

РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота на тему:

«Установка ректифікації суміші ацетон – етанол потужністю 69000 т/рік по вихідній суміші з розробкою кип'ятильника».

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

МАСООБМІН, РЕКТИФІКАЦІЯ, КОЛОНА, ТАРІЛКА,
ТЕПЛООБМІННИК, ПІДІГРІВАЧ, ФЛЕГМА

В данній дипломній роботі розглянуто установку ректифікації суміші ацетон-етиловий спирт з розробкою кип'ятильника:

На основі аналітичного огляду вибрана конструкція кип'ятильника, 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 кип'ятильника, ремонт/;

Висвітлені питання техніки безпеки.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ВСТУП

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

2 ОПИС ТЕХНОГОЛІЧНОЇ СХЕМИ ТА КОНСТРУКЦІЇ КОЛОНИ І
КИП'ЯТИЛЬНИКА

3 КОНСТРУКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ
КИП'ЯТИЛЬНИКА

4 ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ РОЗМІРІВ КОЛОНИ ТА
КИП'ЯТИЛЬНИКА

5 РОЗРАХУНКИ НА МІЦНІСТЬ ЕЛЕМЕНТІВ КИП'ЯТИЛЬНИКА

6 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ КИП'ЯТИЛЬНИКА

7 РЕМОНТ КИП'ЯТИЛЬНИКА

8 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

ВИСНОВКИ

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

ВСТУП

У ряді виробництв хімічної, нафтової і інших галузей промисловості в результаті різних технологічних процесів отримують суміші рідин, які необхідно розділити на складові частини.

Для розділення сумішей рідин і зріджених газових сумішей в промисловості застосовують способи простої перегонки (дистиляції), перегонки під вакуумом і з водяною парою, молекулярної перегонки і ректифікації. Ректифікацію широко використовують в промисловості для повного розділення сумішей летких рідин, частково або цілком розчинних одна в іншій.

У промисловості застосовують ковпачкові, ситчасті і насадкові колони. Вони розрізняються в основному конструкцією внутрішнього устрою апарату, призначення якого — забезпечення взаємодії рідини і пари.

1 АНАЛИТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Перегонка рідини

Види ректифікації:

1 Проста ректифікація. Даний процес проводиться в ректифікаційних колонах насадкового і тарельчатого типу. Вода подається на верхню насадку або тарілку і з нижньої поступає в кип'ятильник. У ній при закипанні утворюється потік пари, яка при проходженні через колону захоплює з собою пару органічних домішок і доставляє її у верхню частину колони. Згодом пара поступає в конденсатор, а очищена рідина виходить як кінцевий продукт.

Переваги простої перегонки:

- серйозна перевага простої перегонки - простота конструкції;
- дає можливість отримання хімічно чистих продуктів.

2 Пароциркулярна ректифікація (евапорація) здійснюється в ректифікаційних колонах, де використовується циркулююча водяна пара. Переваги перегонки з водяною парою дозволяють, наприклад, 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 припинити перегонку, роз'єднувати пару і потім знову збирати всю систему.

Процес ректифікації може протікати при атмосферному тиску, а також при тиску вище і нижче атмосферного.

У промисловості застосовують ковпачкові, ситчасті і насадкові колони. Вони розрізняються в основному конструкцією внутрішнього устрою апарату, призначення якого — забезпечення взаємодії рідини і пари.

1.2 Апаратурне оформлення масообмінних процесів

Колонні апарати застосовують для процесів ректифікації, абсорбції, мокрого очищення газів для деяких хімічних процесів, тобто для процесів взаємодії між рідкою й газовою фазою. Забезпечення гарного контакту між рідиною й газом (пором) досягається за рахунок застосування пристроїв, що змушують газ багаторазово барботировать через рідину; застосування насадки, по якій стікає рідина, змивана газом; розпилення рідини в потоці газу, а також за рахунок використання відцентрової сили. У відповідності зі способом забезпечення контакту між рідиною й газом розрізняють барботажные (тарілчасті), насадочные, распылительные колони апарати механічного типу.

Рідина й газ, як правило, рухаються протитечією, хоча є апарати, у яких здійснюється прямоточний рух. Вибір типу колонного апарата визначається умовами процесу, витратами рідини й газу, тиском, температурою, корозійними властивостями продуктів, наявністю забруднень і т.д. Звичайно для процесів ректифікації застосовують тарілчасті колони, а для абсорбції – насадочные. Основні елементи тарілчастих а насадочных колон нормалізовані. Нестандартні колонні апарати використовують порівняно рідко.

