

РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота на тему:

«Установка ректифікації суміші ацетон – вода потужністю 56000 т/рік по вихідній суміші з розробкою підігрівача».

Листів – ____, ілюстрацій – ____, таблиць – ____, посилань – ____.

МАСООБМІН, РЕКТИФІКАЦІЯ, КОЛОНА, ТАРИЛКА,
ТЕПЛООБМІННИК, ПІДІГРІВАЧ, ФЛЕГМА

В данній дипломній роботі розглянуто установку ректифікації суміші ацетон-вода з розробкою підігрівача:

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

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

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

Розглянуті питання технології виготовлення підігрівача, його ремонт;

Висвітлені питання техніки безпеки.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	_____
ВСТУП	_____
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД	_____
2 ОПИС ТЕХНОГОЛІЧНОЇ СХЕМИ ТА КОНСТРУКЦІЇ КОЛОНИ І ПІДГРІВАЧА	_____
3 КОНСТРУКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПІДГРІВАЧА	_____
4 ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ РОЗМІРІВ КОЛОНИ ТА ПІДГРІВАЧА	_____
5 РОЗРАХУНКИ НА МІЦНІСТЬ ЕЛЕМЕНТІВ ПІДГРІВАЧА	_____
6 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПІДГРІВАЧА	_____
7 РЕМОНТ ПІДГРІВАЧА	_____
8 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ	_____
ВИСНОВКИ	_____
СПИСОК ПОСИЛАНЬ	_____

ВСТУП

У хімічній промисловості велике значення мають процеси масообміну, які полягають в переході речовини (маси) з однієї фази в іншу.

Застосовуються наступні процеси, засновані на явищі масообміну.

Абсорбція – поглинання газу рідиною, тобто процес, при якому речовина переходить з газової фази в рідку і розчиняється в ній.

Десорбція – зворотний процес видалення з рідини розчиненого в ній газу.

Перегонка і ректифікація – розділення гомогенних рідких сумішей шляхом випарювання компоненту, що володіє більш високою летючістю, з подальшою конденсацією цього компоненту.

Екстракція - видалення розчиненої в рідині речовини за допомогою іншої рідини, що не змішується з першою і здатною краще розчиняти цю речовину.

Адсорбція – поглинання твердим пористим поглиначем одного компоненту з багатокомпонентної суміші газів, пари або рідин.

Десорбція – зворотний процес адсорбції. Служить для видалення адсорбованої речовини і регенерації поглинача.

- Сушка – видалення вологи з твердих тіл шляхом випарювання.
- Кристалізація – видалення одного або декількох компонентів у вигляді кристалів з розчину або розплав.

Простими способами перегонки рідких сумішей являються:

- 1) часткове випарювання рідини і конденсація отриманої пари з відведенням конденсату (проста перегонка);
- 2) часткова конденсація пари суміші, що переганяється, з відведенням конденсату (проста конденсація).

Кожен з цих процесів окремо не приводить до отримання достатньо чистих продуктів, але здійснюючи обидва ці процеси одночасно і багато

разів в протиточних колонах, можна досягти розділення рідкої суміші на чисті компоненти, що складають суміш.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Перегонка рідини

Види ректифікації:

1 Проста ректифікація. Даний процес проводиться в насадкових і тарільчастих ректифікаційних колонах. Рідина подається на верхню насадку або тарілку проходить внутрішні пристрої і поступає в кип'ятильник. Де при закипанні утворюється потік пари, яка проходить через колону, захоплюєз собою пару легко киплячої рідини і доставляє її у верхню частину колони. Потім пара поступає в конденсатор, а висококипляча рідинаа виходить як кінцевий продукт.

Переваги простої перегонки:

- простота конструкції;
- можна отримувати хімічно чисті продукти.

2 Пароциркулярна ректифікація (евапорація) здійснюється в ректифікаційних колонах, де використовується циркулююча водяна пара. При використанні евапорації домішки між рідкою і паровою фазою розподіляються по-різному. Колони ректифікації складаються з нижньої частини, в якій відбувається очищення рідини і верхньої (поглинювальною) частини, в якій йде регенерація пари. Перегонка з водяною парою дозволяє розганяти природні масла і смоли на фракції, одні з яких переганяються з водяною парою, а інші – ні.

Недоліки:

- домішки між рідкою і паровою фазою розподіляються по-різному;
- час від часу треба додавати свіжу воду. При тривалих роботах це представляє незручність, оскільки для додавання води потрібно припиняти перегонку, роз'єднувати пару і потім знову збирати всю систему.

Процес ректифікації може протікати як при атмосферному тиску, так і при тиску вище і нижче атмосферного. Під вакуумом ректифікацію

проводять, для розділення підлягають висококиплячих рідин. Підвищений тиск застосовується для розділення сумішей, що знаходяться в газоподібному стані при нижчому тиску. Ступінь розділення суміші рідин на компоненти, і чистота отримуваних дистиляту і кубового залишку залежать від того, наскільки розвинена поверхня фазового контакту, а отже, від кількості зрошуючої рідини (флегми) і конструкції колони ректифікації.

У промисловості застосовують ковпачкові, ситчасті і насадкові колони. Вони розрізняються в основному конструкцією внутрішніх пристроїв, призначення яких — забезпечення взаємодії рідини і пари. Ця взаємодія відбувається при взаємодії пари і рідини на тарілках або при поверхневому контакті пари і рідини на насадці.

1.2 Апаратурне оформлення процесів перегонки рідини

Процес перегонки рідини здійснюють в установці, що включає колону ректифікації, підігрівач, дефлегматор, холодильник-конденсатор, збірник дистиляту і кубового залишку. Дефлегматор, холодильник-конденсатор і підігрівач є звичайними кожухотрубчатими теплообмінниками. Основним апаратом установки є ректифікаційна колона, в якій пара рідини, що переганяється, піднімається знизу, а назустріч парі зверху стікає рідина, що подається у верхню частину апарату у вигляді флегми. В більшості випадків кінцевими продуктами є дистилят (сконденсована в дефлегматорі пара легколетучого компоненту, що виходять з верхньої частини колони) і кубовий залишок (менш леткий компонент в рідкому вигляді, витікаючий з нижньої частини колони).

Конструкції ректифікаційних колон

В ректифікаційних установках використовують головним чином апарати двох типів: насадкові колони і тарільчасті.

Тарільчасті ковпачкові колони найчастіше застосовують в ректифікаційних установках.

Пара з попередньої тарілки потрапляє в парові патрубки ковпачків і барботує через шар рідини, в яку частково занурені ковпачки. Ковпачки мають отвори або зубчасті прорізи, що розчленовують пару на дрібні цівки для збільшення поверхні зіткнення її з рідиною. Переливні пристрої служать для підведення і відведення рідини і регулювання її рівня на тарілці. Основною областю масообміну і теплообміну між парою і рідиною, як показали дослідження, є шар піни і бризок над тарілкою, що створюється в результаті барботажу пари. Висота цього шару залежить від розмірів ковпачків, глибини їх занурення, швидкості пари, товщини шару рідини на тарілці, фізичних властивостей рідини і ін.

Окрім ковпачкових тарілок, застосовують також клапанні, ситчасті, S-подібні, лускові, провальні і інші конструкції тарілок.

Клапанні тарілки показали високу ефективність завдяки можливості саморегулювання. Залежно від навантаження клапан переміщається вертикально, змінюючи поверхню перетину отвору для проходу пари, причому максимальний перетин визначається висотою обмежувача підйому. Поверхня перетину отворів для пари складає 10—15% площини перетину колони. Швидкість пари досягає 1,2 м/с. Клапани виготовляють у вигляді пластин круглого або прямокутного перетину з верхнім або нижнім обмежувачем підйому.

До провальних відносять тарілки решітчасті, колосникові, трубчасті, ситчасті (плоскі або хвилясті без зливних пристроїв. Поверхня перетину тарілок змінюється в межах 15—30%. Рідина і пара проходять поперемінно через кожен отвір залежно від співвідношення їх натисків. Тарілки мають малий опір, високий ККД, працюють при значних навантаженнях і відрізняються простотою конструкції.

Прямоточні тарілки забезпечують тривалий контакт плівки рідини з парою, що рухається із швидкістю 14—45 м/с. Поверхня перетину тарілки досягає 30%.

Ситчасті колони широко застосовують в хімічній промисловості. Допустимі навантаження по рідині і парі для них досить невеликі. Масо- і теплообмін між парою і рідиною в основному проходять в шарі піни і бризок. Тиск і швидкість пари мають бути достатні для подолання тиску шару рідини на тарілці і створення опору її витіканню через отвори. Для нормальної роботи, ситчасті тарілки необхідно встановлювати строго горизонтально. Це забезпечує проходження пари через всі отвори тарілки, а також дозволяє уникнути стікання рідини через них. Діаметр отворів ситчастої тарілки приймають в межах 0,8—3,0 мм.

Насадкові колони широкого поширення в промисловості. Вони мають насадку з інертних матеріалів певного розміру. Насадка має форму кілець, куль для збільшення поверхні фазового контакту і інтенсифікації перемішування рідкої і парової фаз.

Масо- і теплообмін в колонах з насадкою залежить не лише від молекулярної дифузії, фізичних властивостей фаз, але і від гідродинамічних умов роботи колони, які визначають турбулентність потоків. Від швидкості потоку в колоні можливі три гідродинамічні режими: ламінарний, проміжний і турбулентний. При них потік пари є суцільним, безперервним і заповнює вільний об'єм насадки, не зайнятий рідиною, тоді як рідина стікає лише по поверхні насадки. Збільшення швидкості пари може привести до подолання сил поверхневого натягіння і порушення граничної поверхні між потоками рідини і пари. Газові вихори при цьому проникають в потік рідини, відбувається емульгування рідини парою, і масообмін між фазами різко зростає. При емульгуванні рідина розподіляється не по насадці, а заповнює весь її вільний об'єм, не зайнятий парою; рідина утворює суцільну фазу, а газ — дисперсну фазу, розподілену в рідині, тобто відбувається інверсія фаз.

Дослідження показали, що перехід від турбулентного режиму до режиму емульгування відповідає оптимальним умовам роботи колони і

оптимальної швидкості пари, при якій на насадці затримується максимальна кількість рідини, бризок і піни, досягаються інтенсивний масообмін і максимальна продуктивність. При перевищенні оптимальної швидкості починається “захлинання” колони і порушення режиму її роботи.

Ректифікаційні колони трубчасті плівкові не складаються з пучка вертикальних труб, по їх внутрішній поверхні тонкою плівкою стікає рідина, взаємодіючи з парою, що піднімається по трубах.

Пара поступає з куба в трубки. В дефлегматорі флегма утворюється безпосередньо на внутрішній поверхні трубок, що охолоджуються водою у верхній їх частині. Діаметр трубок 5—20 мм. Ефект роботи такої колони зростає із зменшенням діаметру трубок.

Трубчасті колони характеризуються простотою виготовлення, високими коефіцієнтами масопередачі і вельми малим гідравлічним опором руху пари. Багатотрубні колони з штучним зрошуванням мають значно менші габаритні розміри і масу, чим тарільчасті.

1.3 Теплообмінне обладнання

Апарати, призначені для передачі тепла, називають теплообмінними. Їх застосовують для рідких, газових середовищ у широкому діапазоні тисків, температур та фізико-хімічних властивостей.

Теплообмінні апарати класифікуються за такими основними ознаками:

- за конструкцією — апарати з поверхнею теплообміну, виготовлюваною з труб (кожухотрубчасті, “труба в трубі”, зрошувальні, повітряного охолодження, занурювальні змішувальні); апарати, поверхня теплообміну яких виконується з металевих листів (пластинчасті, спіральні) та апарати, що виготовляються з інших матеріалів;

- за призначенням — теплообмінники, холодильники, конденсатори та випарники;

- за взаємним напрямом робочих середовищ – прототечийні, протитечійні та змішаного току.

Вимоги до теплообмінних апаратів:

- конструкція апарату має бути надійною, технологічною, безпечною при виготовленні, монтажі і експлуатації, забезпечувати можливість термообробки;

- забезпечувати отримання необхідних кінцевих температур кожного робочого середовища при заданому рівні гідравлічних опорів;

- компактність та найменша витрата матеріалів на одиницю теплової продуктивності апаратів;

- надійність та герметичність у поєднанні з розбірністю та доступністю до поверхні теплообміну для механічного очищення її від забруднень;

- уніфікація складальних одиниць та деталей та технологічність виготовлення широких рядів поверхонь теплообміну для різного діапазону робочих температур та тисків.

Теплообмінні апарати з нерухомими трубними решітками є найпростішими за конструкцією, достатньо зручними при експлуатації та ремонті (можлива механічна очистка внутрішньої поверхні та заміна пошкоджених труб). Їх застосування обмежується порівняно невеликою різницею температур кожуха та теплообмінних труб (до 30-60 °С), а також неможливістю механічної очистки зовнішньої поверхні труб.

Теплообмінні апарати з температурним (лінзовим) компенсатором на кожусі застосовуються при більш високих різницях температур, але при цьому знижується допустимий тиск у міжтрубному просторі та ускладнюється конструкція апарата.

Прагнення інтенсифікувати процеси конвективного теплообміну та створити найтехнологічніші у виготовленні та економічні теплообмінні апарати призвело до швидкого удосконалення їх конструкцій, виготовлених з листового прокату.

Найбільш прогресивними в цей час є пластинчасті теплообмінні апарати, складальні одиниці та деталі яких повністю уніфіковані і виготовляються переважно штампуванням та зваркою. Це створює можливості економічного масового виготовлення цих апаратів при мінімальній металоємкості.

Поверхня теплообміну пластинчастих теплообмінних апаратів представляє собою набір тонких штампованих теплопередавальних пластин з гофрованою поверхнею. Потік робочого середовища в каналах, які створені пластинами, піддається штучній турбулізації при порівняно невеликих витратах енергії. Оптимальні розміри каналів для робочих середовищ, а також різні варіанти компоновки цих каналів дозволяють інтенсифікувати процес теплопередачі в два–три рази порівняно з теплопередачею в кожухотрубчастих теплообмінних апаратах. В розбірних та напіврозбірних конструкціях розборку та складання апаратів при очищенні теплопередавальних поверхонь від забруднень можна здійснювати швидко і при мінімальних витратах праці. При ремонті апаратів також не потрібні великі зусилля (спрацьовані прокладки та пластини замінюють запасними).

Пластинчасті теплообмінні апарати мають різну степінь доступу до механічного очищення та огляду поверхні теплообміну: у розбірних апаратів пластини відокремлені одна від іншої прокладками, у напіврозбірних апаратів пластини попарно зварені, і доступ до поверхні теплообміну можливий лише збоку ходу одного з робочих середовищ; у нерозбірних апаратів всі пластини зварені між собою; і тому доступу в канали для їх механічного очищення немає. Очищення таких апаратів здійснюється промивкою хімічними розчинниками.

Пластинчасті теплообмінні апарати можна класифікувати таким чином:

- за конструкцією – на розбірні, напіврозбірні (зі здвоєними пластинами) та нерозбірні (зварні) апарати;
- за призначенням – на теплообмінники, холодильники, конденсатори та випарники.

Пластинчасті теплообмінні апарати призначені для передачі тепла від гарячого робочого середовища до холодного через теплопередавальну поверхню. Поверхні теплообміну в цих апаратах виготовляють з корозійностійкої сталі та титану.

Розбірні теплообмінні апарати можуть працювати при тиску від 0,002 до 1 МПа і температурі робочих середовищ від -20 до $+180$ °С. Площа поверхні теплообміну їх становить від 1 до 800 м².

