$$

Умова застосування розрахункових формул

$$\frac{S - C}{D} = \frac{4 - 1}{317} = 0,009 \leq 0,1 \text{ виконується.}$$

5.6. Розрахунок лінзового компенсатора

Умови застосування розрахункових формул:

$$\frac{S_{\pi}}{d_{\pi}} \leq 0,035; \quad 1,08 \leq \frac{D_{\pi}}{d_{\pi}} \leq 3,00; \quad \frac{2r}{D_{\pi} - d_{\pi}} \leq 0,4.$$

$$\frac{S_{\pi}}{d_{\pi}} = \frac{3}{325} = 0,009 < 0,035;$$

$$1,08 < \frac{D_{\pi}}{d_{\pi}} = \frac{440}{325} = 1,35 < 3,00;$$

$$\frac{2 \cdot r}{D_{\pi} - d_{\pi}} = \frac{2 \cdot 14}{440 - 325} = 0,29 < 0,4 \text{ виконуються.}$$

Розрахунковий діаметр западини хвилі компенсатора розраховуємо по формулі:

$$d_1 = d_{\pi} - S_{\pi}$$

$$d_1 = 325 - 3 = 322 \text{ мм}$$

Розрахунковий діаметр гребеня хвилі компенсатора визначаємо по формулі:

$$d_2 = D_n - S_n$$

$$d_2 = 440 - 3 = 437 \text{ мм}$$

Середній радіус тороїдального переходу хвилі компенсатора розраховуємо по формулі:

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

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

Допоміжну величину впливу переходу розраховуємо по формулі:

$$\rho_n = 2 - 100 \cdot \frac{r}{d_1 + d_2}$$

$$\rho_n = 2 - 100 \cdot \frac{16}{322 + 437} = 0,52 \text{ мм}$$

Розрахункову ширину пластинчастої зони хвилі компенсатора визначаємо по формулі:

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

$$b_n = 0,5 \cdot (437 - 322 + 0,52 \cdot 16) = 52,7 \text{ мм}$$

Радіус закруглення пластинчастої зони хвилі компенсатора розраховуємо по формулі:

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

$$R_0 = 0,25 \cdot (437 + 322 - 2 \cdot 52,7) = 132,4 \text{ мм}$$

Середній діаметр хвилі компенсатора визначаємо по формулі:

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

$$d_{cp} = 0,5 \cdot (437 + 322) = 379,5 \text{ мм}$$

Характеристики хвилі обчислюємо по формулах:

$$\xi = \frac{d_2}{d_1} - 1$$

$$\xi = \frac{437}{322} - 1 = 0,3606$$

$$n = \frac{d_2 - d_1}{2 \cdot r_s} - 2$$

$$n = \frac{437 - 322}{2 \cdot 16} - 2 = 1,031$$

$$\alpha = \frac{S_n}{d_1}$$

$$\alpha = \frac{3}{322} = 0,015$$

$$\lambda = \frac{b_n}{R_0}$$

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

$$\gamma = 1 + 1,25 \cdot \frac{d_2}{d_1} - \frac{3,2 \cdot r_s}{d_2 - d_1}$$

$$\gamma = 1 + 1,25 \cdot \frac{437}{322} - \frac{3,2 \cdot 16}{437 - 322} = 2,173$$

Розрахункову товщину S_3 , мм, розраховуємо по формулі:

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

$$S_3 = 0,25 \cdot (437 - 322 - 2,173 \cdot 16) \cdot \sqrt{\frac{1}{172,5}} = 1,62 \text{ мм}$$

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

$$S_4 = \frac{P \cdot d_{\text{ср}}}{2[\sigma]_{\text{л}} \cdot \varphi} \cdot \frac{L}{d_2 - d_1 + 2l_k + 2,3r_s} =$$

$$S_4 = \frac{1 \cdot 379,5}{2 \cdot 172,5 \cdot 1} \cdot \frac{72}{437 - 322 + 2 \cdot 5 + 2,3 \cdot 16} = 0,988 \text{ мм}$$

де $L = 72 \text{ мм}$ – виконавча довжина компенсатора [13];

$l_k = 5 \text{ мм}$ – приєднувальна довжина циліндричної частини компенсатора [13].

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

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

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

Суму добавок до розрахункової товщини стінки лінзового компенсатора при її товщині $S_n = 3 \text{ мм}$ ухвалюємо рівної $0,22 \text{ мм}$ [14].

Виконавчу товщину стінки лінзового компенсатора розраховуємо по формулі:

$$S_n \geq S_{np} + C_n = 1,78 + 0,22 = 2 \text{ мм}$$

Остаточно ухвалюємо виконавчу товщину стінки компенсатора рівної 3 мм

Допустимий тиск визначаємо по формулі:

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

$$[P]_1 = 16 \cdot \left(\frac{3 - 0,22}{437 - 322 - 2,173 \cdot 16} \right)^2 \cdot 172,5 = 6,22 \text{ МПа}$$

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

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

$$[P]_2 = \frac{2 \cdot 172,5 \cdot 1 \cdot (3 - 0,22)}{379,5} \cdot \frac{437 - 322 + 2 \cdot 5 + 2,3 \cdot 16}{72} = 5,18 \text{ МПа}$$

Допустимий тиск визначаємо по формулі:

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

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

5.7. Визначення допоміжних величин

Розрахунковий діаметр западини хвилі компенсатора розраховуємо за формулою

$$d_l = d_n - S_n = 408 - 4 = 404 \text{ мм.}$$

Розрахунковий діаметр гребеня хвилі компенсатора визначаємо за формулою

$$d_2 = D_n - S_n = 658 - 4 = 654 \text{ мм.}$$

Середній радіус тороїдального переходу хвилі компенсатора розраховуємо за формулою

$$r_s = 0,5(2r + S_n) = 0,5(2 \cdot 22 + 4) = 24 \text{ мм.}$$

Допоміжну величину впливу переходу розраховуємо за формулою

$$\rho_n = 2 - 100 \cdot \frac{r_s}{d_1 + d_2} = 2 - 100 \cdot \frac{24}{404 + 654} = 0,54 \text{ мм.}$$