Висоту й діаметр колонних апаратів визначають на підставі технологічних, теплових і гідродинамічних розрахунків. Звичайно вони являють собою вертикальні пристрої великої висоти й порівняно малого діаметра. Колони мають круглу форму. Ректифікаційні й абсорбційні установки, як правило, являють собою складні агрегати, у яких колона пов'язана з рядом допоміжних апаратів: кубами, кип'ятильниками, різними теплообмінниками, сепараторами і т.д.

Колони більших розмірів звичайно встановлюють під відкритим небом. Трубопроводи, що обслуговують майданчики й допоміжне устаткування,

кріпляться, як правило, до корпусу колони. На верхній майданчик кріплять кран – укосину для монтажних і ремонтних робіт.

На колонах монтують багато контрольно-вимірювальних приладів для виміру тиску, температури, состава суміші і т.д. На лініях уведення й виводу рідини на колони обов'язково встановлюють гідравлічні затвори, що перешкоджають проходу газу через рідинні патрубки. Затвори виконують у вигляді U – образних ділянок трубопроводів або поперечних перегородок перед штуцерами. Колони працюють звичайно при атмосферному тиску, вакуумні й під підвищеним тиском менш поширені.

Температурні межі застосування колонних апаратів досить великі: від -190°C в установках глибокого холоду, до $350\text{--}400^{\circ}\text{C}$.

Класифікація колонних апаратів

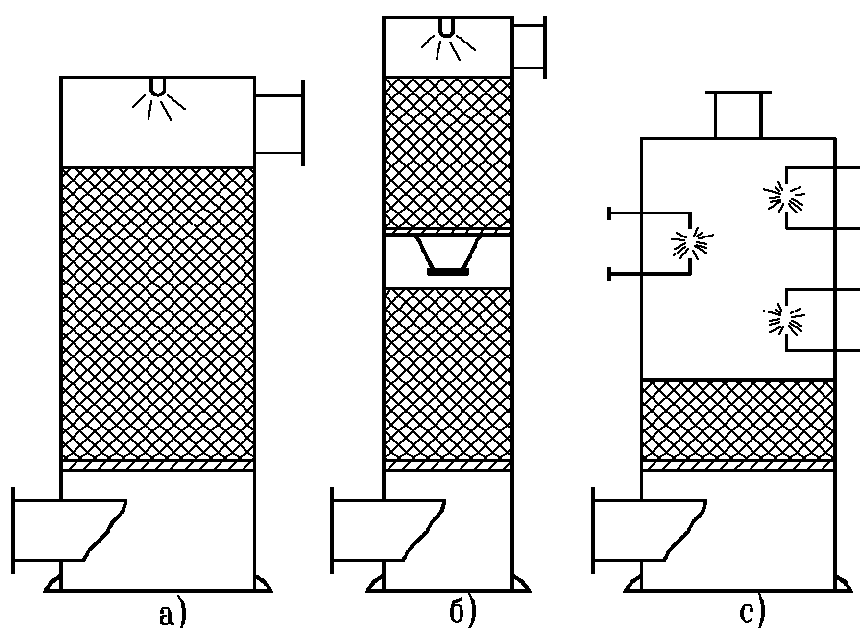
Визначальною характеристикою массообменно́ї апаратури є стан межфазної поверхні. Відповідно до цього в основу класифікації апаратури, призначеної для проведення процесів масопередачі, покладений принцип утвору межфазної поверхні. Дифузійні апарати класифікуються на групи: 1) апарати з фіксованою поверхнею фазового контакту; 2) апарати з поверхнею контакту, утвореної в процесі руху потоків, 3) апарати із зовнішнім підведенням енергії.

Конструкції массообменных апаратів пред'являються наступні основні вимоги: дешевина, простота в обслуговуванні, висока продуктивність, максимально розвинена поверхня контакту між фазами й ефективність передачі маси речовини з однієї фази в іншу, стійкість режиму в широкому діапазоні навантажень, максимальна пропускна здатність по паровий (газової) і рідкій фазі, мінімальний гідравлічний опір, міцність конструкції й довговічність.

Насадочні колони

Насадочні колони широко застосовують для процесів абсорбції, а також очищення, охолодження й зволоження газів. Деяке застосування вони

знаходять і для процесів ректифікації. Насадочні колони задовільно працюють тільки при рясному й рівномірному зрошенні насадки рідиною. Різняться два основні режими роботи апаратів: 1. Плівковий режим, при якому рідина, омивана газом, стікає по елементах насадки. 2. Емульгаційний режим, коли весь апарат заповнений рідиною, а через шар її між елементами насадки барботує газ.



а) колона повністю насаджена; б) колона з насадкою, розділеної на секції; в) колона частково насаджена.

Рисунок 1.1 - Типи насадочних колон.