Розбірні та апарати зі здвоєними пластинами (напіврозбірні) призначені для роботи при тиску від 0,002 до 1,6 МПа по звареній порожнині і від 0,002 до 1 МПа – по розбірній порожнині і температурі робочих середовищ від -20 до $+200$ °С. Площа поверхні теплообміну їх становить від 12,5 до 320 м².

Нерозбірні (зварні) апарати призначені для роботи при тиску від 0,0002 до 4 МПа і температурі робочих середовищ від -70 до $+300$ °С. Площа поверхні теплообміну їх становить від 100 до 500 м².

Галузь застосування пластинчастих теплообмінних апаратів

Пластинчасті теплообмінні апарати характеризуються високою інтенсивністю процесів тепловіддачі та теплопередачі при помірних гідравлічних опорах. Їх можна застосовувати для рекуперації тепла між потоками робочих середовищ для нагріву, охолодження, конденсації та випарювання рідин, парів та їх сумішей. Ці апарати можуть бути двопоточними та багатопоточними, тобто можуть застосовуватися для теплообміну між трьома та більшою кількістю середовищ в одному апараті.

В цих апаратах теплообмін здійснюється між робочими середовищами: рідина-рідина, пара-рідина, пара+газ-рідина, газ-рідина, газ-газ.

Розбірні теплообмінні апарати можна застосовувати для теплової обробки суспензій з твердими частинками розміром не більше 4мм. При відкладенні забруднень на теплопередавальних поверхнях можна періодично переключати канали на робочі середовища, які очищують поверхні від забруднень без розборки апарата.

Розбірні теплообмінні апарати не призначенні для роботи з вибухонебезпечними середовищами групи 1 по ГОСТ 12.1.007-76.

Нерозбірні пластинчасті теплообмінні апарати служать для роботи з робочими середовищами, які не утворюють на теплопередавальних поверхнях труднорозчинних забруднень та піддаються хімічній промивці.

Пластинчасті теплообмінні апарати можна використовувати для теплової обробки рідин з кінематичною в'язкістю від $0,2 \cdot 10^{-6}$ до $6 \cdot 10^4$ м²/с.

Конструкції розбірних та напіврозбірних пластинчастих теплообмінних апаратів

В теплопередавальних пластинах розбірних апаратів по їх контуру передбачено паз, у якому закріплені ущільнювальні прокладки з гум спеціальних теплостійких марок. Пластини установлюють на раму теплообмінника, яка складається з кількох штанг, рухомих та нерухомих плит із затискними гвинтами. Нерухома плита звичайно закріплена до полу, рухома – на ролику підвішена до верхньої штанги та може рухатися по ній. На плитах розміщуються штуцери для приєднання технологічних трубопроводів.

При однопакетному компонуванні пластин допускається установка усіх чотирьох штуцерів на нерухомій плиті, що полегшує експлуатацію апарата.

На апараті може бути встановлено більше чотирьох штуцерів,

наприклад, для відведення несконденсованих газів, зливу продуктів тощо.

Розбірні теплообмінні апарати установлюють на консольній рамі (виповнення 1), на двохопорній рамі (виповнення 2), на трьохопорній рамі або рамі з нерухомою опорою усередині (виповнення 3).

Основна деталь розбірного пластинчастого теплообмінного апарата – гофрована теплопередавальна пластина.

В каналах апарата, які складаються з пластин, передбачені точки опори гофр, що дозволяє витримувати в апараті різницю тисків з обох боків пластини, а також підвищений внутрішній тиск у каналах при збереженні герметичності.

Група пластин, що утворює систему каналів, у яких робоче середовище рухається лише в одному напрямку, складає пакет.

Один або кілька пакетів, стиснутих між нерухомою та рухомою плитами, створюють секцію. При складанні пакету пластини повернуті одна відносно другої на 180° , причому усі гумові прокладки розташовуються з боку рухомої плити. У кутах пластин розміщуються отвори для проходження робочих середовищ.

У проміжних і кінцевих пластинах може бути одно, два або три отвори, кількість яких визначають відповідно схемі компоновки пластин в теплообміннику.

Кожна пластина в працюючому апараті омивається двома середовищами: з одного боку – охолоджуваним, з другого – нагрітим. Середовища, які протікають поперек гофрів, турбулізуються, що сприяє інтенсифікації теплообміну. Простірня схема руху робочих середовищ в однопакетному пластинчастому теплообмінному апараті приведена на рисунку 1.1.

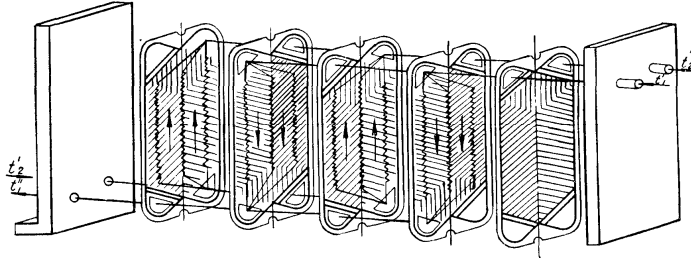


Рисунок 1.1 – Простірна схема руху робочих середовищ в однопакетному пластинчастому теплообмінному апараті

При формах та розмірах гофр, прийнятих для промислових пластинчастих теплообмінних апаратів, вже при $Re > 50-200$ стабілізація потоку порушується, потік становиться турбулентним. Порушення стабілізації граничного підшару сприяє підвищенню інтенсивності тепловіддачі. При роботі на середовищах типу вода-вода коефіцієнт теплопередачі складає $3000-5000 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

При компонованні пластинчастих розбірних теплообмінних апаратів за схемою, визначеною розрахунком, можна отримати оптимальну кількість каналів в пакеті та пакетів в секції для кожного робочого середовища.

Компоновку теплообмінного апарата можна змінити відповідно до конкретної кількості кожного з робочих середовищ, напору та заданому тепловому режиму, завдяки чому характеристику апарата можна наблизити до оптимальної та підвищити коефіцієнт теплопередачі.

Компоновку пластин в апараті та напрям руху робочих середовищ зображають на схемах, що складаються відповідно тепловим та гідродинамічним розрахункам. Схему найпростішого пластинчастого теплообмінного апарата (рисунок 1.1), який складається з п'яти пластин, що формують по два паралельних канали для кожного робочого середовища, умовно представляють дріб'ю

$$C_x \frac{2}{2}.$$

Теплообмінні апарати промислового призначення часто мають більш складні схеми компоновки каналів та теплопередавальних поверхонь.

На рисунку 1.2 наведена схема компоновки пластин у два симетричних пакети для охолоджуваного та нагрівного робочих середовищ, тобто при однакової кількості каналів у кожному пакеті для кожного робочого середовища. Для кожного робочого середовища можна застосувати різні варіанти компоновки пластин.

Робоче середовище через вхідний штуцер поступає у подовжній колектор, створений кутовими отворами та прокладками стиснутих у пакет пластин, і рухається по ньому до пластини з непросіченим місцем для кутового отвору 3 колектора, далі робоче середовище проходить у міжпластинчасті канали через ділянки, на яких відсутні ущільнювальні прокладки. У кожному колекторі ці ділянки розташовані через одну пластину, завдяки чому створюється система гарячих та холодних каналів. Після проходження міжпластинчастих каналів робоче середовище попадає у протилежний колектор і виводиться з апарата або проходить у наступний пакет.

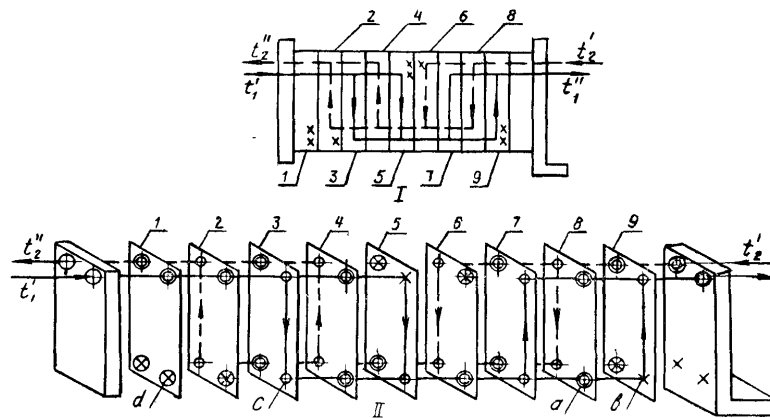


Рисунок 1.2 – Схема компоновки пластин у два симетричних пакети

$I - 1-9$ – нумерація каналів; $II - 1-9$ – нумерація пластин; a – отвір з ущільнювальним гумовим кільцем; b – непросічене місце для отвору без ущільнювального гумового кільця; c – отвір без ущільнювального гумового кільця; d – непросічене місце для отвору з ущільнювальним гумовим кільцем

При заданій витраті рідини, яка проходить через апарат, можна розрахувати швидкість руху її по міжпластинчастим каналам. Оптимальна швидкість досягається за рахунок змінення числа каналів у пакеті.

Пакет завжди обмежено пластиною, яка має неповну кількість кутових отворів. Такі пластини називають граничними.

Робочі середовища, як правило, рухаються в апараті протитоком.

Якщо витрата одного робочого середовища значно відрізняється від другого, то для створення однакових швидкостей та гідравлічних опорів збоку руху кожного середовища та забезпечення оптимальних коефіцієнтів тепловіддачі, застосовують несиметричні схеми компоновки пластин (рисунок 1.3). У цих схемах кількість каналів в пакетах для кожного з робочих середовищ неоднакова.

Розрізняють пластини з діагональним та одностороннім розташуванням прохідних отворів для кожного робочого середовища.

На рисунку 4 наведено паралельне однопакетне з'єднання пластин типу 0,2 з діагональним розташуванням прохідних отворів.

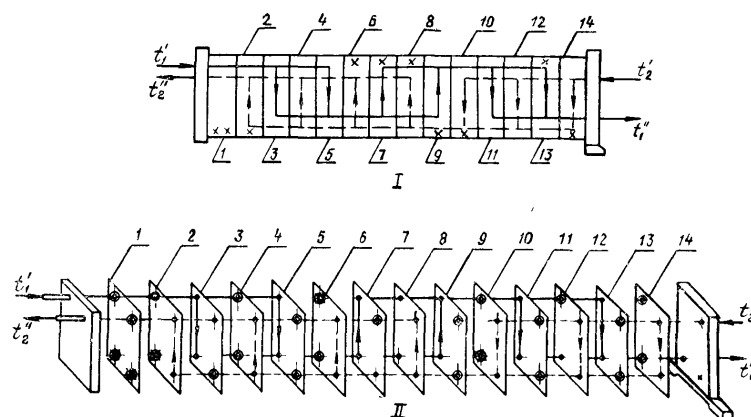


Рисунок 1.3 – Несиметрична схема компоновки пластин

I – 1–14 – нумерація каналів; *II* – 1–14 – нумерація пластин

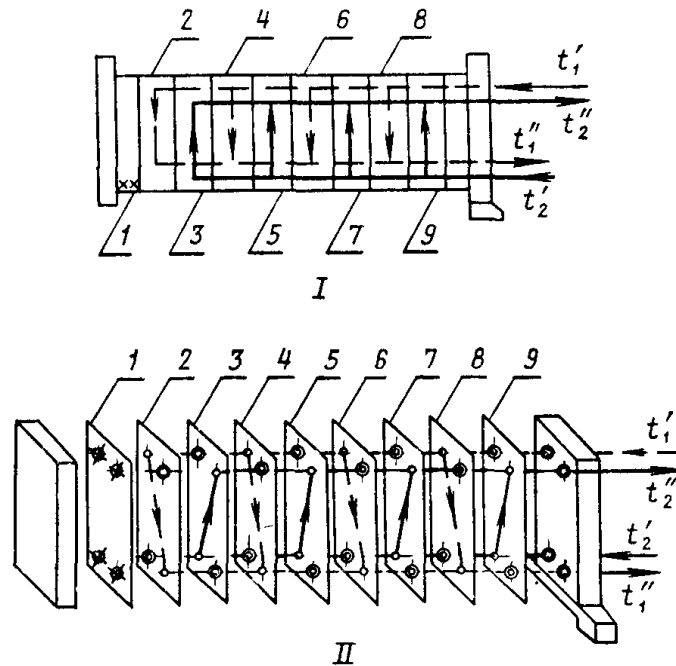


Рисунок 1.4 – Паралельне однопакетне з'єднання пластин типу 0,2 з діагональним розташуванням прохідних отворів

I – 1–9 – нумерація каналів; *II* – 1–9 – нумерація пластин

Для ходу кожного робочого середовища є чотири канали. Після зборки пластин утворюються дві ізольованих одна від другої системи каналів. Кожна система з'єднується з двома кутовими отворами. Канали обох систем у пакеті чергуються. Для цього пакет необхідно набирати з лівих та правих пластин, які розрізняються розміщенням ущільнювальних прокладок. Загальний вигляд лівої та правої пластин з одностороннім направленням потоку наведено на рисунку 1.5.

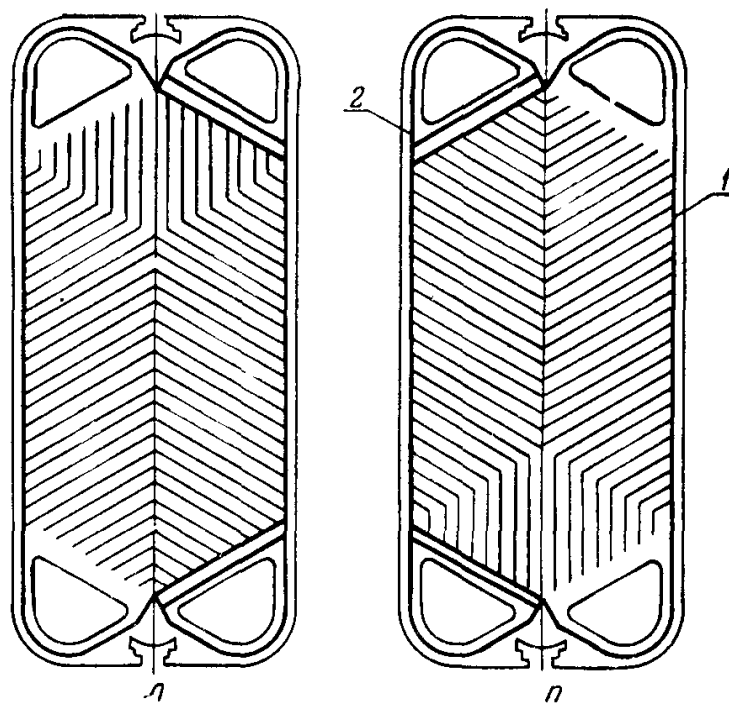


Рисунок 1.5 – Загальний вигляд лівої та правої пластин з одностороннім направленням потоку

л – ліва прокладка *п* – права прокладка; *1* – велика прокладка; *2* – мала прокладка

В лівій пластині потік першого робочого середовища входить у міжпластинчастий простір через верхній або нижній лівий кутовий отвір, а виходить через інший. Праві отвори ізолювані від потоку першого робочого середовища ущільнювальною прокладкою.

Праві та ліві пластини чергуються у пакеті, а розміщення великої та малої прокладок забезпечує чергування каналів для потоків гарячого та холодного робочих середовищ. При зборці пакетів усі праві пластини повернуті відносно лівих на 180° у площині пластини; при цьому вершини гофр взаємно перетинаються.

Якщо велика ущільнювальна прокладка охоплює два кутових отвори, які розташовані по діагоналі пластини, то загальний напрям потоку при русі рідини в міжпластинчастому каналі буде діагональним.