Розрахункову ширину пластинчастої зони хвилі компенсатора визначаємо за формулою

$$b_n = 0,5(d_2 - d_1 + \rho_n \cdot r_s) = 0,5 \cdot (654 - 404 + 0,54 \cdot 24) = 131,48 \text{ мм.}$$

Радіус закруглення пластинчастої зони хвилі компенсатора розраховуємо за формулою

$$R_o = 0,25(d_2 + d_1 - 2b_n) = 0,25 \cdot (654 + 404 - 2 \cdot 131,84) = 198 \text{ мм.}$$

Середній діаметр хвилі компенсатора визначаємо за формулою

$$d_{cp} = 0,5(d_2 + d_1) = 0,5 \cdot (654 + 404) = 529 \text{ мм.}$$

Характеристики хвилі обчислюємо за формулами :

$$\xi = \frac{d_2}{d_1} - 1 = \frac{654}{404} - 1 = 0,61 ;$$

$$\eta = \frac{d_2 - d_1}{2r_s} - 2 = \frac{654 - 404}{2 \cdot 24} - 2 = 3,208 ;$$

$$\alpha = S_n / d_1 = 4 / 404 = 0,09 ;$$

$$\lambda = b_n / R_o = 131,84 / 198 = 0,66 ;$$

$$\gamma = 1 + 1,25 \cdot \frac{d_2}{d_1} - \frac{3,2 \cdot r_s}{d_2 - d_1} = 1 + 1,25 \cdot \frac{654}{404} - \frac{3,2 \cdot 24}{654 - 404} = 2,72 .$$

5.8. Розрахунок компенсатора на міцність

Розрахункову товщину s_3 , мм, розраховуємо за формулою

$$s_3 = 0,25(d_2 - d_1 - \gamma \cdot r_s) \cdot \sqrt{P / [\sigma_n]} =$$

$$= 0,25 \cdot (654 - 404 - 2,72 \cdot 24) \cdot \sqrt{0,5/122} = 2,90 \text{ мм.}$$

Розрахункову товщину стінки компенсатора S_4 , мм, визначаємо за формулою (17):

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

$$= \frac{0,45 \cdot 644}{2 \cdot 122 \cdot 0,9} \cdot \frac{106}{654 - 404 + 2 \cdot 5 + 2,3 \cdot 24} = 0,54 \text{ мм.}$$

Розрахункову товщину стінки компенсатора S_{np} , мм, визначаємо за формулою (18):

$$S_{np} = S_4 \cdot \sqrt{0,5 + \sqrt{0,25 + (S_3 / S_4)^4}} = 0,27 \sqrt{0,5 + \sqrt{0,25 + (2,90/0,54)^4}} = 1,458 \text{ мм.}$$

Суму добавок до розрахункової товщини стінки лінзового компенсатора при її товщині $S_l = 4,0$ мм приймаємо рівною 0 мм.

Виконавчу товщину стінки лінзового компенсатора розраховуємо за формулою

$$S_l \geq S_{np} + C_l = 1,458 + 0,5 = 1,958 \text{ мм.}$$

Остаточню приймаємо виконавчу товщину стінки компенсатора рівною 4 мм.

Допустимий тиск $[P]_l$ визначаємо за формулою

$$[P]_l = 16 \left(\frac{S_l - C_l}{d_2 - d_1 - \gamma \cdot r_s} \right)^2 \cdot [\sigma]_l = 16 \cdot \left(\frac{4 - 0,8}{654 - 404 - 2,72 \cdot 24} \right)^2 \cdot 122 = 0,63 \text{ МПа.}$$

Допустимий тиск $[P]_2$ визначаємо за формулою (21):

$$[P]_2 = \frac{2[\sigma]_l \cdot \varphi \cdot (S_l - C_l)}{d_{cp}} \cdot \frac{d_2 - d_1 + 2l_k + 2,3 \cdot r_s}{L} =$$

$$= \frac{2 \cdot 122 \cdot 0,9 \cdot (4 - 0,8)}{479} \cdot \frac{654 - 404 + 2 \cdot 5 + 2,3 \cdot 24}{106} = 4,35 \text{ МПа.}$$

Допустимий тиск визначаємо за формулою :

$$[P]_l = \frac{[P]_l}{\sqrt{1 + \left(\frac{[P]_l}{[P]_2} \right)^2}} = \frac{0,63}{\sqrt{1 + \left(\frac{0,63}{4,35} \right)^2}} = 0,62 \text{ Ма.}$$

6. Технологія виготовлення теплообмінника (підігрівача)

При виборі і створенні теплообмінної апаратури необхідно враховувати такі важливі чинники, як теплове навантаження апарату, температурні умови процесу, фізико-хімічні параметри робочих середовищ, умови теплообміну, характер гідравлічних опорів, його корозійну стійкість та термін експлуатації.

Хімічні продукти в тій чи іншій мірі завжди викликають корозію матеріалу апарату, тому для виготовлення їх застосовуються різні метали (залізо, чавун, алюміній) і їх сплави. Найбільше застосування знаходять сталі. Завдяки здатності змінювати свої властивості залежно від складу, можливості термічної і механічної обробки сталі з низьким змістом вуглецю добре штамнуються, але погано обробляються різанням. Додатки інших металів - легуючих елементів - покращують якість сталей і додають їм особливі властивості (наприклад, хром покращує механічні властивості, зносостійкість і корозійну стійкість; нікель підвищує міцність, пластичність; кремній збільшує жаростійкість) [5].

Технологічний процес виготовлення теплообмінного апарату в загальному випадку складається з отримання заготовок, механічної обробки заготовок до розмірів готової деталей і збірок з деталей вузлів (складальні одиниці) і весь апарат в цілому.

Заготовками деталей служать зазвичай сортовий і листовий прокат, труби, поковки і виливки. Листовий прокат використовується для виготовлення корпусів, обичайок, днищ і кришок, трубних дошок, фланців, перегородок, опор і різних штампованих деталей. Сортний прокат використовує в якості заготовок для каркасів трубних систем, анкерні зв'язку, фланці, бобишки і інші деталі. У деяких випадках для виготовлення трубних дошок і фланці застосовують поковки. У серійному виробництві для виготовлення ряду деталей (фланці, штуцери, бобишки і ін.) Використовують виливки. З труб виготовляють штуцера, поверхні нагріву та багато інших вузлів та деталі. Всі

матеріали, що застосовуються при виготовленні теплообмінних апаратів, відповідно до вимог нормативно-технічної документації повинні мати сертифікати заводів-виготовлювачів цих матеріалів.