До основних елементів насадочних колон ставляться: насадка, пристрій для зрошення й розподілу рідини, опорні колосники й інші пристрої, що підтримують шар насадки. По способу розташування насадки по висоті апарата колони підрозділяють на повністю насаджені (малюнок 1.1а), розділені на секції (малюнок 1.1б) і частково насаджені (малюнок 1.1в).

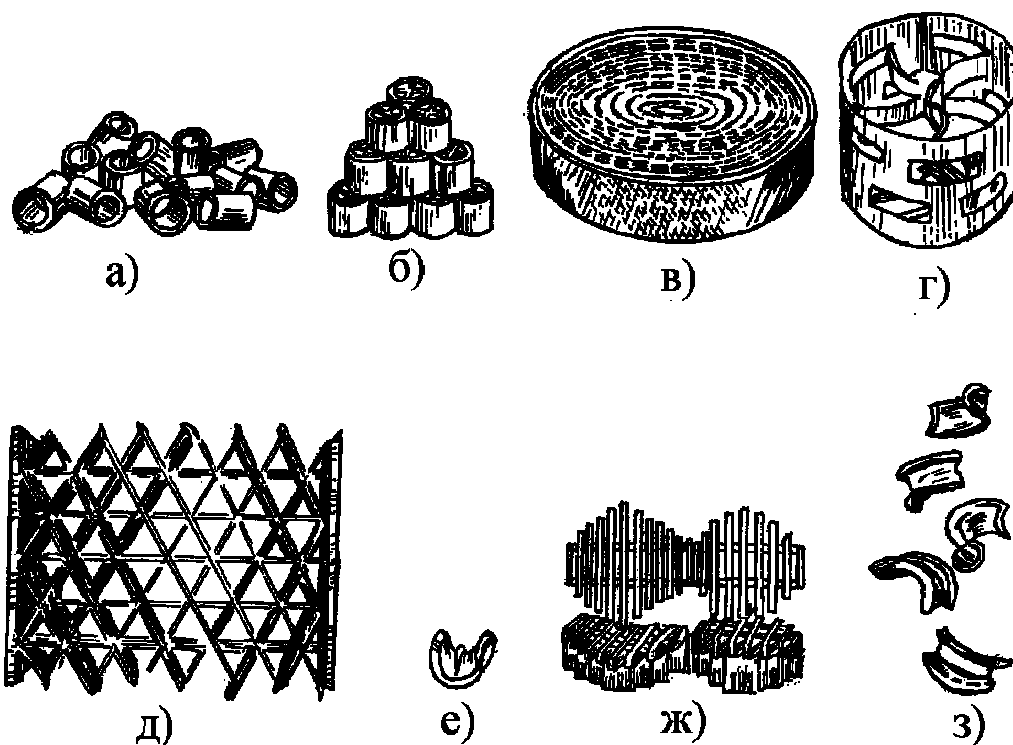
Повністю насаджені колони з насадкою, що завантажується навалом, мають звичайно висоту шару насадки не більш $H = (6 \div 8) \cdot D$. Подальше збільшення висоти шару насадки обмежується тем обставиною, що рідина стікаюча по

безладно завантаженій насадці, має тенденцію переміщатися до периферії, у результаті чого частина насадки залишається незмоченою. Коли потрібна висота шару більш $(6 \div 8) \cdot D$, насадку в апарату мають у своєму розпорядженні окремі шари (секціями). Після кожного шару рідину збирають і за допомогою розподільних пристроїв рівномірно зрошують нижній шар насади. Загальна висота колони з насадкою, розділеної на секції, може досягати 30~40 м. Колони, частково завантажені, мають над шаром насадки значний вільний простір, у якому рідина реагує з газом у розпиленому стані.

Вибір насадок

Для того, щоб насадка працювала ефективно, вона повинна задовольняти наступним основним вимогам: 1) мати велику поверхню в одиниці обсязі; 2) добре змочуватися рідиною, що зрошує; 3) виявляти малий гідравлічний опір газовому потоку; 4) рівномірно розподіляти рідину, що зрошує; 5) бути стійкою до хімічного впливу рідини й газу, що рухаються в колоні; 6) мати мала питома вага; 7) мати високу механічну міцність; 8) мати невисоку вартість.

Насадок, що повністю задовольняють усім зазначеним вимогам, не існує, тому що, наприклад, збільшення питомої поверхні насадки спричиняє збільшення гідравлічного опору апарата й зниження граничних навантажень. У промисловості застосовують різноманітні за формою й розмірам насадки (рисунок 1.2), які тією чи іншою мірою задовольняють вимогам, що є основними при проведенні конкретного процесу абсорбції. Насадки, виготовляють із різноманітних матеріалів (кераміка, порцеляна, сталь, пластмаси й ін.), вибір яких диктується величиною питомої поверхні насадки, смачиваємостю й корозійною стійкістю.