Рівномірно розподілений значний гідравлічний опір гофрованої частини міжпластинчастого каналу сприяє вирівнюванню його швидкості по ширині каналу. Тому обидва варіанти пластин (з одностороннім та діагональним напрямом потоку) практично рівноцінні.

При використанні пластин з одностороннім напрямом потоку штуцери входу та виходу для першого робочого середовища розміщені з одного боку апарата, а для другого робочого середовища – з другого боку. При парному компонуванні пакетів у секції обидва штуцери розташовані вверху або внизу, при парному компонуванні – один вверху, а другий внизу.

При використанні пластин із діагональним розташуванням потоку робоче середовище з одного боку апарата направляється до другого. Якщо кількість пакетів в секції по лінії руху потоку робочого середовища парне, то штуцери входу середовища в апарат та виходу з нього розташовують з одного боку вдовж апарата (рисунк 1.6).

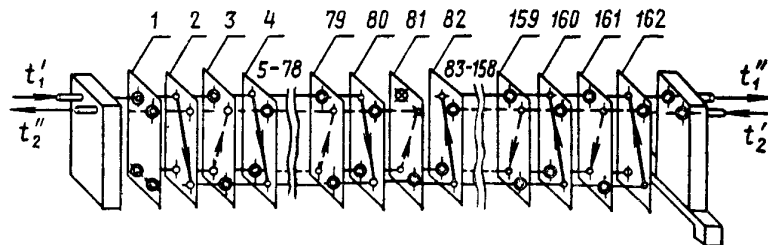


Рисунок 1.6 – Схема компоновки пластин з одностороннім розташуванням прохідних отворів та прокладками

1- 162 – нумерація пластин

При заданій витраті робочих середовищ, які проходять через теплообмінник, залежно від схеми компоновки пластин можна змінювати швидкості руху середовищ у міжпластинчастих каналах. Отже, є можливість регулювати гідравлічний опір та коефіцієнт теплопередачі в апараті. У кожному окремому випадку при складанні схем компоновок пластин необхідно розрахувати оптимальну схему для раціонального використання напору.

По контуру пластини розташовано паз для гумової ущільнювальної прокладки. Пластини штампують із листової сталі різних марок. Гофри пластин мають у перерізу профіль рівнобедреного трикутника. Пластини збираються на верхніх штангах рами за допомогою спеціальних скобок (для консольних апаратів і апаратів на двохопорній рамі з пластинами невеликих типорозмірів) або без них. Кожна пластина повернута у своїй площині на 180° відносно суміжної пластини.

Залежно від конструкції опорних рам розбірні та напіврозбірні теплообмінні апарати виготовляють у трьох виготовленнях: на консольній рамі (виготовлення 1), на двохопорній рамі (виготовлення 2) та на трьохопорній рамі (виготовлення 3).

Пластини виготовляються з листової сталі товщиною 0,8 або 1 мм. Апарати з пластинами товщиною 1 мм застосовують для роботи з агресивними середовищами при швидкості корозії понад 0,05 мм/рік.

Кутові отвори для проходу робочих середовищ мають круглу або складну форму. Останні забезпечують зниження місцевого гідравлічного опору на вході в канал та виході з нього, що сприяє зменшенню швидкості відкладання солей на цих ділянках і дозволяє більш раціонально використовувати всю площу пластини для теплообміну.

По контуру пластини розташовані пази під гумові одну велику та дві малі ущільнювальні прокладки.

Гофровані пластини збирають у пакет таким чином, щоб на суміжних пластинах нахилання гофр було спрямовано у протилежні боки. Нижня штанга рами, яка не несе навантаження від маси пластин, призначена для фіксації їх у заданому положенні. Кожну пластину можна легко витягнути з пакету або вставити в нього без зняття рухомої плити та решти пластин. Між кожною парою пластин створюється канал, по якому перетікає робоче середовище. Канали – сітчасто-поточні. Рідина в них здійснює хвилясте, простірний, трьохмірний рух і при цьому турбулізується. Сумарна площа

поперечного перерізу міжпластинчастих каналів постійна у всіх перерізах, перпендикулярних до напрямку руху потоку робочого середовища.

2 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ТА КОНСТРУКЦІЇ КОЛОНИ І ПІДГРІВАЧА

2.1 Технологічна схема

Початкову суміш з проміжної ємкості ϵ_1 відцентровим насосом H_2 подають в підігрівач Π , де вона підігрівается до температури кипіння і поступає на розділення в ректифікаційну колону KP на розподільну тарілку, де склад рідини дорівнює складу початкової суміші x_F . Стікаючи вниз по колоні, рідина взаємодіє з паром, що піднімається вгору, яка утворюється при кипінні кубової рідини в кип'ятильнику K . Начальний склад пари приблизно дорівнює складу кубового залишку x_W , тобто збіднений легко киплячим компонентом.

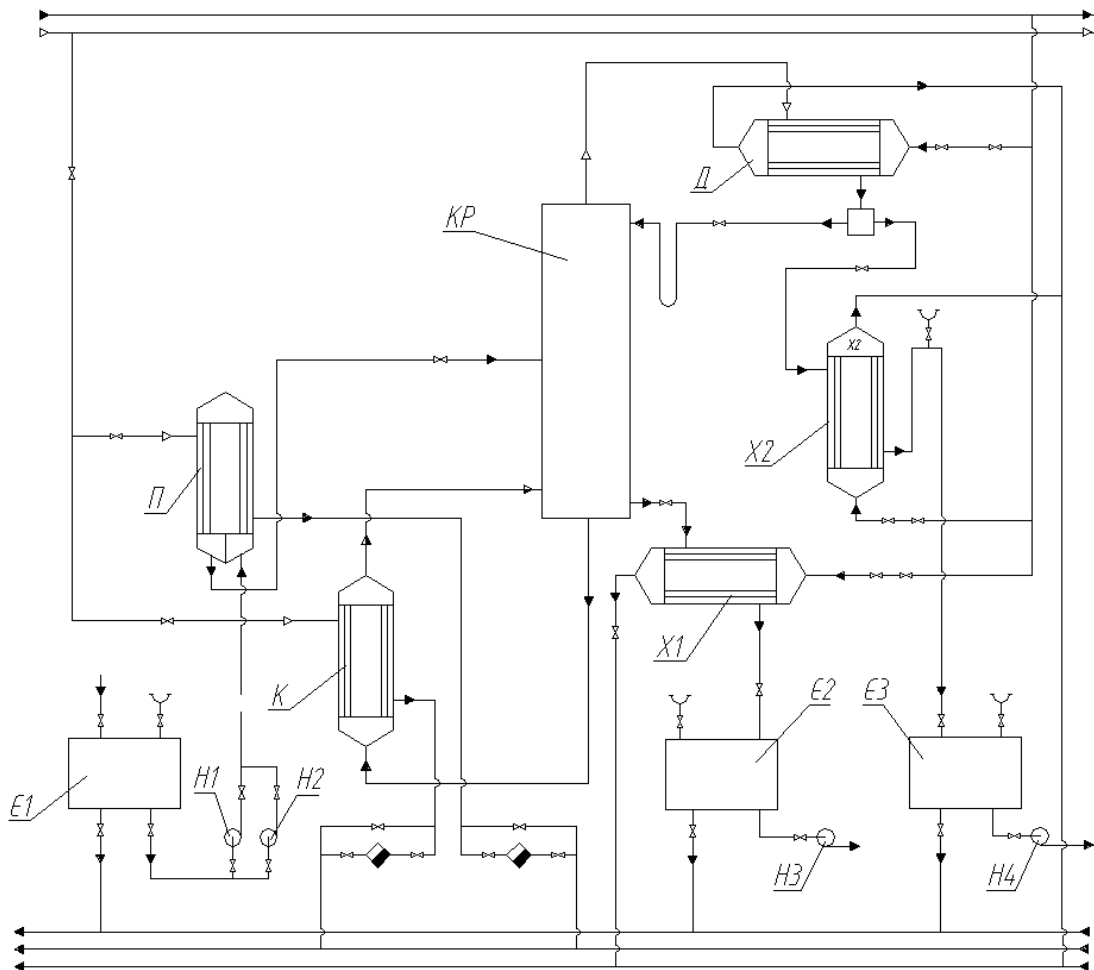


Рис. 2.1 Схема безперервно діючої ректифікаційної установки

Верхню частину колони зрошують відповідно до заданого флегмового числа рідиною (флегмою) складу x_p , що отримується в дефлегматоре Д шляхом конденсації пари, що виходить з колони. Частина конденсату виводиться з дефлегматора у вигляді готового продукту розділення – дистиляту, який охолоджується в холодильнику Х2 і прямує в проміжну ємність Є3.

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

Таким чином, в ректифікаційній колоні відбувається безперервний нерівноважний процес розділення початкової бінарної суміші на дистилят і кубовий залишок.

2.2 Опис конструкції ковпачкової колони

Колонний апарат з ковпачковими тарілками показаний на рис. 2.2, суцільнозварний циліндричний з еліптичними відбортowanими днищами 2, корпусом 1, встановлений на циліндричній опорі 4, обладнаний люками 5 діаметром 500 мм (ОСТ 26-2002-83), через які відбувається збирання і розбирання внутрішніх пристроїв (тарілок), а також огляд внутрішньої поверхні апарату, його чищення і ремонт. Люки оснащені підйимально-поворотними пристроями 6. Апарат обладнаний технологічними штуцерами, призначеними для входу і виходу робочого середовища і штуцерами для приєднання контрольно–вимірювальних пристроїв. Також на колонному апараті розташовані цапфи для стропування 7, пристосування для вивірювання 8. Пристосування для вивірювання вертикальності встановлення колони при монтажі представляють собою спеціальні пристрої у вигляді нарізних шпильок, які встановлюються по двох взаємно перпендикулярним створюючим корпуси апарату, дві вгорі і дві внизу.

Всередині колони розташовані ковпачкові тарілки 3. Вони складні і металоємні в порівнянні з тарілками інших типів. Деякими їх показники поступають сучаснішим типам тарілок, але вони добре освоєні і знаходять в промисловості найбільш широке застосування.

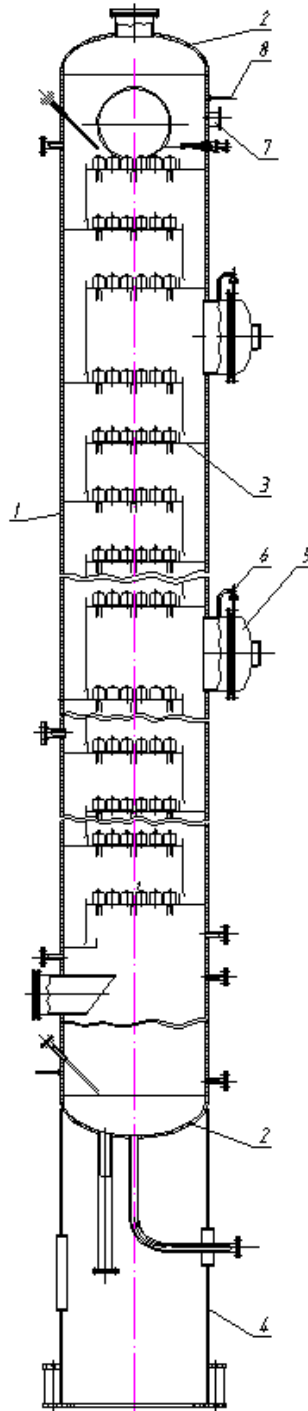


Рис. 2.2 Колонний апарат з ковпачковими тарілками

Ковпачкова тарілка має ковпачки з патрубками в центрі. Вони не чутливі до забруднень і відрізняються вищим інтервалом стійкої роботи колони.

Піна утворюється при барботажі пари через прорізи ковпачків, в ній відбувається інтенсивний масообмін між рідиною і парою. Ковпачки виготовляють круглими (капсульними) і довгастими (тунельними), останні зараз не знаходять широкого застосування. На тарілку пара поступає по патрубках, розбиваючись потім прорізами ковпачка на велике число окремих струменів. Далі пара проходить через шар рідини, що перетікає по тарілки від одного зливного пристрою до іншого. При русі через шар значна частина дрібних струменів розпадається і газ розподіляється в рідині у вигляді бульбашок.

Недолік тарільчастих колон - відносно високий гідравлічний опір - в умовах ректифікації не має такого істотного значення, як в процесах абсорбції, де величина гідравлічного опору пов'язана із значними витратами енергії на переміщення газу через апарат. При ректифікації підвищення гідравлічного опору приводить лише до деякого збільшення тиску і відповідно до підвищення температури кипіння рідини в кип'ятильнику колони.

2.3 Опис конструкції підігрівача

Підігрівач – двоходовий кожухотрубчастий теплообмінний апарат з температурним компенсатором на кожусі вертикальний (рис. 2.3) складається з трубного пучка 1, розподільної камери 2 і кришки 3, які з'єднуються між собою за допомогою фланців. Апарат обладнаний штуцерами для підведення і відведення робочого середовища, нарізними пробками або штуцерами для спорожнення трубного і міжтрубного просторів, а також штуцерами-повітряниками, які встановлюються в нижніх і верхніх точках відповідних порожнин. Штуцери для введення і виведення середовища повинні мати відповідні фланці. Апарат з температурним компенсатором на кожусі обладнаний лінзовим компенсатором, призначеним для зниження температурних напружень, яка виникає в трубах і

кожусі в робочих умовах. Вертикальний апарат встановлюється на опорних лапах.

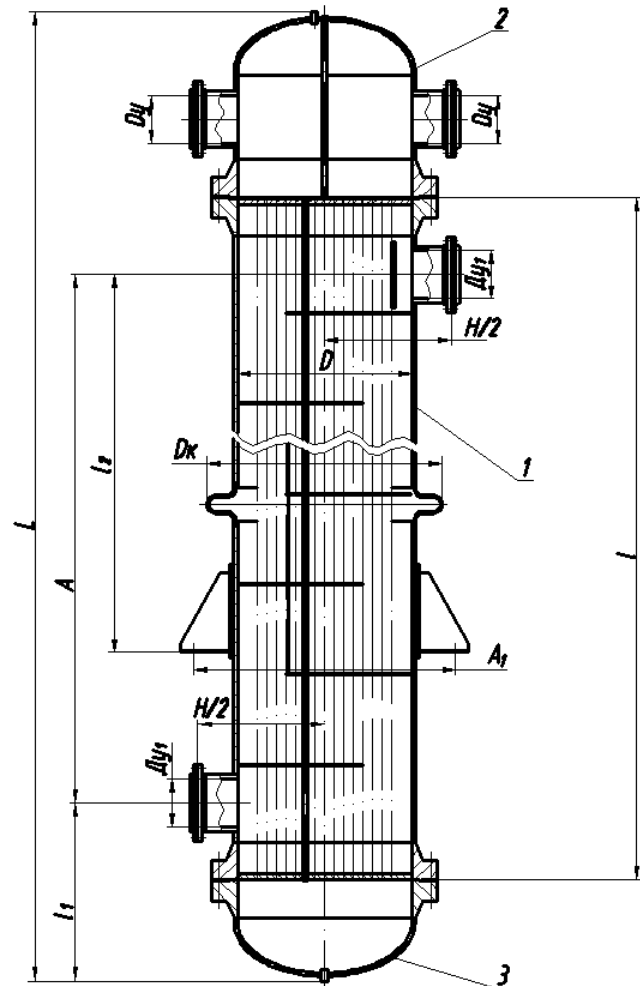


Рисунок 2.3 – Кожухотрубчастий теплообмінний апарат з температурним компенсатором на кожусі вертикальний двоходовий по трубах

До корпусу по торцях приварені трубні решітки, в яких закріплені теплообмінні труби. В основному труби в решітках кріпляться розвальцьовуванням або якимсь іншим способом залежно від матеріалу труб і тиску в апараті. Трубні решітки закриваються кришками на прокладках і болтах або шпильках. На корпусі є патрубки, через які один теплоносій проходить через міжтрубний простір. Другий теплоносій через патрубки на кришках рухається по трубах. У багатоходовому

теплообміннику в корпусі і кришках встановлені перегородки для підвищення швидкості теплоносіїв.