Виготовлення корпусів

Корпуси багатьох теплообмінних апаратів мають циліндричну форму. Циліндрична частина корпусу діаметра до 800 мм можуть бути виконані у вигляді обичайки з одного свальцованих в циліндрі листа листового прокату, що випускається промисловістю. Листовий метал, призначений для виготовлення корпусів, піддають попередній обробці, що полягає в правці і розділової різанні листів, що полегшує їх транспортування і наступні операції обробки.

Виготовлення днищ і кришок.

Сферичні і еліптичні днища слід виготовляти по можливості з одного аркуша. Сферична або еліптична форма надається заготовлена для днищ листів штампування в гарячому або в холодному стані. Лист, призначений для виготовлення днища, попередньо розмічають. Заготівля під днище являє собою коло.

Еліптичні днища для судин і апаратів стандартизовані і їх можна підібрати по ГОСТ 6533.

Невеликі днища з листів товщиною до 4 мм штампують на пресах в холодному стані. Пуансон штампа, що має форму днища і укріплений на рухомий траверсі преса, повільно опускаючись, поступово простягає заготовку через протяжне кільце, формуючи днище. Після досягнення пуансоном крайнього нижнього положення скидач знімає з нього готове днище, а звільнений пуансон переміщається в крайнє верхнє положення.

Виготовлення фланців і патрубків

Фланцеві з'єднання повинні бути міцними і забезпечувати герметичність з'єднання. Типи і розміри фланців стандартизовані і підбирають по ГОСТ. Вибір типу фланцевого з'єднання залежить від умов роботи апарату, тиск, агресивність теплоносій, умови монтажу і технологічні можливості

виготовлення фланців і проводиться при проектуванні.

У зварних апаратах низького тиску (до 1,6 МПа) фланці виготовляються з листового, смугового, фасонного прокату або лиття з наступною механічною обробкою. В апаратах з робочим тиском до 10 МПа застосовують фланці посиленого типу, в яких на поверхнях ущільнення є виступи і западини або шипи і пази, причому такі фланці виготовляються з відповідних фасонних поковок шляхом штампування і механічної обробки. Фланці невеликого діаметра виготовляють зазвичай з листової сталі, фланці діаметром понад 200 мм - із смугового прокату шляхом гнуття в гарячому стані, що є більш економічним, ніж використання фасонних поковок.

За формою фланці найчастіше застосовуються круглі, але для деяких типів теплообмінних апаратів використовуються фланці багатокутної або більш складної форми (наприклад, у конденсаторів парових турбін).

Чистоту обробки і форму ущільнювальної поверхні фланців встановлюють при проектуванні; вони залежать від параметрів робочого середовища.

При установці фланців на корпус або водяна камера апарат перевіряє їх перпендикулярність до осі корпусу по зовнішнім крайках оброблених поверхонь.

Виготовлення трубної системи апаратів

Трубна система кожухотрубних теплообмінні апаратів складаються з трубних дошок (решітки) і проміжних перегородок (поздовжні або поперечні), який утворює каркас, в який встановлюється теплообмінні трубки.

Трубні дошки виготовляють із сталевих листів або поковок, в особливих випадках, з інших металів і сплавів. На виправлених аркушах розмічають контури для вирізки трубної дошки і якщо необхідно для обробки поверхні під фланець. Вирізка заготовок для трубних дошок і перегородок проводять автоматичні або напівавтоматичні газові або плазмово-дугове різачки. Вирізані заготовки трубних дошок обробляють по торцям і по площині, а заготовки-перегородок тільки по торцям.

7. Ремонт теплообмінника (підігрівача)

Організація ремонту та обслуговування теплообмінників здійснюється на підприємстві у відповідності з графіком :

Поточний ремонт:

Ремонт дозволяється проводити без звільнення від вмісту. Перевіряються зовнішнім оглядом стан зовнішньої поверхні корпусу, кришки, штуцерів теплообмінника. При виявленні дефектів теплообмінник звільняється від вмісту, складається акт на готовність до ремонту, дефекти усуваються. При великих дефектах теплообмінник виводиться на середній ремонт достроково. Перевірити, підтягнути і, при необхідності, замінити кріпильні деталі і прокладки. Перевірити стан комунікацій. При необхідності провести ремонт або заміну окремих ділянок трубопроводів. Замінити дефектні прокладки. Запірну арматуру перевірити на працездатність. Виробляється підтягування і перебивання сальників. Дефекти усуваються. У теплообмінників, що мають запобіжні клапани, перевірити працездатність запобіжного клапана. Провести перевірку затягування болтових з'єднань фланців комунікацій, запірної арматури. Перевірити стан теплоізоляції (якщо вона є). При необхідності провести її ремонт. Перевірити стан захисних кожухів на агресивних середовищах, якщо потрібно - замінити.

Середній ремонт:

Середній ремонт проводиться при повністю звільненому теплообміннику, складається акт на готовність його до роботи. Середній ремонт включає в себе всі роботи поточного ремонту, а також наступні роботи: Провести часткову розбирання теплообмінника (кришки, штуцери розкриваються). Провести візуально перевірку стану поверхні зварних швів корпусу, кришок, секційних перегородок в них, штуцерів і, залежно від характеру дефектів, провести ремонт (заміна штуцерів на нові, підварювання місць корозії або заміна

окремих частин стінок корпусу і кришок вставкою). Провести перевірку стану трубних решіток, кінців труб, їх розвальцьовування або зварних швів (відповідно до конструктивним виконанням). Виявлені дефекти усунути. Провести гідроопресовку міжтрубному простору тиском згідно вимогам креслення. Для виявлення дефектних труб і дефектів в корпусі. Дефектні труби замінити на нові, якщо це можливо. При неможливості заміни - дефектні труби заглушити з обох кінців металевими пробками (з цього ж металу, що і труби). Теплообмінники, що були в контакті з продуктом, ремонтвані із застосуванням зварювання, піддаються перед ремонтом випалу на спеціальному майданчику випалу. Якщо поверхня пошкоджених трубок перевищує 15% всієї теплопередаючої поверхні, ремонтувати теплообмінник установкою пробок не можна: необхідно замінити або трубки, або весь теплообмінник. У теплообмінниках, колишніх контактують з продуктом або рідинами, або парами його містять, трубки глушити забороняється. Перевірити комунікації теплообмінника. Зношені труби, патрубки, відводи відремонтувати або замінити новими. Провести ревізію запірної арматури з розтином. Дефекти усунути. При наявності запобіжного клапана - провести ревізію з розтином, змастити, відрегулювати. Провести зміну всього зношеного кріплення. Прокладки замінити. Провести збірку теплообмінника. При наявності запобіжного клапана його розібрати, отревизировать, змастити, відрегулювати і опломбувати на тиск скидання згідно «Правил будови і безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском». Теплообмінник перевірити на герметичність робочим тиском. Дефекти усунути.