а) кільця Рашига, безладно покладені (навалом); б) кільця з перегородками, правильно покладені; в) насадка Гудлое; г) кільця Палячи; д) насадка “Спрейпак”; е) сідла Берля; ж) хордова насадка; з) сідла “Инталлокс”.

Рисунок 1.2 - Типи насадок.

У якості насадки використовують, що також засипаються навалом у колону шматки коксу або кварцу розмірами 25~ 100 мм. Однак внаслідок ряду недоліків (мала питома поверхня, високий гідравлічний опір і т.д.) *кусову* насадку в цей час застосовують рідко.

Широко поширена насадка у вигляді тонкостінних керамічних кілець, рівної діаметру (кільця Рашига), який змінюється в межах 15~ 150 мм. Кільця малих розмірів засинають в абсорбер навалом (рисунок 1.2а). Більші кільця (розміром не менш 50х50 мм) укладають правильними рядами, зрушеними друг щодо друга (рисунок 1.2б). Цей спосіб заповнення апарата насадкою називають завантаженням в укладання, а завантажену таким способом насадку – *регулярної*. Регулярна насадка має ряд переваг перед *нерегулярної*, засипаної в абсорбер навалом: має менший гідравлічний опір, допускає

більші швидкості газу. Однак для поліпшення змочування регулярних насадок необхідно застосовувати більш складні по конструкції зрошувача. Хордова дерев'яна насадка (рисунок 1.2ж) звичайно використовується в абсорберах, що мають значний діаметр. Основна її гідність- простота виготовлення, недоліки- відносно невелика питома поверхня й малий вільний обсяг.

За останні роки стали застосовуватися спіральні насадки, виконані з металевих стрічок і дроту, різні металеві сітчасті насадки (рисунок 1.2д), а також насадка зі скляного волокна.

При виборі розмірів насадки слід урахувати, що чим більше розміри її елемента, тем вище припустима швидкість газу (і відповідно продуктивність абсорбера) і нижче її гідравлічний опір. Загальна вартість абсорбера з насадкою з елементів більших розмірів буде нижче за рахунок зменшення діаметра апарата, незважаючи на те, що його висота трохи збільшується в порівнянні з висотою апарата, що має насадку менших розмірів (внаслідок зниження величини питомої поверхні на коші й інтенсивності масопередачі).

Дрібна насадка переважніше також при проведенні процесу абсорбції під підвищеним тиском, тому що в цьому випадку гідравлічний опір абсорбера не має істотного значення. Крім того, дрібна насадка, що володіє більшою питомою поверхнею, має переваги перед великою тоді, коли для здійснення процесу абсорбції необхідно велика кількість одиниць переносу або теоретичних щаблів зміни концентрацій.

Основними гідностями насадочних колон є: простота пристрою й низький гідравлічний опір. Недоліки: труднощі відводу тепла й погана смачиваемість насадки при низьких щільностях зрошення. Відвід тепла із цих апаратів і поліпшення смачиваемости досягається шляхом рециркуляції абсорбенту, що ускладнює й здорожує абсорбційну установку. Для проведення того самого

процесу потрібні насадочные колони звичайно більшого обсягу, чому барботажные.

Насадочные колони мало придатні при роботі із забрудненими рідинами. Для таких рідин останнім часом стали застосовувати абсорбери з "плаваючою" насадкою. У цих абсорберах у якості насадки використовують головним чином легкі порожні або суцільні пластмасові кулі, які при досить високих швидкостях газу переходять у зважений стан.

В абсорберах з "плаваючою" насадкою припустимі більш високі швидкості газу, чому в абсорберах з нерухливою насадкою. При цьому збільшення швидкості газу приводить до більшого розширення шару куль, і, отже, до незначного збільшення гідравлічного опору апарата.

Процес перегонки рідини здійснюють в установці, в якій основним апаратом є ректифікаційна колона

Конструкції ректифікаційних колон

В ректифікаційних установках використовують головним чином апарати двох типів: ректифікаційні колони насадкові 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 трубки 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, товщину шару рідини на тарілці, фізичних властивостей рідини і ін.

Слід зазначити, що, окрім ковпачкових тарілок, застосовують також клапанні, ситчасті, S-подібні, лускові, провальні і інші конструкції тарілок.

Клапанні тарілки показали високу ефективність при значних інтервалах навантажень завдяки можливості саморегулювання. 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.

Тарілки, зібрані з S-подібних елементів, забезпечують рух пари і рідини в одному напрямку, сприяючи вирівнюванню концентрації рідини на тарілці. Поверхня перетину тарілки складає 12—20% від площини перетину колони. Коробчатий поперечний перетин елементу створює значну жорсткість, що дозволяє встановлювати його на опорне кільце без проміжних опор в колонах діаметром до 4,5 м.