3 ВИБІР ОСНОВНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Специфічні умови експлуатації хімічного устаткування, що характеризуються широким діапазоном тиску і температур при агресивній дії середовища, визначають наступні вимоги до конструкційних матеріалів:

- низька хімічна і корозійна стійкість матеріалів в неагресивному середовищі при робочих температурах;
- висока механічна міцність при заданому робочому тиску, температурі і додаткових навантаженнях, що виникають при гідравлічному випробуванні і експлуатації апаратів;
- хороше зварювання матеріалів із забезпеченням високих механічних властивостей зварних з'єднань;
- низька вартість і недефіцитність матеріалів.

Вибір матеріалів визначається робочим тиском, температурою стінки апарату, хімічним складом і характером середовища. Необхідно також враховувати технологічні властивості матеріалу.

При конструюванні необхідно враховувати економічну доцільність застосування вибраного матеріалу, тобто його витрату і вартість відповідно до вимог, що пред'являються до апаратів.

Для виготовлення обичайки корпусу і камери застосовуємо сталь СтЗсп5 за ГОСТ 380-94. Для виготовлення трубних решіток застосовуємо сталь 16ГС за ГОСТ 5520-74. Матеріал труб для виготовлення патрубків корпусу і камер, матеріал теплообмінних труб – сталь 10 за ГОСТ 8732-78.

Матеріал кріпильних виробів (болтів) по рекомендаціях [7] для фланців штуцерів з вуглецевих сталей - сталь 40 ГОСТ 1050-88, для гайок - сталь 20 ГОСТ 1050-88. Матеріал опори і цапф для стропування – сталь стЗсп5 по ГОСТ 380-94. Матеріал прокладок - паронит ПОН за ГОСТ 481-80.

4 ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ РОЗМІРІВ КОЛОНИ ТА ПІДГРІВАЧА

Початкові дані

Потужність по початковій суміші	$P = 56000$ т/рік.
Ефективний фонд робочого часу	$T_{\text{еф}} = 8640$ годин
Концентрація НКК (ацетону) :	
у початковій суміші	- $a_F = 67\%$ (мас.),
у дистиляті	$a_D = 98\%$ (мас.),
у кубовому залишку	- $a_W = 12,1\%$ (мас.).
Температура:	
охладжувальної води	- $12\text{ }^{\circ}\text{C}$,
дистиляту після холодильника	- $27\text{ }^{\circ}\text{C}$,
дистиляту після холодильника	- $27\text{ }^{\circ}\text{C}$,
початковій суміші	- $25\text{ }^{\circ}\text{C}$.
Тиск насиченої водяної пари	- $5,0$ ата.
Коефіцієнт надлишку флегми	- $1,5$.
Молярні маси:	
ацетону	- 58 г/моль,
води	- 18 г/моль.
Температури кипіння :	
ацетону	- $56,9\text{ }^{\circ}\text{C}$,
води	- $100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Колона працює під атмосферним тиском.

4.1 Визначення продуктивності по дистиляту і кубовому залишку

Продуктивність по початковій суміші $P/T_{\text{еф}} = 56000/8640 = 6,48$ т/год.

Продуктивність колони по дистиляту визначаємо по формулі:

$$G_p = G_F \cdot \frac{\alpha_F - \alpha_W}{\alpha_P - \alpha_W} = 6480 \cdot \frac{0,67 - 0,121}{0,98 - 0,121} = 4154,25 \text{ кг/ч} = 1,15 \text{ кг/с.}$$

Продуктивність колони по кубовому залишку визначаємо з рівняння:

$$G_W = G_F - G_P = 6480 - 4154,25 = 2345,75 \text{ кг/ч} = 0,651 \text{ кг/с.}$$

Перевірка:

$$6480 \cdot 0,67 = 4154,25 \cdot 0,98 + 2345,75 \cdot 0,121$$

$$4355 = 4071,17 + 283,83$$

$$4355 = 4355$$

4.2 Визначення мінімального і дійсного флегмового числа

Перераховуємо масові концентрації в молярні по формулі:

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

де X - концентрація низькокиплячого компонента А (ацетон) у бінарній суміші, мольов. долі; α - зміст низькокиплячого компонента А у бінарній суміші, мас. долі; M_A , M_B - молярна маса компонента А і В (відповідно).

Тоді концентрація початкової суміші:

$$X_F = \frac{\frac{\alpha_F}{M_A}}{\frac{\alpha_F}{M_A} + \frac{1-\alpha_F}{M_B}} = \frac{\frac{0,67}{58}}{\frac{0,67}{58} + \frac{1-0,67}{18}} = 0,387;$$

дистиляту:

$$X_P = \frac{\frac{\alpha_P}{M_A}}{\frac{\alpha_P}{M_A} + \frac{1-\alpha_P}{M_B}} = \frac{\frac{0,98}{58}}{\frac{0,98}{58} + \frac{1-0,98}{18}} = 0,938;$$

кубового залишку:

$$X_W = \frac{\frac{\alpha_W}{M_A}}{\frac{\alpha_W}{M_A} + \frac{1-\alpha_W}{M_B}} = \frac{\frac{0,121}{58}}{\frac{0,121}{58} + \frac{1-0,121}{18}} = 0,041.$$

Мінімальне флегмове число визначаємо графо-аналитическим способом. Для цього на підставі досвідчених даних в координатах y - x будуємо криву рівноваги для суміші ацетон - вода при атмосферному тиску (рис.4.1) і криву температур кипіння і конденсації (рис.4.2).

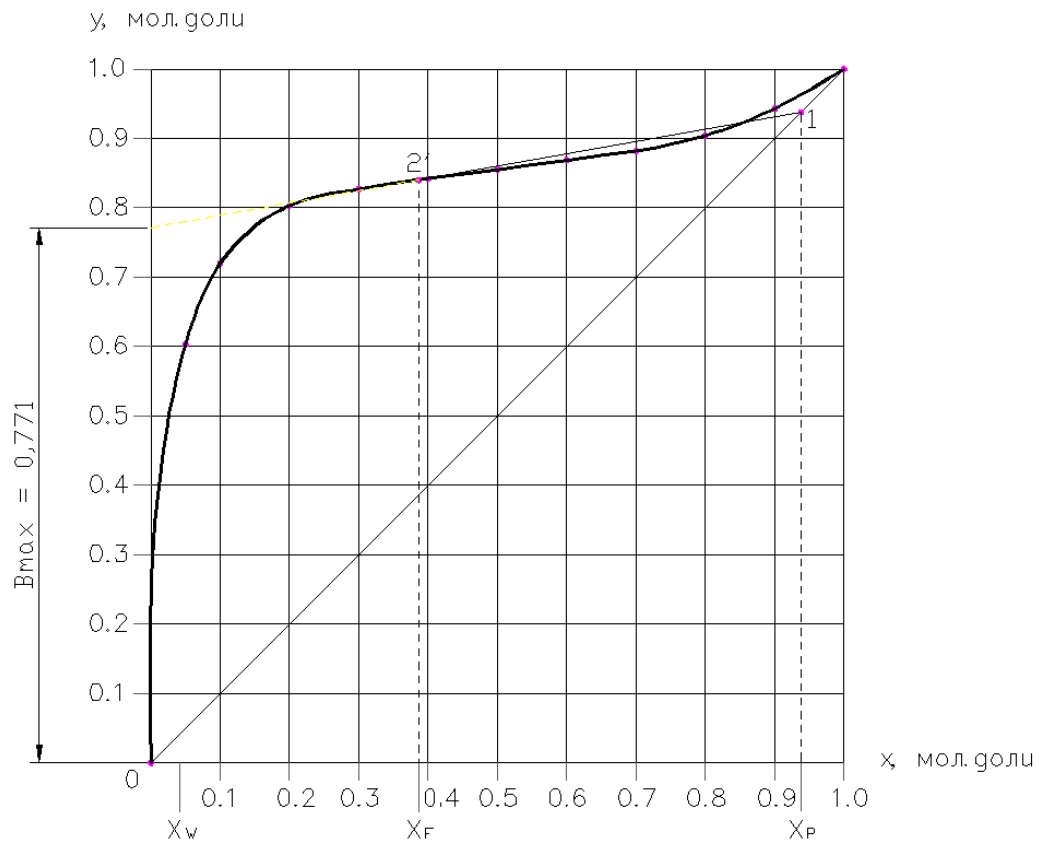


Рис. 4.1 – до визначення мінімального флегмового числа

Таблиця 4.1 - Рівноважні дані для суміші ацетон - вода.

Вміст компонента А, мол. %		Температура кипіння t , °C
у рідині (x)	у парі (y)	
0	0	100,0
5	60,3	77,9
10	72	69,6
20	80,3	64,5
30	82,7	62,6
40	84,2	61,6
50	85,5	60,7
60	86,9	59,8

Вміст компонента А, мол. %		Температура кипіння t , °C
у рідині (x)	у парі (y)	
70	88,2	59
80	90,4	58,2
90	94,3	57,5
100	100	56,9

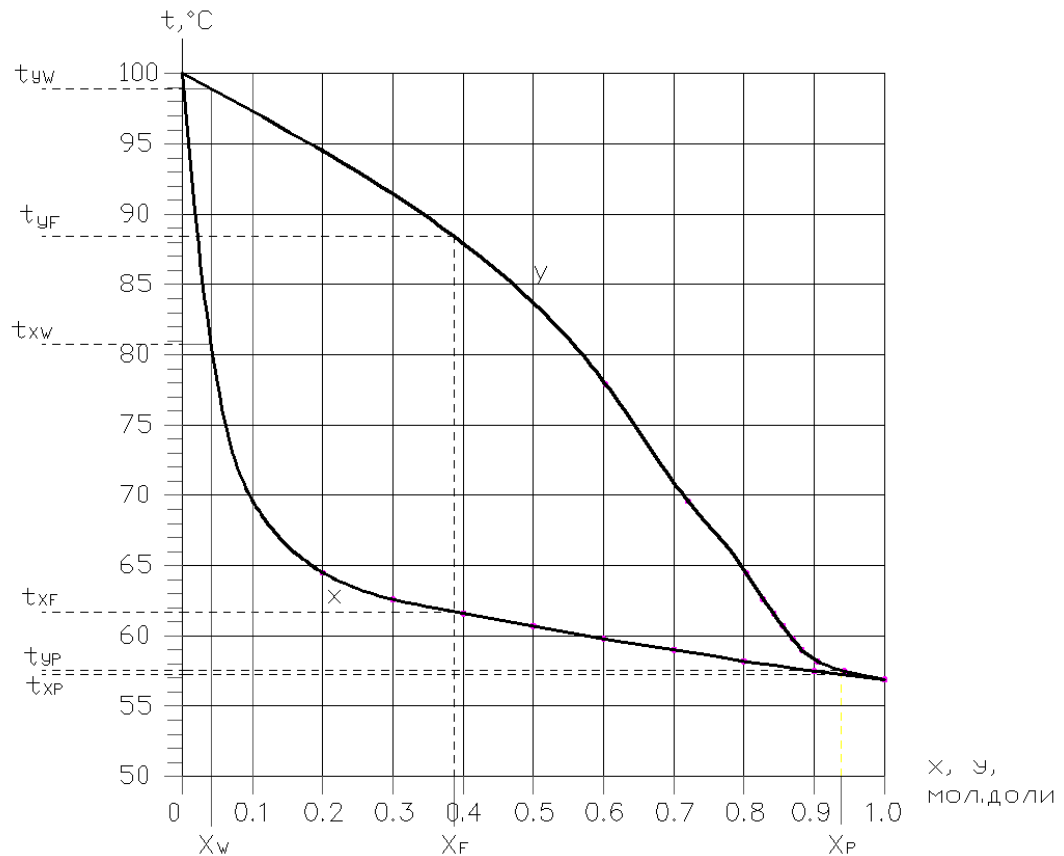


Рис. 4.2 – Ізобара температур кипіння і конденсації

На діаграмі y - x з точки 1 ($x_p = y_p$) через точку 2 (x_f, y_f) проводимо пряму лінію до перетину з віссю y . Відрізок, що відсікається на осі y , позначимо через

$B_{\max} = 0,771$. За величиною цього відрізка знаходимо мінімальне флегмовое

$$\text{число: } R_{\min} = \frac{x_p}{B_{\max}} - 1 = \frac{0,938}{0,771} - 1 = 0,217.$$

Дійсне флегмовое число:

$$R = K_R \cdot R_{\min} = 1,5 \cdot 0,217 = 0,326$$

На діаграмі у-х наноситься лінії робочих концентрацій (робочі лінії) для оптимального флегмового числа $R = 0,326$ (рис.4.1): для цього на осі у відкладаємо відрізок $B = \frac{x_p}{R+1} = \frac{0,938}{0,326+1} = 0,707$, кінець якого сполучаємо прямій з точкою

$(x_p = y_p)$; точку перетину цієї прямої з вертикальною лінією, проведеною з абсциси x_F , і точку (x_F, y_F) сполучаємо з точкою $(x_W = y_W)$. Отримані лінії є робочими лініями для верхньої і нижньої частин колони, відповідно.

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

Рідка фаза

Середня мольна концентрація в нижній частині колони:

$$X_{cp}^H = \frac{X_W + X_F}{2} = \frac{0,041 + 0,387}{2} = 0,214$$

Середня мольна концентрація у верхній частині колони:

$$X_{cp}^B = \frac{X_F + X_P}{2} = \frac{0,387 + 0,938}{2} = 0,663$$

Середня мольна концентрація по колоні:

$$X_{cp} = \frac{X_{cp}^H + X_{cp}^B}{2} = \frac{0,214 + 0,663}{2} = 0,439$$

Середня масова концентрація по колоні:

$$\alpha_{cp} = \frac{x_{cp} \cdot M_A}{x_{cp} \cdot M_A + (1 - x_{cp}) \cdot M_B},$$

$$\alpha_{cp} = \frac{0,439 \cdot 58}{0,439 \cdot 58 + (1 - 0,439) \cdot 18} = 0,716$$

Середня температура в нижній частині колони:

$$t_{xcp}^H = \frac{t_{xW} + t_{xF}}{2} = \frac{80,9 + 61,9}{2} = 71,4^\circ\text{C}.$$

Середня температура у верхній частині колони:

$$t_{x\text{cp}}^B = \frac{t_{x\text{F}} + t_{x\text{P}}}{2} = \frac{61,9 + 57,1}{2} = 59,5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Середня температура по колоні:

$$t_{x\text{cp}} = \frac{t_{x\text{cp}}^H + t_{x\text{cp}}^B}{2} = \frac{71,4 + 59,5}{2} = 65,5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Значення $t_{x\text{W}}$, $t_{x\text{F}}$, $t_{x\text{P}}$ узяті з діаграми $t - x$, y (рис. 4.2).

Середня молярна маса:

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

$$M_{x\text{cp}} = 58 \cdot 0,439 + 18 \cdot (1 - 0,439) = 35,5 \text{ г/моль}.$$

Середня щільність визначається по формулі:

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

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

$$t_{x\text{cp}} = 65,5 \text{ } ^\circ\text{C}; \rho_A = 738,6 \text{ кг/м}^3, \rho_B = 980 \text{ кг/м}^3.$$

$$\rho_{x\text{cp}} = \frac{738,6 \cdot 980}{980 \cdot 0,716 + 738,6 \cdot (1 - 0,716)} = 794,16 \text{ кг/м}^3.$$

Середнє поверхнєве натягнення визначаємо по рівнянню:

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

де σ_A и σ_B - поверхнєві натягнення компонентів А і В, н/м.