Капітальний ремонт:

Капітальний ремонт проводиться при повністю звільненому теплообміннику, складається акт на готовність його до ремонту.

Капітальний ремонт теплообмінника полягає в повному розбиранні теплообмінника і включає в себе всі вимоги середнього ремонту, а також

ремонт або заміну частин корпусу, кришок, трубних решіток, заміна дефектних труб, трубних пучків або всієї трубчатки, ремонт або заміну запірної арматури, трубопроводів. У теплообмінника, що має теплоізоляцію, проводиться її ремонт або заміна при необхідності. Виробляється заміна прокладок і всього зношеного кріплення. Після збирання проводиться опресовування міжтрубному простору і трубчатки. Дефекти усуваються. Всі роботи проводяться відповідно до дефектною відомістю.

Технічне обслуговування.

Для підтримки теплообмінника в постійній готовності до дії і забезпечення його нормальної роботи необхідно проводити технічне обслуговування теплообмінника.

До технічного обслуговування теплообмінника допускаються особи, що вивчили будову, правила безпеки при його роботі, вимоги цього керівництва, а також інструкцію з експлуатації обслуговується ними обладнання та властивості матеріалів.

Технічне обслуговування теплообмінника проводиться в процесі експлуатації. Своєчасне і якісне виконання заходів з технічного обслуговування попереджає появу несправностей і відмов у роботі та забезпечує високий рівень експлуатаційної надійності теплообмінника.

У процесі тривалої роботи теплообмінні апарати піддаються забрудненню і зносу. Поверхня їх покривається накипом, маслом, відкладеннями солей і смол, окислюється і т. д. Зі збільшенням відкладень зростає термічний опір стінки і погіршується теплообмін.

Знос теплообмінного апарату виражається в наступному:

- 1) зменшення товщини стінки корпусу, днища, трубних решіток;
- 2) випучини і вм'ятини на корпусі і днищах;
- 3) тріщини, прогари на корпусі, трубках і фланцях;

- 4) збільшення діаметра отворів для труб в трубній решітці;
- 5) прогин трубних решіток і деформація трубок;
- 6) заклинювання плаваючих головок і пошкодження їх струбцин;
- 7) пошкодження лінзових компенсаторів;
- 8) пошкодження сальникових пристроїв, пружинних опор;
- 9) порушення гідро- і теплоізоляції.

Підготовка до ремонту включає виконання наступних заходів: 1) знижується надлишковий тиск до атмосферного і апарат звільняється від продукту; 2) відключається арматура і ставляться заглушки на всіх підвідних і відвідних трубопроводах; 3) проводиться продування азотом або водяною парою з наступним промиванням водою і продувкою повітрям; 4) виконується аналіз на наявність отруйних і вибухонебезпечних продуктів; 5) складається план і виходить дозвіл на вогневі роботи, якщо вони необхідні в процесі ремонту; 6) складається акт здачі в ремонт.

Далі виконуються наступні роботи: 1) зняття кришок апарату, люків, демонтаж обв'язки і арматури; 2) виявлення дефектів вальцювання і зварювання, а також цілісності трубок гідравлічним та пневматичним випробуваннями на робочий тиск; 3) часткова зміна або відключення дефектних трубок, кріплення труб гнуття або зварюванням; 4) ремонт футеровки і антикорозійних покриттів деталей з частковою заміною; 5) ремонт або заміна зношеної арматури, трубопроводів, регулювання запобіжних клапанів; 6) зміна ущільнень розбірних з'єднань; 7) витяг трубок, чистка внутрішньої поверхності корпусу апарату і теплообмінних трубок, зачистка отворів в трубній решітці, зачистка решт трубок; 8) заміна частини корпусу, днищ (кришок) і зношених деталей; 9) виготовлення нових трубок; 10) монтаж трубного пучка і вальцювання труб в решітці; 11) ремонт плаваючих головок; 12) монтаж різьбових з'єднань; 13) гідравлічне випробування міжтрубному і трубної частин апарату пробним тиском; 14) пневматичне випробування апарату.

Основними конструктивними недоліками теплообмінних апаратів є

наступні: 1) велика трудомісткість розбирання-збирання апарату при чищенні і заміні трубного пучка; 2) мала надійність вальцювальних з'єднань трубок з трубною дошкою; 3) складність ущільнення кришкою трубної дошки плаваючої головки.

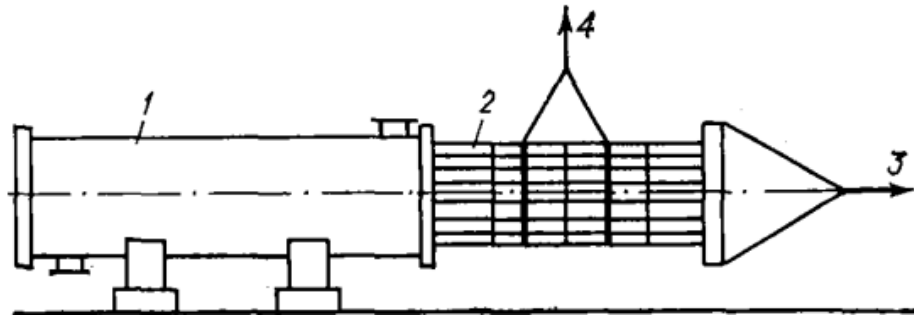
Відмови теплообмінників відбуваються в основному через пропуску продукту через вальцювальні з'єднання і через ущільнення кришки плаваючої головки і через корозію труб трубного пучка.