До провальних відносять тарілки решітчасті, колосникові, трубчасті, ситчасті (плоскі або хвилясті без зливних пристроїв). Поверхня перетину тарілок змінюється в межах 15—30%. 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%.

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

1.3 Конструкції теплообмінного обладнання

Апарати, призначені для проведення теплообмінних процесів, називають теплообмінними. Їх застосовують для робочих середовищ із різним агрегатним станом у широкому діапазоні тисків, температур та фізико-хімічних

властивостей.

Процеси теплообміну відіграють важливу роль у сучасній техніці. Вони застосовуються всюди, де виникає необхідність нагрівання або охолодження середовища для її обробки й утилізації тепла. Особливо широко процеси теплообміну використовують у хімічній, нафтопереробній, енергетичній, металургійній і харчовій промисловості. У хімічній промисловості теплообмінне встаткування становить по вазі й вартості 15 – 18 % від усього встаткування, а в нафтопереробній – до 50 %

Класифікація й основні вимоги до теплообмінних апаратів.

Теплообмінні апарати класифікують по різних ознаках. На малюнок 107 представлені класифікація й номенклатура теплообмінних апаратів. По способу передачі тепла їх можна розділити на дві групи: поверхневі й змішання. Теплообмінники мають конструктивні особливості залежно від призначення, від напрямку руху робітничих середовищ, від компонування теплообмінної поверхні, градієнта температур теплоносіїв, матеріалу з якого виготовлений апарат, від конфігурації теплообмінної поверхні. Вимоги до промислових теплообмінних апаратів залежно від конкретних умов застосування досить різноманітні. Основними вимогами є: забезпечення найбільш високого коефіцієнта теплопередачі при можливо меншому гідравлічному опорі; компактність і найменша витрата матеріалу; надійність і герметичність у комбінації з розбірністю й доступністю поверхні теплообміну для механічного очищення ея від забруднень; уніфікація вузлів і деталей; технологічність механізованого виготовлення широких рядів поверхонь теплообміну для різного діапазону робочих температур, тисків і т.д.

При створенні нових, більш ефективних теплообмінних апаратів прагнуть: зменшити питомі витрати матеріалів, праці, засобів і затрачуваної при роботі енергії в порівнянні з тими ж показниками існуючих

теплообмінників. Питомими витратами для теплообмінних апаратів називаються витрати, віднесені до теплової продуктивності в заданих умовах.

Інтенсивністю процесу або питомою тепловою продуктивністю теплообмінного апарата називається кількість тепла, переданого в одиницю часу через одиницю поверхні теплообміну при заданому тепловому режимі.

Інтенсивність процесу теплообміну характеризується коефіцієнтом теплопередачі ДО. На інтенсивність і ефективність впливають також форма поверхні теплообміну; еквівалентний діаметр і компоновання каналів оптимальне швидкості, що забезпечують, руху середовищ; середній температурний напір; наявність турбулізуючих елементів у каналах; ребрення і т.д. Крім конструктивних методів інтенсифікації процесу теплообміну існують режимні методи, пов'язані зі зміною гідродинамічних параметрів і режиму плин рідини в поверхні теплообміну. Режимні методи включають: підведення коливань до поверхні теплообміну, створення пульсацій потоків, вдмухування газу в потік або отсос робочого середовища через пористу стінку, накладення електричних або магнітних полів на потік, запобігання забруднень поверхні теплообміну шляхом сильної турбулізації потоку і т.д.

Типові конструкції

Процеси теплообміну здійснюються в теплообмінних апаратах різних типів і конструкцій.