Поверхнєве натягнення при $t_{x\text{cp}} = 65,5 \text{ } ^\circ\text{C}$:

$$\sigma_A = 17,94 \cdot 10^{-3} \text{ н/м}, \sigma_B = 65,21 \cdot 10^{-3} \text{ н/м}.$$

$$\sigma_{x\text{cp}} = 17,94 \cdot 10^{-3} \cdot 0,439 + 65,21 \cdot 10^{-3} (1 - 0,439) = 44,46 \cdot 10^{-3} \text{ н/м}.$$

Середню в'язкість розраховуємо по рівнянню:

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

де μ_A и μ_B – динамічні коефіцієнти в'язкості компонентів А і В, Па.з при

$$t_{x\text{cp}} = 65,5 \text{ } ^\circ\text{C}. \mu_A = 0,22 \text{ мПа} \cdot \text{с}; \mu_B = 0,44 \text{ мПа} \cdot \text{с}.$$

$$\lg \mu_{x\text{cp}} = 0,439 \cdot \lg 0,22 + (1 - 0,439) \cdot \lg 0,44 = -0,489$$

$$\mu_{x\text{cp}} = 0,324 \text{ мПа} \cdot \text{с} = 0,324 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Коефіцієнт дифузії при середній температурі визначаєм:

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

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

$$b = \frac{0,2\sqrt{\mu}}{\sqrt[3]{\rho}}, \text{ тут } \mu [\text{МПа} \cdot \text{с}] \text{ и } \rho [\text{кг}/\text{м}^3] - \text{в'язкість і щільність розчинника}$$

(води) при $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t = t_{\text{ср}}$.

Коефіцієнт дифузії при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ розраховуємо по емпіричному рівнянню:

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

де V_A и V_B – молярні об'єми компонентів А і В, $\text{см}^3/\text{моль}$;

А, В - коефіцієнти, залежні від властивостей компонентів, $A = 1$; $Y = 1$.

$$b = \frac{0,2\sqrt{\mu}}{\sqrt[3]{\rho}} = \frac{0,2\sqrt{1,005}}{\sqrt[3]{998}} = 0,02.$$

Молярні об'єми компонентів :

$$V_A = 74,0 \text{ см}^3/\text{моль};$$

$$V_B = 18,9 \text{ см}^3/\text{моль}.$$

$$D_{x(20)} = \frac{1 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 1 \cdot \sqrt{1,005} (74^{1/3} + 18,9^{1/3})^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{58} + \frac{1}{18}} = 5,7 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}.$$

$$D_{x(t)} = 5,7 \cdot 10^{-9} [1 + 0,02 (65,5 - 20)] = 1,089 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Парова фаза

Середня мольна концентрація в нижній частині колони:

$$y_{\text{ср}}^{\text{н}} = \frac{y_{\text{W}} + y_{\text{F}}}{2} = \frac{0,041 + 0,802}{2} = 0,422$$

Середня мольна концентрація у верхній частині колони:

$$y_{\text{ср}}^{\text{в}} = \frac{y_{\text{F}} + y_{\text{P}}}{2} = \frac{0,802 + 0,938}{2} = 0,87$$

Середня мольна концентрація по колоні:

$$y_{\text{ср}} = \frac{y_{\text{ср}}^{\text{н}} + y_{\text{ср}}^{\text{в}}}{2} = \frac{0,422 + 0,87}{2} = 0,646$$

Середня температура в нижній частині колони:

$$t_{y\text{cp}}^H = 93,75 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Середня температура у верхній частині колони:

$$t_{y\text{cp}}^B = 73,05 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Температури $t_{y\text{cp}}^H$, $t_{y\text{cp}}^B$ знайдені з діаграми $t - x$, y (рис. 4.2).

Середня температура по колоні:

$$t_{y\text{cp}} = \frac{t_{y\text{cp}}^H + t_{y\text{cp}}^B}{2} = \frac{93,75 + 73,05}{2} = 83,4 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Середня мольна маса:

$$\begin{aligned} M_{y\text{cp}} &= M_A \cdot y_{\text{cp}} + M_B \cdot (1 - y_{\text{cp}}) = 58 \cdot 0,646 + 18 \cdot (1 - 0,646) = \\ &= 43,84 \text{ г/моль.} \end{aligned}$$

Середня щільність:

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

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

$$\rho_{y\text{cp}} = \frac{43,84}{22,4} \cdot \frac{1}{1,033} \cdot \frac{273}{(273 + 83,4)} = 1,451 \text{ кг/м}^3.$$

Середня в'язкість:

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

де μ_{yA} и μ_{yB} - динамічний коефіцієнт в'язкості пари компонента А і В
при

$$t_{y\text{cp}} = 83,4 \text{ } ^\circ\text{C}. \mu_{yA} = 0,98 \cdot 10^{-5} \text{ Па}\cdot\text{с}; \mu_{yB} = 1,22 \cdot 10^{-5} \text{ Па}\cdot\text{с}.$$

$$\frac{43,84}{\mu_{y\text{cp}}} = \frac{0,646 \cdot 58}{0,98 \cdot 10^{-5}} + \frac{(1 - 0,646) \cdot 18}{1,22 \cdot 10^{-5}},$$

$$\mu_{y\text{cp}} = 7,53 \cdot 10^{-5} \text{ Па}\cdot\text{с}.$$

Коефіцієнт дифузії для парової фази визначуваний по рівнянню:

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

де P – тиск кгс см²/ (тиск в колоні атмосферний): $T = 273 + t_{y \text{ ср}}, ^\circ\text{C}$.

$$D_y = \frac{4,3 \cdot 10^{-7} \cdot (273 + 83,4)^{3/2}}{1 \cdot (74^{1/3} + 18,9^{1/3})^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{58} + \frac{1}{18}} = 2,277 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}.$$

4.4 Визначення діаметру колони

Діаметр колони визначаємо по рівнянню:

$$D = \sqrt{\frac{V_y}{0,785 \cdot W}}$$

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

$$V_y = \frac{G_y}{\rho_{y \text{ ср}}} = \frac{G_p \cdot (R + 1)}{\rho_{y \text{ ср}}} = \frac{4154,25 \cdot (0,326 + 1)}{1,451 \cdot 3600} = 1,055 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Заздалегідь приймаємо відстань між тарілками $h = 300$ мм. Використовуємо раніше знайдені $\rho_{x \text{ ср}} = 794,16$ кг/м³ і $\rho_{y \text{ ср}} = 1,451$ кг/м³. Для колпачкових тарілок по довіднику знаходимо $C = 0,03$. Тоді швидкість пари в колоні:

$$W = C \sqrt{(\rho_{x \text{ ср}} - \rho_{y \text{ ср}}) / \rho_{y \text{ ср}}} = 0,03 \cdot \sqrt{\frac{794,16 - 1,451}{1,451}} = 0,701 \text{ м/с}.$$

Тоді діаметр колони:

$$D = \sqrt{\frac{V_y}{0,785 \cdot W}} = \sqrt{\frac{1,055}{0,785 \cdot 0,701}} = 1,385 \text{ м}.$$

Набуваємо стандартного значення діаметру колони $D = 1,4$ м і уточнюємо швидкість пари в колоні:

$$W = \frac{V_y}{0,785 \cdot D^2} = \frac{1,055}{0,785 \cdot 1,4^2} = 0,686 \text{ м/с}.$$

4.5 Визначення висоти колони

Знаходимо коефіцієнт масовіддачі в рідкій фазі:

$$\beta_{xf} = \frac{38000 \cdot \rho_{xcp} \cdot D_{x(t)}}{M_{xcp} \cdot h} \cdot (Pr')^{0,62} =$$

$$= \frac{38000 \cdot 794,16 \cdot 1,089 \cdot 10^{-8}}{35,5 \cdot 1} \cdot (37,46)^{0,62} = 0,088 \frac{\text{кмоль}}{\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{кмоль} / \text{кмоль}}$$

$$Pr' = \frac{\mu_{xcp}}{D_{x(t)} \cdot \rho_{xcp}} = \frac{0,324 \cdot 10^{-3}}{1,089 \cdot 10^{-8} \cdot 794,16} = 37,46$$

Коефіцієнт масовіддачі в паровій фазі:

$$\beta_{yf} = \frac{D_y}{22,4} \cdot (0,79 \cdot Re_y + 11000) = \frac{2,277 \cdot 10^{-4}}{22,4} \cdot (0,79 \cdot 1,322 \cdot 10^4 + 11000) =$$

$$= 0,218 \frac{\text{кмоль}}{\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{кмоль} / \text{кмоль}}$$

$$Re_y = \frac{W \cdot h \cdot \rho_{ycp}}{\mu_{ycp}} = \frac{0,686 \cdot 1 \cdot 1,451}{7,53 \cdot 10^{-5}} = 1,322 \cdot 10^4$$

Загальний коефіцієнт масопередачі K_{yf} :

$$\frac{1}{K_{yf}} = \frac{1}{\beta_{yf}} + \frac{m}{\beta_{xf}},$$

де $m = \frac{y^* - y}{x - x^*}$ – тангенс кута нахилу лінії рівноваги; y^* , x^* – рівноважні концентрації.

Оскільки величина m являється змінною по висоті колони, знаходимо її значення для різних концентрацій, використовуючи діаграму x - y .

У межах від X_w до X_p вибираємо ряд значень X , для кожного значення X визначаємо по діаграмі величини y^* - y , x - x^* як різницю між рівноважною і робочою лінією, а потім по цим значенням визначаємо величину m . Результати зводимо в таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 - Визначення коефіцієнта масопередачі

x	0,04 1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8 8	0,9	0,93 8
---	-----------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	----------	-----	-----------

$y^* - y$	0,53	0,55	0,41	0,21	0,03 6	0,02 5	0,01 4	0,002 6	0	0,01 4	0,02 5
$x - x^*$	0,04 1	0,1	0,19	0,25	0,19	0,18	0,10	0,018	0	0,03 1	0,04 8
m	13	5,5	2,16	0,84	0,19	0,14	0,14	0,14	0	0,45	0,52
$K_{yf} \cdot 10^3$	0,00 7	0,01 5	0,03 4	0,07 1	0,14 8	0,16 2	0,16 2	0,162	0	0,10 3	0,09 5

Для побудови кінетичної кривої скористаємося формулою:

$$y^* - y_k = (y^* - y_n) \cdot e^{-\frac{K_{yf} \cdot f_m}{G_y}}$$

Значення різниці $(y^* - y_n)$ це значення $AC = (y^* - y)$ для кожного вибраного значення x в межах від x_w до x_p .

Робоча площа тарілки може бути знайдена по довіднику: $F_p = 1,12 \text{ м}^2$.

Мольна витрата пари по колоні:

$$G_y = \frac{G_p \cdot (R + 1)}{M_{y \text{ ср}}} = \frac{4154,25 \cdot (0,326 + 1)}{43,84 \cdot 3600} = 0,035 \text{ кмоль/с.}$$

Таблиця 4.3 - До побудови кінетичної кривої

x	0,041	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,938
$\frac{K_{yf} \cdot F_p}{G_y}$	0,224	0,48	1,088	2,727	4,736	5,184	5,184	5,184	0	3,296	3,04
$\overline{AC}, \text{ мм}$	53	55	41	22	3,6	2,5	1,4	0,26	0	1,4	2,5
$\overline{BC} = \frac{\overline{AC}}{e^{\frac{K_{yf} \cdot F_p}{G_y}}}$	42,4	34	13,8	1,4	0,032	0,014	0,008	0,001	0	0,52	0,12
мм											

За даними таблиці 4.3 будуюмо кінетичну криву (рис. 4. 3). Число дійсних тарілок, яке забезпечує задану чіткість розділення, визначається шляхом побудови "сходинок" між робітниками і кінетичною лініями. Число східців в межах концентрацій X_w X_p дорівнює числу дійсних тарілок.

периметр зливу $\Pi = 1,090$ м;
 довжина шляху зливу $l_x = 0,933$ м;
 кількість ковпачків на тарілці $m = 49$;
 діаметр ковпачка 100 мм.

Опір сухої тарілки:

$$\Delta P_{\text{сух}} = \zeta \frac{W_o^2 \cdot \rho_{y \text{ ср}}}{2} = 4,5 \frac{6,51^2 \cdot 1,451}{2} = 138,36 \text{ Па};$$

$$W_o = \frac{V_y}{F_o} = \frac{1,055}{0,162} = 6,51 \text{ м/с},$$

де F_o – площа проходу пари, м^2 .

Глибина барботажу, згідно з рівнянням:

$$h_{г.б} = (0,7 / \rho_{x \text{ ср}}) \cdot P^{0,35} = \frac{0,7}{794,16} \cdot 98100^{0,35} = 0,049 \text{ м}.$$

Висота підпору рідини над зливним порогом по рівнянню:

$$h_{\text{сл}} = 0,68 \cdot (V_x / \Pi)^{0,67} = 0,68 \cdot \left(\frac{0,003}{1,090} \right)^{0,67} = 0,013 \text{ м},$$

тут

$$V_x = \frac{G_x}{3600 \cdot \rho_{x \text{ ср}}} = \frac{G_F + G_P \cdot R}{3600 \cdot \rho_{x \text{ ср}}} = \frac{6500 + 4154,25 \cdot 0,326}{3600 \cdot 794,16} = 0,003 \text{ м}^3/\text{с};$$

$\Pi = 1,090$ м (з характеристики тарілки).

Для подальших розрахунків приймемо ковпачок капсульний з прямокутними прорізами шириною $b = 4$ мм; кількість прорізів в одному ковпачку $z = 26$. Висоту відкриття прорізу розраховуємо по рівнянню:

$$h_{\text{пр}} = 0,46 \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{V_y}{m \cdot z \cdot b} \right)^2 \cdot \frac{\rho_{y \text{ ср}}}{\rho_{x \text{ ср}} - \rho_{y \text{ ср}}}} = 0,46 \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{1,055}{49 \cdot 26 \cdot 0,004} \right)^2 \cdot \frac{1,451}{794,16 - 1,451}} = 0,02 \text{ м};$$

приймаємо по таблиці висоту прорізу $h_{\text{пр}} = 20$ мм.

Висоту установки ковпачка приймемо $h_y = 10$ мм.

Висоту зливного порогу знайдемо по рівнянню:

$$h_{\text{пор}} = h_{г.б} - h_{\text{сл}} + h_{\text{пр}} + h_y = 0,049 - 0,013 + 0,02 + 0,01 = 0,066 \text{ м}.$$

Тоді величина перепаду рівня рідини на тарілці:

$$\Delta h = 0,1 \cdot \lambda_3 \frac{l_x \cdot V_x^2}{\Pi^2 (h_{\text{пор}} + h_{\text{сл}})^3 \cdot g} = 0,1 \cdot 14,9 \frac{0,933 \cdot 0,003^2}{1,090^2 (0,066 + 0,013)^3 \cdot 9,81} = 0,002 \text{ м.}$$

Опір шару рідині на тарілці, згідно з рівнянням:

$$\Delta P_{\text{ст}} = \left(h_{\text{г.б}} + \frac{h_{\text{пр}} + \Delta h}{2} \right) \cdot \rho_{\text{х ср}} \cdot g = \left(0,049 + \frac{0,02 + 0,002}{2} \right) \cdot 794,16 \cdot 9,81 = 467,44 \text{ Па.}$$

Тоді гідравлічний опір тарілки (нехтуючи ΔP_{σ})

$$\Delta P_{\text{т}} = \Delta P_{\text{сyx}} + \Delta P_{\text{ст}} = 138,36 + 467,44 = 605,8 \text{ Па,}$$

а гідравлічний опір колони

$$\Delta P_{\text{к}} = n \cdot \Delta P_{\text{т}} = 15 \cdot 605,8 = 9087 \text{ Па.}$$

Перевіримо раніше прийняту відстань між тарілками $h = 0,3 \text{ м}$. Для цього необхідно розрахувати величину відносного віднесення рідини.