Найбільш трудомісткими операціями при ремонті теплообмінної апаратури є: 1) встановлення та демонтаж різьбових з'єднань, очищення теплообмінної апаратури; 2) витяг трубних пучків, ремонт та виготовлення трубних пучків і їх установка; 3) випробування теплообмінників.

Витягувати трубні пучки можна тільки з теплообмінників з плаваючою головою. Найменш механізованим способом є отримання трубного пучка за допомогою лебідок і домкратів. Прогресивніші спеціальні пристрої для вилучення - екстрактори. Вони являють собою пристосування, які кріпляться на фланці теплообмінника і за допомогою домкрата або лебідки виштовхують трубний пучок. Який отримують пучок рухається разом з візком, на якій кріпиться його передня частина.

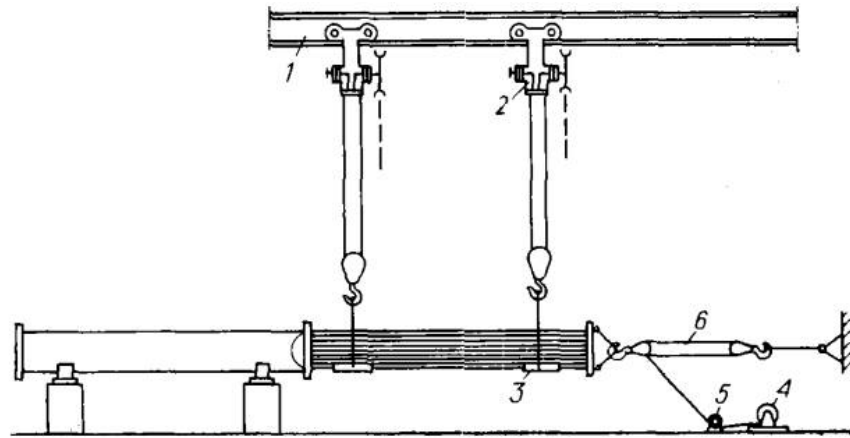
У більшості випадків в якості екстракторів використовуються пристосування для захоплення трубного пучка в поєднанні з вантажно-підйомним механізмом. Який зі горизонтальних теплообмінників трубний пучок підтримується в горизонтальному положенні автомобільним краном за допомогою талі і пересувного монорельса або візки.

Схема вилучення трубного пучка за допомогою тракторної лебідки та автомобільного крана представлена на мал.3.



Мал.7.1. Витяг трубного пучка за допомогою лебідки і автомобільного крана.

Демонтаж проводиться в певній послідовності: 1) знімаються кришки теплообмінного апарату; 2) демонтуються деталі плаваючої головки; 3) проводиться попередній зсув трубочатки; 4) тракторної лебідкою трубний пучок витягується з апарату; 5) за допомогою хомутів і стропів трубочатка підвішується до гака автомобільного крана, який після остаточного вилучення трубочатки опускає її на причіп для транспортування на місце очищення та ремонту.



Мал.7.2. Пристосування для зміни пучків теплообмінників.

Очищення трубок від відкладень включає в себе обробку як внутрішніх, так і зовнішніх поверхонь. Використовуються такі методи очистки: 1) хімічні; 2) абразивні (для нерозчинних відкладень); 3) спеціальні.

Хімічне очищення здійснюється без розтину і розбирання теплообмінника. Для очищення від накипу застосовують 5-15% розчин соляної кислоти з добавками інгібіторів. Для очищення від органічних відкладень

використовуються вуглеводневі розчинники. Очищення від твердих відкладень виявляється ефективною при заповненні теплообмінника на добу 5% розчином соляної кислоти з добавкою рідкого скла. Твердий осад розпушується в цьому розчині і потім легко змивається водою.

Абразивні методи очищення підрозділяються на механічний, гідропневматичний, гідромеханічний (струменем води високого тиску) і піскоструминний.

Механічне очищення проводиться за допомогою шомполів, свердел, щіток, шарошок, різців, бурів з подачею води або повітря для видалення продуктів очищення. Найпростішим пристосуванням є сталевий пруток з ершом зі сталевого дроту, приварених до прутки.

Гідропневматичне очищення трубок дозволяє зменшити час очищення | за рівнянням з механічною в 8-10 разів, значно рідше піддавати очищенню теплообмінники, підвищити продуктивність праці.

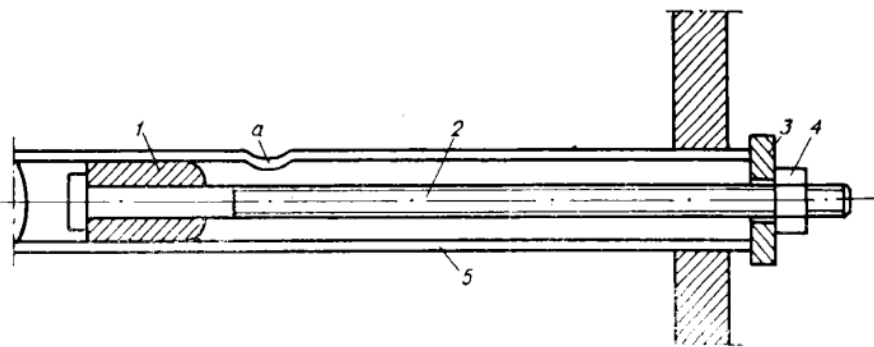
Гідромеханічна очищення полягає в наступному. Насосом високого тиску по напірним шлангах вода подається в порожнисту штангу, на кінці якої встановлено сопло з декількома отворами. Струмінь води виходить з сопла під великим тиском, ріже і відриває відкладення від стінок очищуються. Гідність такого методу - можливість очищення внутрішньої і зовнішньої поверхонь трубок, а також корпусу безпосередньо на місці установки апарату. При цьому досягається ступінь очищення значно вище, ніж при інших методах.

Час очищення однієї труби одно 10-15 с. Установки зазвичай виготовляються пересувними. Широкий діапазон зміни тиску (від 15 до 70 МПа) дає можливість видаляти відкладення практично будь-якої твердості.