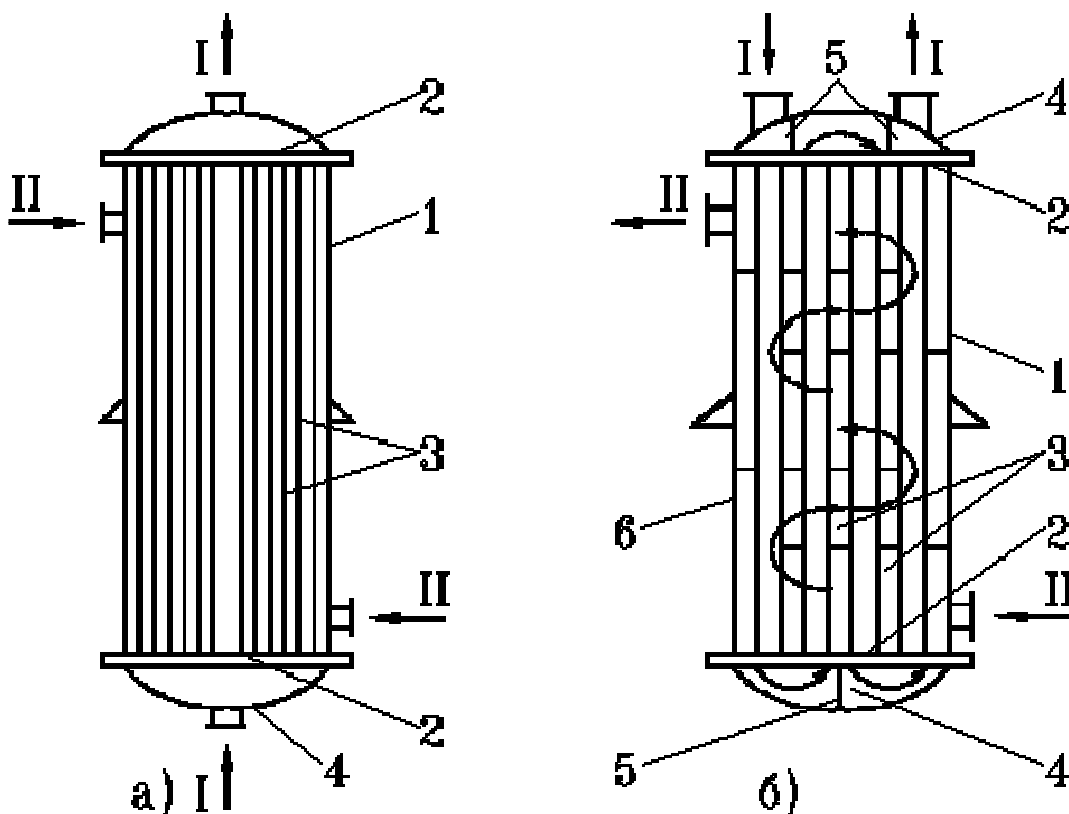
По способу передачі тепла теплообмінні апарати ділять на поверхневі й змішувальні. У поверхневих апаратах робітничі середовища обмінюються теплом через стінки з теплопровідного мату ріала, а в змішувальних апаратах тепло передається при безпосередньому перемішуванні робітничих середовищ.

Змішувальні теплообмінники простіше по конструкції чому поверхневі: тепло в них використовується повніше. Але вони придатні лише в тих

випадках, коли по технологічних умовах виробництва припустиме змішання робітничих середовищ.

Поверхневі теплообмінні апарати, у свою чергу, діляться на рекуперативні й регенеративні. У рекуперативних апаратах теплообмін між різними теплоносіями відбувається через розділові стінки. При цьому тепловий потік у кожній крапці стінки зберігає те саме напрямом. У регенеративних теплообмінниках теплоносій поперемінно стикається з однієї й тою же поверхнею нагрівання. При цьому напрямок теплового потоку в кожній крапці стінки періодично міняється. Розглянемо рекуперативні поверхневі теплообмінники безперервної дії, найпоширеніші в промисловості.

Основними елементами кожухотрубчатих теплообмінників є пучки труб, трубні ґрати, корпус, кришки, патрубки. У кожухотрубчатом теплообміннику (рисунок 1.3) одна з, що обмінюються теплом середовищ 1 рухається усередині труб (у трубному просторі), а інша 2- у міжтрубном просторі.



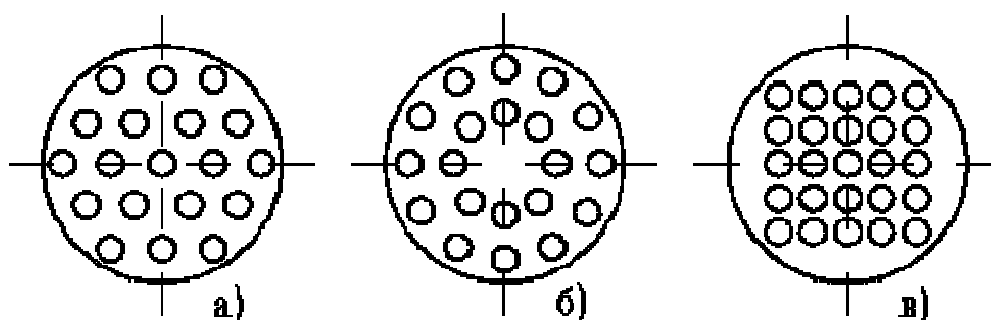
1 - корпус (обичайка); 2 - трубні ґрати; 3 - труби; 4 - кришки; 5 - перегородки в кришках; 6 - перегородки в междтрубном просторі.

Рисунок 1.3 - Кожухотрубчатые одноходовий а) і багатходовий б) теплообмінники.