Висота піни, що утворюється на тарілці, згідно з рівнянням:

$$\begin{aligned} h_{\text{пн}} &= \frac{K_2}{\sigma_{\text{х ср}}^{0,33}} (K_3 \cdot W^2 \cdot \rho_{\text{у ср}} + K_4 \cdot h_{\text{сл}} + h_{\text{пор}}) = \\ &= \frac{0,23}{(44,46 \cdot 10^{-3})^{0,33}} (4,4 \cdot 10^{-2} \cdot 0,86^2 \cdot 1,451 + 4,6 \cdot 0,013 + 0,066) = 0,1 \text{ м.} \end{aligned}$$

Тоді величина відносного віднесення рідини

$$U = \frac{K_1}{\sigma_{\text{х ср}}} \left(\frac{W}{h - h_{\text{пн}}} \right)^n = \frac{23 \cdot 10^{-5}}{44,46 \cdot 10^{-3}} \left(\frac{0,686}{0,3 - 0,1} \right)^{1,16} = 0,022$$

$0,022 < 0,1$, отже, відстань між тарілками вибрана вірно.

Значення коефіцієнтів K_1, K_2, K_3, K_4 і показника міри n узяті з таблиці.

4.7 Визначення діаметру штуцерів

Діаметр штуцера визначаєм по рівнянню постійності витрати:

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

Штуцер входу флегми:

$$V_{\Phi} = \frac{G_{\Phi}}{\rho_A} = \frac{G_p \cdot R}{\rho_A} = \frac{4154,25 \cdot 0,326}{3600 \cdot 839,19} = 448,28 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с.}$$

Оскільки швидкості потоку приймаємо орієнтовно, то можна прийняти щільність флегми, як щільність ацетону : $\rho_A = 839,19 \text{ кг/м}^3$ при $t_{XP} = 57,1^\circ\text{C}$.

Приймаємо $W_\Phi = 0,5 \text{ м/с}$, тогдa:

$$d = \sqrt{\frac{448,28 \cdot 10^{-6}}{0,785 \cdot 0,5}} = 0,034 \text{ м.}$$

Стандартний розмір труби для виготовлення штуцера $\varnothing 38 \times 2 \text{ мм}$.

Штуцер входу початкової 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 $t_{XF} = 61,9^\circ\text{C}$:

$$\rho_F = \frac{743 \cdot 982}{982 \cdot 0,67 + (1 - 0,67) \cdot 743} = 808 \text{ кг/м}^3,$$

$$V_F = \frac{6500}{3600 \cdot 808} = 0,002 \text{ м}^3/\text{с.}$$

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

$$d = \sqrt{\frac{0,002}{0,785 \cdot 0,8}} = 0,056 \text{ м.}$$

Стандартний розмір труби для виготовлення штуцера $\varnothing 70 \times 3 \text{ мм}$.

Штуцер виходу кубового залишку:

$$d = \sqrt{\frac{V_w}{0,785 \cdot W_w}},$$

$$V_w = \frac{G_w}{\rho_w} = \frac{2345,75}{3600 \cdot 971} = 0,001 \text{ м}^3/\text{с.}$$

$\rho_B = 971 \text{ кг/м}^3$ – щільність води при $t_{XW} = 80,9^\circ\text{C}$.

Приймаємо $W_w = 0,3 \text{ м/с}$, тогдa:

$$d = \sqrt{\frac{0,001}{0,785 \cdot 0,3}} = 0,065 \text{ м.}$$

Стандартний розмір труби для виготовлення штуцера $\varnothing 76 \times 4 \text{ мм}$.

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

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

$$V_{\text{к.ж}} = \frac{G_F + G_{\Phi} - G_W}{\rho_B} = \frac{6500 + 4154,25 \cdot 0,326 - 2345,75}{3600 \cdot 971} = 0,002 \text{ м}^3/\text{с}.$$

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

$$d = \sqrt{\frac{0,002}{0,785 \cdot 0,3}} = 0,092 \text{ м}.$$

Стандартний розмір труби для виготовлення штуцера $\varnothing 108 \times 4 \text{ мм}$.

Штуцер виходу пари з колони:

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

$$V_y = 1,055 \text{ м}^3/\text{с} \text{ (см. раздел 1.4).}$$

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

$$d = \sqrt{\frac{1,055}{0,785 \cdot 15}} = 0,299 \text{ м}.$$

Стандартний розмір труби для виготовлення штуцера $\varnothing 325 \times 10 \text{ мм}$.

4.8 Теплові розрахунки

Підігрівач початкової суміші

Рівняння теплового балансу для підігрівача:

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

тут теплові втрати прийняті у розмірі 5% від теплоти, що корисно витрачається;

t_{XF} – температура кипіння початкової суміші;

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

Питома теплоємність початкової суміші :

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

де C_A , C_B - питомі теплоємності метилового спирту і води при середній температурі

$$t_{X_F}^{cp} = \frac{t_{X_F} + t_{нач}}{2} = \frac{61,9 + 25}{2} = 43,5 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$C_A = 0,538 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}; C_B = 0,998 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}.$$

$$c_F' = 0,67 \cdot 0,538 + (1 - 0,67) \cdot 0,998 = 0,69 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} = 2891,1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$

$$Q = 1,05 \cdot G_F \cdot c_F' (t_{X_F} - t_{нач}) = 1,05 \cdot (6500/3600) \cdot 2891,1 \cdot (61,9 - 25) = 202250 \text{ Вт.}$$

Витрата гріючої пари:

$$G_{г.п} = \frac{Q}{r} = \frac{202250}{2117 \cdot 10^3} = 0,096 \text{ кг/с,}$$

$$r = 2117 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \text{ при } P = 5 \text{ ата.}$$

Середня різниця температур:

$$151,1 \longrightarrow 151,1$$

$$25 \longrightarrow 61,9$$

Температура насиченої водяної пари при $P = 5$ ата. складає $151,1^\circ\text{C}$.

Велика різниця температур :

$$\Delta t_6 = 151,1 - 25 = 126,1 \text{ } ^\circ\text{C};$$

Менша різниця температур :

$$\Delta t_m = 151,1 - 61,9 = 89,2 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Так як $\frac{\Delta t_6}{\Delta t_m} = \frac{126,1}{89,2} = 1,41 < 2$, тоді середню різницю температур

визначаємо по рівнянню:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_6 + \Delta t_m}{2} = \frac{126,1 + 89,2}{2} = 107,6 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Коефіцієнт теплопередачі приймаємо орієнтовно рівним $250 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$.

Поверхня теплообміну підігрівача початкової суміші :

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{cp}} = \frac{202250}{250 \cdot 107,6} = 7,519 \text{ м}^2.$$

- Приймаємо двоходовий кожухотрубчастий теплообмінник з

наступними характеристиками:

- діаметр кожуха 325 мм;
- труба 20x2 мм;
- кількість труб в теплообміннику 90 шт;
- довжина труб 1,5 м;
- поверхня теплообміну 8,5 м².

5 РОЗРАХУНКИ НА МІЦНІСТЬ ЕЛЕМЕНТІВ ПІДГРІВАЧА

5.1 Початкові дані:

Наружний діаметр кожуха D , мм	325
Довжина теплообмінних труб l , мм	1500
Зовнішній діаметр теплообмінної труби d_t , мм	20
Товщина стінки труби S_t мм	2
Число ходів по трубах	2
Розрахунковий тиск в трубному просторі, МПа	1,6
Розрахунковий тиск в міжтрубному просторі, МПа	1,6
Розрахункова температура труб, °C	100
Розрахункова температура кожуха, °C	160
Матеріал кожуха	Ст3сп
Матеріал розподільної камери	Ст3сп
Матеріал теплообмінних труб	Сталь 10
Матеріал трубної решітки	Сталь 16ГС
Матеріал перегородок	Ст3сп5
Матеріал прокладок розподільної камери	пароніт
Група теплообмінника	1

5.2 Визначення розрахункових параметрів

5.2.1 Розрахункова температура

Розрахункову температуру розподільної камери $t_{\text{кам}}$, °C, визначаємо за формулою:

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

$$t_{\text{кам}} = 2 \cdot 100 - 160 = 40 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Розрахункову температуру ізолюваних фланців визначаємо за формулою:

$$t_{\phi} = t_{\text{кам}} , \quad (5.2)$$

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

$$t_{\phi} = t_{\text{кам}} = 40^{\circ}\text{C} .$$

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

$$t_{\phi} = t_{\text{к}} = 160^{\circ}\text{C} .$$

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

$$t_{\phi} = 0,97 \cdot t_{\text{кам}} \quad (5.3)$$

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

$$t_{\phi} = 0,97 \cdot t_{\text{кам}}$$

$$t_{\phi} = 0,97 \cdot 40 = 39^{\circ}\text{C}$$

Розрахункова температура болтів фланцевих з'єднань штуцерів міжтрубного простору:

$$t_{\phi} = 0,97 \cdot t_{\text{к}}$$

$$t_{\phi} = 0,97 \cdot 160 = 155^{\circ}\text{C}$$

5.2.2 Допустимі напружини

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

Таблиця 5.1 – Допустимі напружини деталей теплообмінника

Елементи апарата	Матеріал	Допустимі напружини, МПа		Відношення допустимих напружин, $[\sigma]_{20}/[\sigma]$
		при температурі 20 °C $[\sigma]_{20}$	при розрахунковій температурі $[\sigma]$	
Кожух	Ст3сп	154	144,4	1,066
Розподільна камера	Ст3сп	154	149	1,0336
Теплообмінні труби	Сталь 10	130	125	1,040
Трубна решітка	Сталь 6ГС	196	169,8	1,154
Перегородки	Ст3сп	154	149	1,0336
Фланці розподільної камери	Ст3сп	154	149	1,0336
Фланці кожуха	Сталь 6ГС	196	169,8	1,154
Болти кріплення фланців штуцерів міжтрубного простору	Сталь 35	130	122,4	1,062
Болти і гайки кріплення апаратних фланців і штуцерів трубного простору	Сталь 35	130	126	1,032
Примітка. Допустимі напружини при температурі 20°C і розрахунковій температурі визначені методом лінійної інтерполяції за [14].				

5.2.3 Коефіцієнти міцності зварних швів

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

автоматичною зваркою, коефіцієнт міцності зварних швів трубного простору приймаємо рівним

$$\phi_p = 1$$

5.2.4 Робочий, розрахунковий і пробний тиск

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

Розрахунковий тиск визначаємо за формулою

$$P = \max \{ |P_m|; |P_k|; |P_m - P_k| \}, \quad (5.4)$$

де P_t - розрахунковий тиск в трубному просторі, МПа;

P_k - розрахунковий тиск в міжтрубному просторі, МПа.

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

Під пробним тиском в апараті слід приймати тиск, при якому проводиться випробування апарату на міцність і герметичність. Випробування сталевих зварних апаратів повинно проводитися пробним тиском, який визначається за формулою

$$P_{пр} = 1,25 \cdot P \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]}, \quad (5.5)$$

де P - розрахунковий тиск в трубному і міжтрубному просторах відповідно,

$$P_t=1,6 \text{ МПа}, P_k=1,6 \text{ МПа};$$

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

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

$$P_{пр\ m} = 1,25 P_m \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,25 \cdot 1,6 \cdot \frac{130}{126} = 2,1 \text{ МПа};$$

Гідростатичний тиск при випробуванні трубного простору теплообмінника

$$P_{\text{с м}} = \rho_{\text{с}} \cdot g \cdot H_{\text{с}} \cdot 10^{-6} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 3,67 \cdot 10^{-6} = 0,036 \text{ МПа}; \quad (5.6)$$

де $H_{\text{с}}$ - висота стовпа води в трубному просторі, $H_{\text{с}}=3,67\text{м}$;

Гідростатичний тиск при випробуванні

$$P_{\text{с м}} = 0,036 \text{ МПа} \leq 0,05 P_{\text{пр м}} = 0,05 \cdot 2,1 = 0,1 \text{ МПа}; \quad (5.7)$$

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

$$P_{\text{с м}} = P_{\text{пр м}} = 2,1 \text{ МПа}$$

Умова

$$P_{\text{с м}} = 2,1 \text{ МПа} \leq 1,35 \cdot P_{\text{м}} \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,35 \cdot 1,6 \cdot \frac{130}{126} = 2,23 \text{ МПа} \quad (5.8)$$

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

Для міжтрубного простору при відношенні допустимих напружин $[\sigma]_{20}/[\sigma]=1,0336$ пробний тиск складає

$$P_{\text{пр к}} = 1,25 P_{\text{к}} \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,25 \cdot 1,6 \cdot 1,0336 = 2,1 \text{ МПа};$$

Гідростатичний тиск при випробуванні міжтрубного простору

$$P_{\text{с к}} = \rho_{\text{с}} \cdot g \cdot H_{\text{к}} \cdot 10^{-6} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 3 \cdot 10^{-6} = 0,03 \text{ МПа} \leq 0,05 P_{\text{пр к}} = 0,05 \cdot 2,1 = 0,1 \text{ МПа}$$

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

$$P_{\text{ик}} = P_{\text{пр к}} = 2,1 \text{ МПа};$$

Умова

$$P_{\text{с к}} = 2,1 \text{ МПа} \leq 1,35 P_{\text{к}} \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,35 \cdot 1,6 \cdot 1,0336 = 2,23 \text{ МПа}$$

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

5.2.5 Додатки до розрахункової товщини конструктивних елементів

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

$$C_p = C_1 + C_2 + C_3,$$

(5.9)

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

C_2 – додаток для компенсації мінусового допуску, мм;

Додаток для компенсації корозії і ерозії C_1 визначається за формулою

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

(5.10)

де Π – швидкість проникнення корозії, $\Pi=0,05$ мм/рік,

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

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

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

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

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

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

Для сталевих безшовних труб додаток для компенсації мінусового допуску приймаємо рівною 15% від товщини стінки труби.

Суму додатків до розрахункової товщини стінки визначаємо за формулою:

$$C_2 = 0,15 \cdot S_1$$

(5.11)

$$C_2 = 0,15 \cdot 8 = 1,2 \text{ мм}$$

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

$$\text{Тоді } C=1+1,2+0=2,2\text{мм.}$$

Сума добавок до розрахункової товщини еліптичного днища

Добавка C_2 приймається по стандартах на прокат залежно від товщини листа за таблицею 6 [13], $C_2=0,5$ мм.