Очищення оребрених труб проводиться струменями високого тиску. Для цього в трубку решітку через спеціально передбачені отвори за допомогою направляючої гільзи вводиться трубка з отворами на бічній поверхні. Вода, що подається в трубку під високим тиском, виходить з отворів паралельно ребрами. Обертання трубки і її рух в осьовому напрямку дозволяють піддати впливу струменів всю поверхню оребрення,

При ремонті трубного пучка допускається установка пробок на 15% трубок в кожному потоці пучка. При виході з ладу понад 15% трубок всі вони замінюються повністю. Вибір матеріалу трубок проводиться з урахуванням характеристики середовища, її параметрів і відповідно до діючих норм. Застосування вживаних трубок допускається, якщо вони втратили внаслідок зносу не більше 30% початкової ваги.

Виправлення вм'ятин в трубах здійснюється за допомогою пристосування, показаного на мал.5. Штанга 2 протягується через трубу до упору оправлення 1 у вм'ятину. Після цього на штангу надягають шайба 3 і гайка 4. При закручуванні гайки оправлення випрямляє вм'ята ділянку.



Мал.7.3 Пристрій для редагування вм'ятин в трубах.

Розвальцьовані трубки, які не беруть участь над ґратами, при заміні відрізають ножівкою або спеціальним пристосуванням за трубної ґратами. Трубки, що виступають над трубної ґратами, відрізають голівкою з різцем. Що залишилися в гніздах решіток кінці трубок сплющують і вибивають.

Видалення дефектних приварених труб здійснюється вирубкою зварного кільцевого шва вручну або зрізанням торця труби і Валікова шва спеціальною фрезою з приводом від гнучкого валу або переносний дрилі.

Вставляються нові трубки відрізають по довжині трубного пучка з надбавкою 8-10 мм довжини. Кінці трубок зачищають до металевому блиску на довжину, рівну товщині решітки з надбавкою 10 мм на сторону. У трубній решітці всі отвори зачищають від задирок, іржі і бруду. Перед установкою трубок отвори в решітці продувають повітрям і насухо протирають. Зазор між зовнішнім

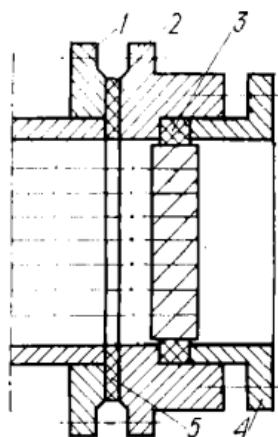
діаметром трубки і отвором в решітці не повинен перевищувати 1,5% діаметра трубки.

Корпус апарату, який має різні випучини і вм'ятини, виправляється ударами кувалди по мідній підкладці. Усунення невеликих вм'ятин при товщині стінки корпусу або кришки, виконаних з вуглецевої сталі, не більше 3-4 мм здійснюється нагріванням. Якщо неможливо усунути зазначені вище дефекти ударами і нагріванням, то пошкоджені частини або видаляються, або на них ставляться накладки.

Дефектні штуцера і трубні решітки при досягненні максимальних величин зносу і прогину замінюються.

Свищі і тріщини усуваються шляхом заварки або постановкою накладок з попереднім видаленням дефектного ділянки.

Опресовування теплообмінників жорсткої конструкції проводиться при знятих кришках. Вода при гідравлічному випробуванні подається в міжтрубний простір. Поява води в будь-який з трубок або в місці вальцювання трубки в трубній решітці вказує на дефекти в ремонті. У теплообмінниках з плаваючою головкою одна з трубних ґрат не прикріплена до корпусу. При гідравлічному випробуванні з боку плаваючої головки знімається кришка теплообмінника і на її місце встановлюється сальникове пристосування, призначене для забезпечення герметичності між корпусом і плаваючою головкою.



Мал.7.4. Сальникове пристосування для опресовування.

8. Техніка безпеки та охорона праці на виробництві

8.1. Загальні умови охорони праці та техніки безпеки на підприємствах

Охорона праці й поліпшення умов праці є одним з найважливіших завдань на сьогоднішній день. Безпечне ведення технологічного процесу знижує можливість травматизму, підвищує працездатність обслуговуючого персоналу. Згідно закону про охорону праці України на нові машини, механізми, обладнання необхідно розробити нешкідливі і безпечні умови їх експлуатації обслуговуючим персоналом, необхідно оформити сертифікат на безпечну експлуатацію, згідно з встановленими зразками.

Техніка безпеки на хімічному підприємстві – це зведення правил та вимог, якими необхідно керуватись при роботі на підприємстві. Для того щоб процес роботи став менш небезпечним, необхідно своєчасно замінювати застаріле обладнання та передбачувати заздалегідь небезпечні процеси та операції, замінюючи їх більш безпечними. В особливо небезпечних цехах повинна бути встановлена система дистанційного слідкування за процесами, приміщення повинно бути герметизовано.

Складовою частиною системи управління безпеки праці є інструктажі з питань охорони праці та техніки безпеки. Працівники, під час прийняття на роботу та періодично, повинні проходити інструктажі з питань техніки безпеки. Інструктажі проводить відповідальний спеціаліст, який відповідає на цьому підприємстві за охорону праці та техніку безпеки, який має спеціальну освіту або який в установленому Типовим положенням про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці (НПАОП 0.00-4.12-05) порядку проходив навчання і перевірку знань з питань охорони праці. Інструктажі поділяються на

- вступний;
- первинний;
- повторний;

- позаплановий;
- цільовий.

Насамперед техніка безпеки забезпечується, підготовкою робочого місця. Для цього повинні бути передбачені вільні проходи, шляхи доставки деталей, інструментів та приладів, відгородження робочої зони та попереджувальні засоби. Для службових і виробничих приміщень повинні бути розроблені інструкції з техніки безпеки, які вивішуються на видних місцях. Перед тим, як починати роботу в приміщенні воно має бути перевірено на:

- справність і готовність до роботи приладів і установок;
- наявність заземлення і надійність з'єднання проводів зовнішнім оглядом і легким просмикуванням;
- наявність і справність засобів індивідуального захисту, пожежогасіння, а також комплектність аптечки;
- відсутність короткозамкнених з'єднань на зовнішніх струмозійомних клеммах обладнання;
- розташування ручок регуляторів напруги електроприладів.