Середовище звичайно направляють протитечією друг до друга. При цьому середовище, що нагрівається, направляють знизу нагору, а середовище, що віддає тепло – у протилежному напрямку. Такий напрямок руху кожного середовища збігається з напрямком, у якому прагне рухатися дане середовище під впливом зміни її щільності при нагріванні й охолодженні.

Крім того, при зазначених напрямках руху середовищ досягається більш рівномірний розподіл швидкостей і ідентичний умови теплообміну по площі поперечного переріза апарата. А якщо ні, то, наприклад, при подачі більш холодної (, що нагрівається) середовища зверху теплообмінника, більш нагріта частина рідини, як більш легка, може накопичуватися у верхній частині апарата, утворюючи "застійні" зони.

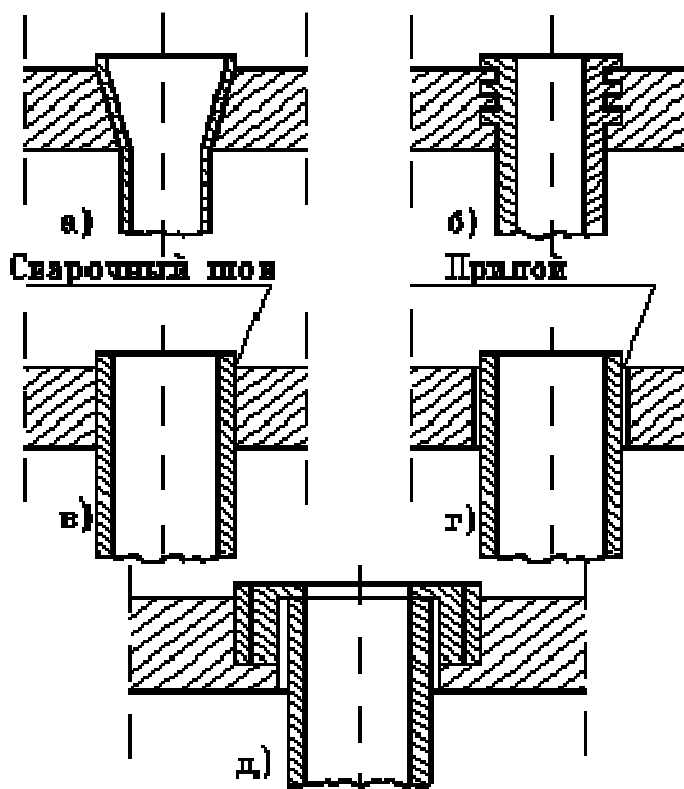
Труби в ґратах звичайно рівномірно розміщують по, периметрам правильних шестикутників, тобто по вершинах рівносторонніх трикутників (рисунок 1.4а), рідше застосовують розміщення труб по концентричних окружностях (рисунок 1.4б). В окремих випадках, коли необхідно забезпечити зручне очищення зовнішньої поверхні труб, їх розміщують по периметрах прямокутників (рисунок 1.4в). Усі зазначені способи розміщення труб переслідують одну мету забезпечити можливо більш компактне розміщення необхідної поверхні теплообміну усередині апарата. У більшості випадків найбільша компактність досягається при розміщенні трубок по периметрах правильних шестикутників.



а) по периметрах правильних шестикутників; б) по концентричних окружностях; в) по периметрах прямокутників (коридорне розташування).

Рисунок 1.4 - Способи розміщення труб у теплообмінниках.

Труби закріплюють у ґратах найчастіше розвальцьовуванням (рисунок 1.5а, б) причому особливо міцне з'єднання (необхідне у випадку роботи апарата при підвищених тисках) досягається при пристрої в трубних ґратах отворів з кільцевими канавками, які заповнюються металом труби в процесі її розвальцьовування (рисунок 1.5б). Крім того, використовують закріплення труб зварюванням (рисунок 1.5в), якщо матеріал труби не піддається витяжці й припустиме тверде з'єднання труб із трубними ґратами, а також пайкою (рисунок 1.5г), застосовуваної для з'єднання головним чином мідних і латунних труб. Зрідка використовують з'єднання труб із ґратами за допомогою сальників (рисунок 1.5д), що допускають вільне поздовжнє переміщення труб і можливість їх швидкої заміни. Таке з'єднання дозволяє значно зменшити температурну деформацію труб, але є складним, дорогим і недостатньо надійним.