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

5.3 Розрахунок товщини стінки кожуха

5.3.1 Розрахунок циліндричної обичайки кожуха

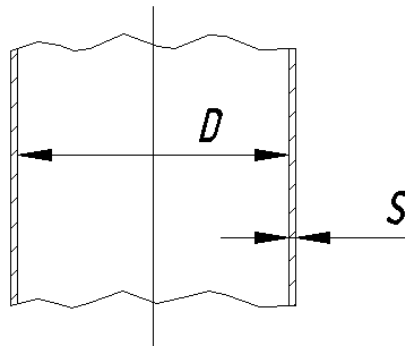


Рис. 5.1 - циліндрична обичайка

Розрахункова товщина стінки апарата визначається за формулою

$$S_p = \frac{P_k \cdot D}{2 \cdot [\sigma]_k \cdot \phi_p - P_k}, \quad (5.12)$$

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

D – внутрішній діаметр обичайки (кожуха), $D=309$ мм;

$[\sigma]_k$ – допустима напружина для матеріалу обичайки кожуха при розрахунковій температурі, $[\sigma]_k = 144,4 \text{ МПа}$;

ϕ_p – коефіцієнт міцності подовжніх швів, $\phi_p=1$ (для труб).

$$S_p = \frac{1,6 \cdot 309}{2 \cdot 144,4 \cdot 1 - 1,6} = 1,7 \text{ мм}$$

Виконавча товщина стінки обичайки кожуха визначається за формулою

$$S \geq S_p + C, \quad (5.13)$$

$$S \geq 1,7 + 2,2 = 3,9 \text{ мм}$$

Виконавча товщина стінки обичайки кожуха теплообмінника приймається $S=8$ мм.

Визначення допустимого надлишкового тиску

Для набутого значення S розраховуємо допустимий внутрішній надлишковий тиск за формулою

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (S - C)}{D + (S - C)}, \quad (5.14)$$

$$[P] = \frac{2 \cdot 144,4 \cdot 1,0 \cdot (8 - 2,2)}{309 + (8 - 2,2)} = 5,3 \text{ МПа}$$

При цьому повинна виконуватися умова

$$P_k \leq [P], \quad (5.15)$$

$1,6 \text{ МПа} < 5,3 \text{ МПа}$, умова виконується.

Перевірка умов застосування розрахункових формул

Розрахункові формули застосовуються при відношенні товщини стінки до діаметру

$$\frac{S - C}{D} \leq 0,1, \quad (5.16)$$

$$\frac{8 - 2,2}{309} = 0,02 < 0,1,$$

умова виконується, отже, формули застосовуються.

5.4 Розрахунок розподільної камери

5.4.1 Розрахунок товщини циліндричної обичайки камери

Розрахункова товщина стінки камери визначається за формулою (5.12)

$$S_p = \frac{P_k \cdot D}{2 \cdot [\sigma]_k \cdot \phi_p - P_k},$$

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

D – внутрішній діаметр обичайки (кожуха), $D=309$ мм;

$[\sigma]_k$ – допустима напружина для матеріалу обичайки кожуха при розрахунковій температурі, $[\sigma]_k = 149$ МПа;

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

$$S_p = \frac{1,6 \cdot 309}{2 \cdot 149 \cdot 1 - 1,6} = 1,7 \text{ мм}$$

Виконавча товщина стінки обичайки кожуха визначається за формулою (5.13)

$$S \geq 1,7 + 2,2 = 3,9 \text{ мм}$$

Виконавча товщина стінки обичайки кожуха теплообмінника приймається $S=8$ мм.

Визначення допустимого надлишкового тиску

Для набутого значення S розраховуємо допустимий внутрішній надлишковий тиск за формулою (5.14)

$$[P] = \frac{2 \cdot 149 \cdot 1,0 \cdot (8 - 2,2)}{309 + (8 - 2,2)} = 5,5 \text{ МПа}$$

При цьому повинна виконуватися умова (5.15)

$$1,6 \text{ МПа} < 5,5 \text{ МПа}, \text{ умова виконується.}$$

Перевірка умов застосування розрахункових формул

Розрахункові формули застосовуються при відношенні товщини стінки до діаметру за формулою (5.16)

$$\frac{8 - 2,2}{309} = 0,02 < 0,1,$$

умова виконується, отже, формули застосовуються.

5.4.2 Розрахунок товщини стінки днища камери

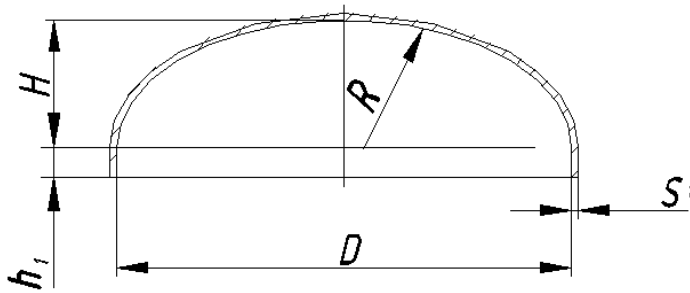


Рис. 5.2 - еліптичне днище

Розрахункова товщина стінки днища камери визначається за формулою

$$S_{1p} = \frac{P_{\tau} \cdot R}{2 \cdot [\sigma]_{\tau} \cdot \phi_p - 0,5 \cdot P_{\tau}}, \quad (5.17)$$

де P_{τ} – розрахунковий внутрішній надлишковий тиск в розподільній камері теплообмінника, $P=1,6$ МПа;

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

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

$[\sigma]_{\tau}$ - допустима напружина для матеріалу днища при розрахунковій температурі, $[\sigma]_{\tau} = 149$ МПа;

$$S_{1p} = \frac{1,6 \cdot 309}{2 \cdot 149 \cdot 1 - 0,5 \cdot 1,6} = 1,7 \text{ мм}$$

Виконавча товщина стінки днища визначається за формулою (5.13)

$$S_1 \geq 1,7 + 1,5 = 3,2 \text{ мм}$$

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

Визначення допустимого тиску

Для отриманого значення S_1 розраховуємо допустимий внутрішній надлишковий тиск за формулою

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma]_{p.k} \cdot \phi_p \cdot (S_1 - C)}{R + 0,5 \cdot (S_1 - C)}, \quad (5.18)$$

$$[P] = \frac{2 \cdot 149 \cdot 1 \cdot (4 - 1,5)}{309 + 0,5 \cdot (4 - 1,5)} = 2,4 \text{ МПа}$$

При цьому повинна виконуватися умова (5.15)

$1,6 \text{ МПа} < 2,4 \text{ МПа}$, умова виконується.

Перевірка умов застосування розрахункових формул

Розрахункові формули для еліптичних днищ застосовуються при виконанні умов

$$0,002 \leq \frac{S_1 - C}{D} \leq 0,1, \quad (5.19)$$

$$0,2 \leq \frac{H}{D} \leq 0,5, \quad (5.20)$$

де H – висота опуклої частини днища, $H=77 \text{ мм}$, [14].

$$0,002 \leq \frac{4 - 1,5}{309} = 0,008 \leq 0,1,$$

$$0,2 \leq \frac{77}{309} = 0,25 \leq 0,5, \quad \text{умови виконуються, отже, формули}$$

застосовуються.

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

Прийнята товщина трубної решітки повинна забезпечувати можливість кріплення труб в решітці. Для решіток, у яких кріплення теплообмінних труб здійснюється розвальцюванням або зваренням з наступним розвальцюванням, прийнята товщина решітки повинна забезпечувати міцність та гарантований тиск герметизації вальцьованого з'єднання, а також нежолоблення решітки при розвальцюванні труб. Мінімальна товщина трубних решіток прийнята з цих міркувань:

$$S_p = 24 \text{ мм}$$

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

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

(5.21)

- S_{pp} – розрахункова товщина трубної решітки,
 C_p – сума добавок до розрахункової товщини решітки, мм.

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

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

(5.22)

$$S_{pp} = 0,5 \cdot 32 \sqrt{1,6/169,8} = 1,55 \text{ мм}$$

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

$$S_p \geq S_{pp} + C_p \quad 24 \geq 1,55 + 1,8 = 3,35 \text{ мм} - \text{умова виконується}$$

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

$$S_{np} = S_{pp} \cdot \max \left\{ 1 - \sqrt{\frac{d_0}{b_n} \cdot \left(\frac{t_n}{t_p} - 1 \right)}; \sqrt{\varphi_p} \right\} \quad (5.23)$$

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

Коефіцієнт ослаблення трубних решіток визначається за формулою:

$$\varphi_p = 1 - \frac{d_0}{t_p} \quad (5.24)$$

Розміри t_p , t_n і d_0 приймаються залежно від зовнішнього діаметру труби і класу точності з'єднання труба – трубна решітка по таблиці 1 [15].

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

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

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

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

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

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

$$S_n = 22 \text{ мм}$$

5.6 Розрахунок лінзового компенсатора

5.6.1 Умови застосування розрахункових формул

Розрахункові формули застосовні, якщо виконуються умови:

$$\frac{S_l}{d_n} \leq 0,035; \quad 1,08 \leq \frac{D_l}{d_n} \leq 3,00; \quad \frac{2r}{D_l - d_n} \leq 0,4$$

(5.25)

де $S_l = 4 \text{ мм}$ - товщина стінки лінзового компенсатора;

$d_n = 325 \text{ мм}$ - зовнішній діаметр западини хвилі компенсатора;

$D_l = 475 \text{ мм}$ - зовнішній діаметр гребеня хвилі компенсатора;

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

$$\frac{S_l}{d_n} = \frac{4}{325} = 0,012 < 0,035$$

$$1,08 < \frac{D_l}{d_n} = \frac{475}{325} = 1,46 < 3,00$$

$$\frac{2 \cdot r}{D_l - d_n} = \frac{2 \cdot 14}{475 - 325} = 0,187 < 0,4$$

5.6.2 Визначення допоміжних величин

Розрахунковий діаметр западини хвилі компенсатора визначають за формулою

$$d_1 = d_n - S_l$$

$$(5.26)$$

$$d_1 = 325 - 4 = 321 \text{ мм}$$

Розрахунковий діаметр гребеня хвилі компенсатора визначають за формулою

$$d_2 = D_l - S_l$$

$$(5.27)$$

$$d_2 = 475 - 4 = 471 \text{ мм}$$

Середній радіус тороїдального переходу хвилі компенсатора розраховують за формулою

$$r_s = 0,5 (2 r + S_{\text{л}})$$

$$(5.28)$$

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

Допоміжну величину впливу переходу розраховують за формулою

$$\rho_{\text{л}} = 2 - 100 \frac{r_s}{d_1 + d_2}$$

$$(5.29)$$

$$\rho_{\text{л}} = 2 - 100 \cdot \frac{16}{321 + 471} = -0,02 \text{ мм}$$

Розрахункову ширину пластинчастої зони хвилі компенсатора розраховують за формулою

$$b_{\text{л}} = 0,5 (d_2 - d_1 + \rho_{\text{л}} \cdot r_s)$$

$$(5.30)$$

$$b_{\text{л}} = 0,5 \cdot (471 - 321 + (-0,02) \cdot 16) = 74,8 \text{ мм}$$

Радіус закруглення пластинчастої зони хвилі компенсатора визначають за формулою

$$R_o = 0,25 (d_2 + d_1 - 2 b_{\text{л}}) \quad (5.31)$$

$$R_o = 0,25 \cdot (471 + 321 - 2 \cdot 74,8) = 160,6 \text{ мм}$$

Середній діаметр хвилі d_{cp} , мм, визначають за формулою

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

$$(5.32)$$

$$d_{\text{cp}} = 0,5 \cdot (471 + 321) = 396 \text{ мм}$$

Характеристики хвилі визначають за формулами:

$$\xi = \frac{d_2}{d_1} - 1 \quad (5.33)$$

$$\xi = \frac{471}{321} - 1 = 0,47$$

$$\eta = \frac{d_2 - d_1}{2 r_s} - 2$$

$$(5.34)$$

$$\eta = \frac{471 - 321}{2 \cdot 16} - 2 = 2,69$$

$$\alpha = S_{\text{л}} / d_1 \quad (5.35)$$

$$\alpha = \frac{4}{321} = 0,012$$

$$\lambda = b_n / R_o$$

$$(5.36)$$

$$\lambda = \frac{74,8}{160,6} = 0,47$$

$$\gamma = 1 + 1,25 \frac{d_2}{d_1} - \frac{3,2 r_s}{d_2 - d_1} \quad (5.37)$$

$$\gamma = 1 + 1,25 \cdot \frac{471}{321} - \frac{3,2 \cdot 16}{471 - 321} = 2,59$$

5.6.3 Розрахунок компенсатора на міцність

Виконавчу товщину стінки компенсатора S_n , мм, розраховують за формулою

$$S_n \geq S_{np} + C_n$$

$$(5.38)$$

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

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

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

Розрахункову товщину стінки компенсатора визначають за формулою

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

$$(5.39)$$

де

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

$$(5.40)$$

$$S_3 = 0,25 \cdot (471 - 321 - 2,59 \cdot 16) \cdot \sqrt{\frac{1,6}{144,4}} = 2,8 \text{ мм}$$

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

$$(5.41)$$

$$S_4 = \frac{1,6 \cdot 396}{2 \cdot 144,4 \cdot 1} \cdot \frac{80}{471 - 321 + 2 \cdot 5 + 2,3 \cdot 16} = 0,8 \text{ мм}$$

Позначення в формулах (5.37)-(5.39):

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

L – виконавча довжина компенсатора, мм;

l_k – приєднувальна довжина циліндричної частини компенсатора, мм;

φ – коефіцієнт міцності подовжнього зварного шва компенсатора.

$$S_{лп} = 0,83 \cdot \sqrt{0,5 + \sqrt{0,25 + (2,79/0,8)^4}} = 2,95 \text{ мм}$$

Виконавчу товщину стінки компенсатора розраховують за формулою

$$S_{л} \geq S_{лп} + C_{л} \quad (5.42)$$

$$S_{л} = 2,95 + 0,8 = 3,75 \text{ мм}$$

Приймаємо:

$$S_{л} = 4 \text{ мм}$$

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

$$[P]_л = \frac{[P]_1}{\sqrt{1 + \left(\frac{[P]_1}{[P]_2}\right)^2}} \quad (5.43)$$

де

$$[P]_1 = 16 \left(\frac{S_{л} - C_{л}}{d_2 - d_1 - \gamma \cdot r_s} \right)^2 \cdot [\sigma]_л \quad (5.44)$$

$$[P]_1 = 16 \cdot \left(\frac{4 - 0,8}{471 - 321 - 2,59 \cdot 16} \right)^2 \cdot 144,4 = 2,0 \text{ МПа}$$

$$[P]_2 = \frac{2 [\sigma]_л \cdot \varphi \cdot (S_{л} - C_{л})}{d_{cp}} \cdot \frac{d_2 - d_1 + 2 l_k + 2,3 r_s}{L} \quad (5.45)$$

$$[P]_2 = \frac{2 \cdot 144,4 \cdot 1 \cdot (4 - 0,8)}{396} \cdot \frac{471 - 321 + 2 \cdot 5 + 2,3 \cdot 16}{80} = 5,7 \text{ МПа}$$

$$[P]_л = \frac{2,0}{\sqrt{1 + \left(\frac{2,0}{5,7}\right)^2}} = 1,88 \text{ МПа}$$

При цьому повинна виконуватися умова

$$P_k \leq [P],$$

1,6 МПа < 1,88 МПа, умова виконується.

5.6.4 Розрахунок числа лінз компенсатора

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

$$\Delta = l \cdot |[\alpha_k \cdot (t_k - t_0) - \alpha_T \cdot (t_T - t_0)]| \quad (5.46)$$

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

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

l – довжина труб, мм $l = 1500$ мм

$$\alpha_k = 12 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$$

$$\alpha_T = 11,6 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$$

$$\Delta = 1500 \cdot | [12 \cdot 10^{-6} \cdot (160 - 20) - 11,6 \cdot 10^{-6} \cdot (100 - 20)] | = 1,1 \text{ мм}$$

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

Необхідне число лінз в компенсаторі розраховуємо за формулою

$$n_{\text{л}} = \frac{\Delta}{\Delta_{\text{л}}} = \frac{1,1}{3} = 0,35$$

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

6 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПІДГРІВАЧА

6.1 Виготовлення основних елементів апарата

6.1.1 Виготовлення обичайок

Обичайки виготовляють звареними з сталевих листів. Приидання відповідної форми обичайкам допускається робити тільки на відповідних машинах або пресах. Застосування ручних способів, а також місцеве нагрівання й виправлення молотком не допускається.