Забороняється:

- розпочинати роботу, не ознайомившись із властивостями речовин, сумішей і матеріалів з якими доведеться працювати, а також у тому разі, коли етапи роботи викликають сумнів.
- Розташовувати поблизу робочого місця обладнання, котре проводить електричний струм та перебуває під напругою і до якого можливий випадковий дотик.

Працівник повинен перевірити справність припливно-витяжної вентиляції. Всі операції, які пов'язані із можливим утворенням і виділенням отруйних, їдких, вибухонебезпечних речовин або речовин, які мають запах, виконувати тільки при працюючій вентиляції із застосуванням засобів індивідуального захисту та в спеціальному одязі.

Під час проведення рятувальних робіт в зонах хімічного забруднення необхідно керуватися документами:

- ПВХ-93 Правила безпеки при виробництві, зберіганні та транспортуванні хлору, затвердженні наказом Держнаглядохоронпраці від 29.10.93 року №105;
- Правила устройства и безопасной эксплуатации амиачных и холодильных установок, 1990 г.

Ремонт кожного виду апаратів та обладнання має свої особливості, котрі важливо враховувати по відповідним інструкціями за технікою безпеки. Загальні положення по організації та проведенню ремонтних робіт викладені в нормативних документах .

При висотних роботах, як правило повинні застосовуватись інвентарні підмостки чи ліса. В деяких випадках ці пристрої можна виготовити індивідуально за затвердженим проектом. Нагрузка на них не повинна перевищувати розрахункову. Настили повинні мати перила висотою не менш 1 м, та мати поручні, бортову дошку висотою не менш 0,15 м та проміжну горизонтальну планку. Рами, стойки, сходи кріпляться до стійких конструкцій. Сходи повинні мати нахил до горизонту не більш 60 градусів. Виконання робіт на висоті проводиться спеціально підготовленими особами, які мають дозвіл на їх здійснення. Під час робіт, що виконуються на висотах, а також при роботах, що потребують підйому устаткування, мають бути вжиті заходи, що запобігають можливості падіння працівників з висоти та наближенню їх до струмопровідних частин, які перебувають під напругою. Робота з тимчасових монтажних пристосувань або безпосередньо з елементів конструкцій, обладнання, машин і механізмів на висоті більше 5 метрів від поверхні ґрунту, перекриттів, робочих настилів належать до розряду робіт, що виконуються верхолазами. Стан здоров'я осіб, що допускаються до таких робіт, має відповідати медичним вимогам, які встановлені для працівників, що задіяні на цих роботах. Про дозвіл на виконання подібних робіт має бути записано в їхніх посвідченнях про перевірку знань у таблиці « свідоцтво на право проведення спеціальних робіт». Засобами, що запобігають падінню з висоти, є запобіжний пояс та страхувальні канати. Під час виконання роботи на порталних

конструкціях і обладнанні забороняється підкидання будь-яких деталей або пристосувань для подачі особам, які працюють зверху. Подача деталей і пристосувань має проводитись за допомогою мотузки або «безконечного» каната. Другий кінець мотузки або каната має знаходитись в руках працівника, що стоїть знизу і утримує предмети, які підіймаються, від розгойдування та наближення їх, а також мотузки або каната до пластин, що проводять електричний струм і перебувають під напругою.[16]

Конструкція посудин та апаратів повинна забезпечувати працездатність, надійність, довговічність і безпеку експлуатації протягом розрахованого строку служби і передбачати можливість проведення технічного огляду, цілковитого контролю металу та з'єднань. Для кожної посудини має бути встановлений і вказаний в паспорті розрахунковий (допустимий) строк служби з урахуванням умов експлуатації. Пристрої, які заважають зовнішньому і внутрішньому оглядам посудин (мішалки, змішувачі, оболонки, тарілки, перегородки та інші пристрої), повинні бути, як правило, змінними. В разі застосування приварних пристроїв повинна бути передбачена можливість їх видалення з подальшою установкою. Порядок знімання й установки цих пристроїв має бути вказаний в інструкції з монтажу та експлуатації. Якщо конструкція посудин не дозволяє проводити зовнішній і внутрішній огляди або гідравлічне випробування, передбачені вимогам цих Правил, розробником проекту мусять бути вказані методика, періодичність й обсяг контролю, виконання яких забезпечить своєчасне виявлення та усунення дефектів.[17]

8.2 Вибухопожежнебезпека

На проектованій використовуються вибухопожежонебезпечні речовини – дистиллят для ректифікаційної колони та газу, що утворюються при ректифікації, що можуть утворювати вибухонебезпечні паро-газові суміші, при спалахуванні яких розвивається розрахунковий надлишковий тиск вибуху в приміщенні. Таким чином приміщення належить до категорії А, згідно

ОНТП24-86. Клас зони – 2.

На установці пожежі і вибухи можливі на наступних ділянках : приміщення де встановлені насоси та приміщення де знаходиться ректифікаційні колони. Можливі причини загоряння: розгерметизація фланців трубопроводів, арматури що може призвести до потрапляння мастила в робочу зону, коротке замикання електроустановки з ушкодженою ізоляцією.

Можливі джерела загоряння: електричні іскри, розряди зарядів статичної електрики, прямий удар блискавки.

Забезпечується ступінь вогнестійкості об'єкта II по СніП 2.01.02-85.

Для забезпечення вибухо- пожежної безпеки передбачено система зв'язу й оповіщення, системи порошкового та пінного пожежогасіння, система протипожежного водопроводу, а також первинні засоби пожежогасіння. До первинних засобів пожежогасіння відносяться : пожежний інвентар та пожежний інструмент, що знаходиться на дощі пожежогасіння, вогнегасники.

Для гасіння пожежі служать вуглекислотні вогнегасники типу ВП-3(3) , що повинні розташовуватись біля насосів та котельного обладнання, що представляють собою загрозу вибуху. Для протипожежного захисту насосної використовується система порошкового пожежогасіння – модулі порошкового пожежогасіння у вибухозахищеному виконанні, згідно ДБН В2.5-13-98. Для гасіння невеликих вогнищ запалень при вимкненому електроустаткуванні застосовують вуглекислотні вогнегасники ОУ-5 та пінні ОХП-10. Для гасіння ввікнених електромереж застосовуються порошкові вогнегасники з речовинами ОПС-10 і ОППС-100. В приміщенні повинен бути встановлений пожежний гідрант з рукавом.

Вогнегасники та пожежний інвентар мають червоне забарвлення, а бочки з водою та ящики з піском відповідні написи білою фарбою. Інструмент фарбується в чорний колір. Бочки для води з метою пожежогасіння встановлюються в подвальному приміщенні. Такі бочки бути укомплектовані пожежним відром місткістю не менше 8л. Ящики з піском місткістю 0,5, 1,0, та 3,0 м³ та повинні бути укомплектовані совковою лопатою. Протипожежні

покривала тканини повинні мати не менш як 2x1 та 2x2м та виготовлені з негорючого теплоізоляційного полотна, грубо бавовняної тканини.

Для протипожежного котельного обладнання передбачені стаціонарні установи пінного підшарового пожежогасіння та зрошувальні системи на усю висоту обладнання. Для охолодження при пожежі резервуарів, що знаходяться поруч з місцем пожежі передбачені стаціонарні зрошувальні системи на усю висоту резервуарів і які складаються з двох полукілець, що дає змогу охолоджувати тільки ту частину резервуарів, яка нагрівається.

8.3. Виробниче освітлення

Система штучного освітлення : загальна і комбінована. Проектом передбачене робоче, евакуаційне, аварійне і ремонтне освітлення, мінімальна освітленість повинна становити $E_{\text{нор}} = 200$ лк.

Для освітлення приміщення приймаємо лампи ДРЛ250 потужністю 100Вт, напругою 220В, світловий потік $\Phi = 11000$ лм, що відповідає вимогам ДБН В 2.5.28-200.

8.4. Повітря робочої зони

До параметрів, що необхідно контролювати в робочій зоні можна віднести:

- температура повітря робочої зони;
- вологість повітря;
- швидкість руху повітря.

Нормальне теплове самопочуття має місце, коли тепловиділення організму людини повністю сприймається навколишнім середовищем.

Зниження температури навколишнього середовища за всіх інших однакових умов призводить до зростання тепловіддачі шляхом конвекції та випромінювання і може зумовити переохолодження організму. Підвищення

швидкості руху повітря погіршує самопочуття, оскільки сприяє підсиленню конвективного теплообміну та процесу тепловіддачу при випаровуванні поту.

При підвищенні температури повітря мають місце зворотні явища. При температурі повітря понад 30 С працездатність людини починає падати.

Недостатня вологість призводить до інтенсивного випаровування вологи зі слизових оболонок, їх пересихання та розтріскування, забруднення хвороботворними мікробами. [17]

Вимоги техніки безпеки після закінчення роботи:

- Вимкнути електрообладнання для нагрівання виробів;
- Прибрати робоче місце, покласти на визначене місце інструменти та пристрої;
- Вимкнути вентилятор або витяжку;
- Повідомити старшого зміни про всі недоліки, несправності, виявлені у процесі роботи.
- Зняти спецодяг, прийняти душ;
- Покинути підприємство.

Висновки

Конструкція підігрівача, його основні компоненти та розрахунки виконані відповідно до нормативної і технічної документації, що діє в хімічній промисловості.

Розрахунки підігрівача на міцність виконуються повністю і підтверджують працездатність проектного пристрою.

В ході виконання цього дипломного проекту були розраховані матеріальний і тепловий баланс. Було виконано конструктивний розрахунок проектного пристрою, в ході якого були визначені основні розміри проектного колони і теплообмінника:

- 1) діаметр колони – 1400 мм;
- 2) висота колони – 9800 мм;
- 3) кількість тарілок – 35;
- 4) діаметр підігрівача – 325 мм;
- 5) діаметр трубок – 20x2 мм;
- 6) довжина трубок – 2000 мм;
- 7) кількість трубок – 90 шт;
- 9) діаметр отворів в тарілці – 12 мм

Доцільно використовувати ректифікаційну колону з діаметром отворів на Сітчастій тарілці $d_0 = 12$ мм. Тому що в цьому варіанті найменший робочий об'єм і, отже, менше ємність металу. З усіх чотирьох варіантів це найбільш оптимальний.

Визначено діаметри штуцерів, обрані стандартні конструктивні елементи.

Намальована графічна частина: загальний вигляд нагрівача, загальний вигляд ректифікаційної колони, технологічна схема ректифікаційної установки, збірні одиниці.

Літературний огляд

1. Воробьева Г.Я. Коррозионная стойкость металлов в агрессивных средах химических производств: Справочник. - М.: Химия, 1975. - 861 с.
2. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – Л.: Химия, 1987. – 576с.
3. Справочник химика, т. 5. – М.: Химия, 1968. – 975 с.
4. Отраслевой стандарт (Ост 26-01-1488-83).
5. 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.
6. Расчеты основных процессов и аппаратов нефтепереработки. Справочник/Под редакцией Судакова Е.Н., 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1979. – 568 с.
7. 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.
8. 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.
9. Плановский А.Н., Рамм В.М., Каган С.З. Процессы и аппараты химической технологии, 4-е изд. – М.: Химия, 1967. – 848 с.
10. Романков П.Г., Курочкина М.И. Расчетные диаграммы и номограммы по курсу "Процессы и аппараты химической промышленности". – Л.: Химия, 1985. – 54 с.
11. Чернышев А.К., Коптелов В.Г., Листов В.В., Заичко Н.Д. Основные теплофизические свойства газов и жидкостей. Номографический справочник. – Кемеровское изд-во, 1971. – 225 с.
12. Дытнерский Ю.И. и др. Колонные аппараты. Каталог/ Под ред.

Дытнерского Ю.И., 2-е изд-во.– М.: ЦИНИНЕФТЕХИММАШ, 1978.

13. Плановский А.Н., Николаев П.И. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии, 3-е изд. – М.: Химия, 1987. – 496 с

14. 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.

15. Касаткін А.Г. Основние процеси та апарати хімічної технології. М.: Хімія, 1971. - 753 с.

16. Наказ МНС України 07.05.2007 р. № 312, Правила безпеки праці в органах і підрозділах МНС України розроблені замість (наказ МВС України від 05.12.2000 №840

17. ДНАОП 0.00-1.07-94 Правила будови та безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском, затвердженим наказом Державного комітету України по нагляду за охороною праці від 18.10.94 № 104