Розмітку листових заготівель виконують із метою вказівки границь обробки й раціонального розкрою листа для найбільш повного використання металу. Для розмітки використовують розмічальні столи або плити. На листі розмічаються риси під відрізок, риси з непаралельністю не більше 1 мм під строжку й контрольні риси. Різання листа здійснюють на гильйотинних ножицях. Обробку кромek на верстаті здійснюють після різання. Після цього лист подається до преса для підгибки кромek. Далі лист подається до листозгинальної машини із трьома валками розташованими симетрично. Зборку поздовжнього стику роблять за допомогою струбцин. Після зварювання шва на стенді шов зачищають, знімають посилення. Далі обичайка подається до листозгинальної машини на виправлення, зварні шви контролюються ультразвуковою дефектоскопією. Отвори в обичайці під штуцера виконують вирізкою газовим різакom після розмітки.

6.1.2 Виготовлення еліптичних днищ

Розміри й форма днищ повинні відповідати ГОСТ 6533-78.

Виготовлення еліптичного днища виконують по технічних умовах на виготовлення й поставку днищ, які викладені в стандартах на днища. Днища виготовляють штампуванням на пресах.

Формовку днища методом штампування на пресах проводять таким чином. Заготівля подається в нагрівальну піч нагрівання до необхідної температури. Температурний інтервал штампування 850-950 °С. Нагріта заготівля з печі подається на транспортер, за допомогою якого транспортується до штампа, що перебуває під пресом. Штамп складається із циліндричного пуансона з еліпсоїдною торцевою поверхнею, виконаної за формою кулі. В процесі штампування, пуансон, рухаючись униз тягне заготовку через матрицю.

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

6.1.3 Виготовлення фланців і штуцерів

Фланцеві заготівки одержують вигином прокату. Профілі розрізають на мірні заготівлі, згинають в кільце й зварюють. Отримані заготівлі піддають механічній обробці, обробляють ущільнювальні поверхні й внутрішній діаметр фланця. Потім виконують отвори під болти.

При зварюванні плоских фланців з патрубками необхідно забезпечити рівномірний кільцевий зазор між патрубком і фланцем. Між зовнішньою поверхнею патрубка (обичайки) і стінкою отвору плоского фланця не повинно бути більше 2,5 мм.

Виготовлення штуцерів виконують таким чином: фланець укладається ущільнювальною поверхнею на складальну плиту, по внутрішньому діаметрі встановлюються підкладки, по товщині рівні товщині підведення й торця патрубка до сполучної поверхні фланця. Патрубок торцем укладається у фланець на підкладку. Забезпечується перпендикулярність осі щодо ущільнювальної поверхні фланця.

Патрубок прихоплюється й потім приварюється до фланця.

6.1.4 Збирання й зварювання корпусу

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

6.1.5 Кріплення труб в трубних решітках

Кінці теплообмінних труб зачищають до чистого металу на довжину, рівну подвоєній товщині трубних грат плюс 20 мм. Зовнішній діаметр труби після зачищення не має бути менше величини для відповідного класу точності з'єднання.

Розвальцьовування труб

Розвальцьовування проводять відповідно вимогам галузевого стандарту.

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

Зварювання труб з трубними решітками

Кінці труб, а також лицьову поверхню решіток і отворів в трубних решітках перед зварюванням слід зачистити до чистого металу і ретельно знежирити.

Діаметральний зазор між трубними решітками і трубою рекомендується не більше 0,3 мм. Для забезпечення цієї вимоги рекомендується конічне розвальцьовування труби перед зварюванням до торкання зовнішньої поверхні труби з краєм трубного отвору (рисунок 6.1).

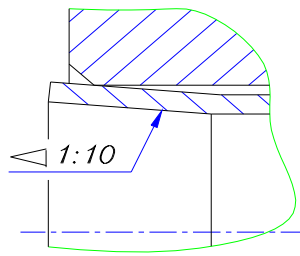


Рисунок 6.1 – Конічне розвальцьовування труби перед зварюванням

6.2 Збирання теплообмінника

Збирання теплообмінника необхідно проводити в такій послідовності:

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

6.3 Випробування після виготовлення

Після виготовлення теплообмінника перед здачею його в експлуатацію необхідно зробити випробування на щільність і міцність.

Гідровипробування проводиться водою з температурою не нижче $+5^{\circ}\text{C}$ і не вище $+40^{\circ}\text{C}$. При заповненні теплообмінника водою, повітря повинне бути цілком вилучене.

Тиск при випробуванні повинний контролюватися двома манометрами.

Тиск у випробовуваному теплообміннику повинний підвищуватися плавно, використання стиснутого повітря або газу не допускається.

Мінімальну величину пробного тиску $P_{\text{пр}}$ при гідравлічному випробуванні підігрівача, а також трубопроводів в межах теплообмінника приймають:

$$P_{\text{пр}} = 1,25 \cdot P \frac{[\sigma]^{20}}{[\sigma]^t}$$

де P – розрахунковий тиск, МПа

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

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

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

Після витримки теплообмінника під пробним тиском, його знижують до розрахункового, при якому проводиться огляд зовнішньої поверхні теплообмінника, усіх його роз'ємних і зварних сполук.

7 РЕМОНТ ПІДІГРІВАЧА

7.1 Методи виконання планово-попереджувальних ремонтів

Ремонт обладнання в хімічній промисловості визначається системою технічного обслуговування і ремонту (ТОіР).

В основу системи ТОіР покладене сполучення технічного обслуговування і планово-попереджувальних ремонтів.

У залежності від значимості обладнання в технологічному процесі планово-попереджувальний ремонт може проводитися по методу планово-періодичного ремонту і ремонту в залежності від технічного стану (післяосмотровий метод).

На основне обладнання (підігрівач, колона) поширюється метод планово-періодичного ремонту.

Сутність планово-періодичного ремонту полягає в тому, що усі види ремонту плануються і виконуються в строго встановлені ремонтними нормативами терміни.

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

- *поточний* - це ремонт, що виконується для забезпечення або відновлення працездатності устаткування і полягає в заміні і (або) відновленні його окремих частин. Ціль цього ремонту – забезпечити роботоспроможність обладнання до наступного ремонту;

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

7.2 Розбирання підігрівача, виявлення і усунення дефектів

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

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

При ремонті внутрішні поверхні очищають від бруду й інших відкладень.

Ремонтні роботи із застосуванням відкритого вогню повинні проводитись відповідно до «Типової інструкції з організації безпечного проведення вогневих робіт на вибухонебезпечних об'єктах». Вогневі роботи проводяться тільки при наявності дозволу на виробництво вогневих робіт.

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

Перед зварюванням перевіряється якість підготовки й зборки елементів, що зварюють.

При ремонті корпусів зварювальні роботи виконуються при позитивній температурі навколишнього повітря. Допускаються зварювальні роботи з попереднім підігрівом при температурі навколишнього повітря не нижче - 20°C.

При ремонті корпусів використовують ручне електродугове зварювання, крім того може бути використане автоматичне й напівавтоматичне зварювання. Зварні шви, що виконуються при ремонті, повинні забезпечувати необхідну міцність і бути доступними для контролю. Їх

розташовують поза опорою корпусу. Перетинання зварних швів, що проводяться ручним електродуговим зварюванням не допускається.

Ушкоджену обичайку заміняють цілою або полистно. При заміні цілої проміжної обичайки використовують вантажопідйомні механізми. Вони утримують верхню неушкоджену частину апарата. Цю частину відокремлюють від дефектної обичайки й опускають на землю. Ушкоджену обичайку за допомогою тих же механізмів також опускають на землю. Нову обичайку піднімають і стикують із нижньою частиною апарата. Потім піднімають верхню частину й після стикування з обичайкою й перевірки частин обоє стикових шва заварюються. При полистовій заміні використовують листи, завальцьовані по радіусу, рівному радіусу корпусу.

Дефектні днища при неможливості їхнього ремонту на місці заміняють новими.

Ремонт ущільнюючих поверхонь фланців здійснюють спеціальним переносним пристроєм. Ці роботи можна виконувати, не відрізуючи фланці. Пристрій є зварною конструкцією, що містить корпус, яким він кріпиться на оброблюваному фланці, і план-шайбу із змонтованою на ній кареткою з резцедержателем.

Порушення герметичності може бути викликане труби. У цьому випадку текцію легко усунути від глушенням труби конічними пробками. Пробки завдовжки 40—60 мм застосовують для герметизації труб зовнішнім діаметром 10—28 мм. Для холодильників, конденсаторів і інших апаратів при робочій температурі середовища не вище 105°C рекомендуються пробки з фібри, що розбухає при контакті з водою і надійно ущільнює місце течії. Відглушення труб скорочує час простою установок в ремонті.

В процесі капітального ремонту відглушені труби замінюють новими. Процес заміни труб в трубних решітках включає: видалення дефектних труб; підготовку нових труб; набивання їх в пучки і кріплення в решітках.

Труби видаляють наступним чином: висвердлюють трубу приблизно на три довжини развальцьованої частини, зменшуючи при цьому товщину її стінки; після цього між трубою і внутрішньою поверхнею отвору решітки забивають спеціальний інструмент, який деформує стінку труби; потім трубу вибивають з трубних решіток.

8 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

Ремонтно – монтажні роботи

Виведення в ремонт устаткування здійснюється по письмовому розпорядженню начальника цеху. На підставі цього встановлюється порядок виведення устаткування в ремонт.

У об'єм робіт з підготовки устаткування до ремонту входить: зупинка об'єкту; скидання тиску, звільнення об'єкту від продукту, сировини; відключення електроенергії; від'єднання ремонтного об'єкту від комунікацій за допомогою заглушок; пропарювання, продування, провітрювання об'єкту; аналіз на вміст отруйної, вибухонебезпечної пари або газів, яких повинно бути не більш за ГДК по санітарних нормах.

Організація робочого місця

Робоче місце при проведенні ремонтних робіт повинне мати: захищені зони робіт, вільні проходи і шляхи доставки деталей і інструментів. Працівники забезпечуються індивідуальними засобами захисту: протигазами, касками марки «Праця» або «Дружба» з підшоломниками.

Проведення робіт на висоті

Роботи на висоті вище 1,5м повинні виконуватися із застосуванням приставних сходів, драбин, подмостей, лісів, що мають обгороджування. Також практикується застосування перевірених або випробуваних запобіжних поясів, якщо роботи проводяться з необгороджених поверхонь.

Щоб працювати на висоті потрібно пройти медичний огляд, ввідний і первинний інструктаж по техніці безпеки і перевірку знань інструкції.

Пристосування для виконання ремонтних робіт на висоті мають бути інвентарними, виготовлятися по типових проектах і відповідати ГОСТ 12.2.003 – 74.

При роботі на висоті більш 5м не допускається розміщення працівників на різних відмітках по одній вертикалі.

Проведення зварювальних і вогневих робіт

На проведення вогневих робіт оформляється наряд-допуск. Він включає комплекс заходів щодо підготовки і безпечного проведення робіт, термін його дії і тривалість проведення робіт, склад бригади, вимоги до робітників.

Відповідальним за підготовку об'єкту до проведення вогневої роботи призначається начальник зміни, у веденні якого знаходиться експлуатаційний персонал даного об'єкту.

Відповідальний за проведення вогневих робіт зобов'язаний: перевірити у виконавців наявність і справність засобів індивідуального захисту; проводити інструктаж виконавців; забезпечити місцепроведення робіт первинними засобами пожежогасіння.

Для проведення робіт усередині ємкостей повинна призначатися бригада в складі не менш 2-х чоловік (працівник, спостережник). При необхідності перебування в ємкості більшого числа працівників мають бути розроблені, внесені до наряду-допуску і додатково здійснені заходи безпеки, що передбачають: на кожного працюючого – свій спостерігач; порядок входу і евакуації працівників; порядок розміщення шлангів, забірних патрубків протигазів, сигнально-рятувальних вірьовок, наявність засобів зв'язку і сигналізації на місці проведення робіт.

У всіх випадках на працівника, що спускається в ємність, має бути надітий рятувальний пояс з сигнально-рятувальним мотузком. Пояс, карабін і сигнально-рятувальний мотузок мають бути випробувані в установленому порядку.

ВИСНОВКИ

В даному дипломному проекті розглянуто підігрівач установки ректифікації суміші ацетон – вода потужністю 56000 т/рік.:

- а) На основі аналітичного огляду вибрана конструкція підігрівача, розміри якого отримані з технологічного розрахунку.
- б) Виходячи з умов роботи і характеристик робочого середовища підібрані конструкційні матеріали;
- в) Роботоспроможність апарата підтверджена розрахунками на міцність, які виконані згідно з діючою в хімічному машинобудуванні нормативно-технічною документацією;
- г) Розглянуті питання технології виготовлення підігрівача, його монтаж і ремонт;
- д) Висвітлені питання техніки безпеки.

ЛІТЕРАТУРА

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

12 Машины и аппараты химических производств: Учебник для вузов по специальности “Машины и аппараты химических производств и предприятий строительных материалов”./ И.И. Поникаров и др. – М.: Машиностроение, 1989. – 368 с.

13 Аппараты теплообменные кожухотрубчатые общего назначения. Аппараты теплообменные кожухотрубчатые с плавающей головкой, кожухотрубчатые с U-образными трубами и трубные пучки к ним. Каталог. М.: АООТ “ВНИИнефтемаш”. 2001.–.89 с.

14 Кожухотрубчатые теплообменные аппараты общего и специального назначения. Каталог. М.: ЦИНТИхимнефтемаш”. 1991.–.108 с.

15 ТУ 3612-024-00220302-02. Аппараты теплообменные кожухотрубчатые с неподвижными трубными решетками и кожухотрубчатые с температурным компенсатором на кожухе. Технические условия. М.: АООТ “ВНИИнефтемаш”. 2002.–.145 с.

16 ТУ 3612-023-00220302-01. Аппараты теплообменные кожухотрубчатые с плавающей головкой, кожухотрубчатые с U-образными трубами и трубные пучки к ним. Технические условия. М.: АООТ “ВНИИнефтемаш”. 2001.–.112 с.

17 ТУ 26-02-1102-89. Аппараты теплообменные кожухотрубчатые повышенной тепловой эффективности с расширителем на кожухе. Технические условия. М.: АООТ “ВНИИнефтемаш”, 1989.–.48 с.

18 ОСТ 26-01-1512-76. Компенсаторы линзовые осевые на $P_y=2,5$ МПа. Технические требования.

19 ГСТУ 3-071-2004. Апарати кожухотрубчасті теплообмінні та повітряного охолодження. Кріплення труб в трубних решітках.

20 СОУ МПП 71.120-217:2009. Посудини та апарати сталіні зварні. Загальні технічні умови.

21 А.И. Барвин и др. Методические указания к расчету цилиндрических обечаек стальных сварных сосудов и аппаратов для студентов специальности 7.090220. Северодонецк, 2002.– 83 с.

22 О.І. Барвін та ін. Конструювання і розрахунок сталевих зварних посудин та апаратів. Фланцеві з'єднання. – Луганськ: Вид-во Східноукр. нац. ун-ту імені Володимира Даля, 2007. – 306 с

23 А.И. Барвин и др. Расчет выпуклых и плоских днищ и крышек, конических обечаек, днищ и переходов стальных сварных сосудов и аппаратов. Методика и примеры расчета– Северодонецк, СТИ, 2003. – 122 с.