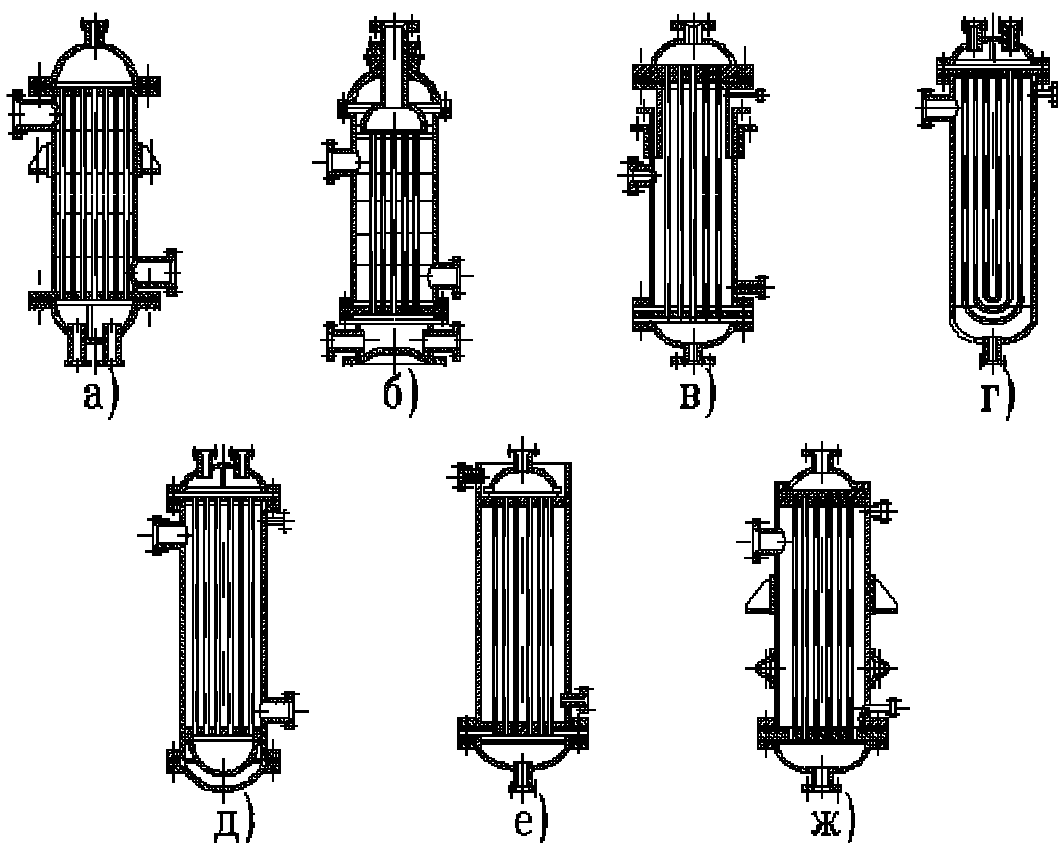


а) розвальцьовуванням; б) розвальцьовуванням з канавками; в) зварюванням; г) пайкою; д) чецевими пристроями.

Рисунок 1.5 - Закріплення труб у трубних ґратах.

Для збільшення швидкості руху теплоносіїв з метою інтенсифікації теплообміну нерідко встановлюють перегородки, як у трубному, так і в межтрубном просторах.

Кожухотрубчатые теплообмінники можуть бути вертикальними, горизонтальними й похилими відповідно до вимог технологічного процесу або зручності монтажу . Залежно від величини температурних подовжень трубок і корпуса застосовують кожухотрубчатые теплообмінники твердої, напівжорсткої й нежорсткої конструкції.



Малюнок 112 - Типові конструкції теплообмінників.

Апарати твердої конструкції (малюнок 112а) використовують при порівняно невеликих різницях температур корпусу й пучка труб, ці теплообмінники відрізняються простотою пристрою.

У кожухотрубчатих теплообмінниках нежорсткої конструкції передбачається можливість деякого незалежного переміщення теплообмінних труб і корпусу для усунення додаткових напруг і температурних подовжень. Нетвердість конструкції забезпечується чепцевим ущільненням на патрубку (малюнок 112б) або корпусі (малюнок 112в), пучком U-образних труб (малюнок 112г), рухливих трубних ґрат закритого й відкритого типу (малюнок 112д, е).

В апаратах напівжорсткої конструкції температурні деформації компенсуються осьовим стиском або розширенням спеціальних компенсаторів, установлених на корпусі (малюнок 112ж). Напівжорстка конструкція надійно забезпечує компенсацію температурних деформацій,

якщо вони не перевищують 10 – 15 мм, а умовний тиск у межатрубном просторі становить не більш $2,5 \text{ кгс/див}^2$.

2 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ТА КОНСТРУКЦІЇ КОЛОНИ І КИП'ЯТИЛЬНИКА

2.1 Технологічна схема

Початкову суміш з проміжної ємкості $\epsilon 1$ центробежним насосом $H2$ подають в підігрівач Π , де вона підігрівається до температури кипіння. Нагріта суміш 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 летким компонентом.

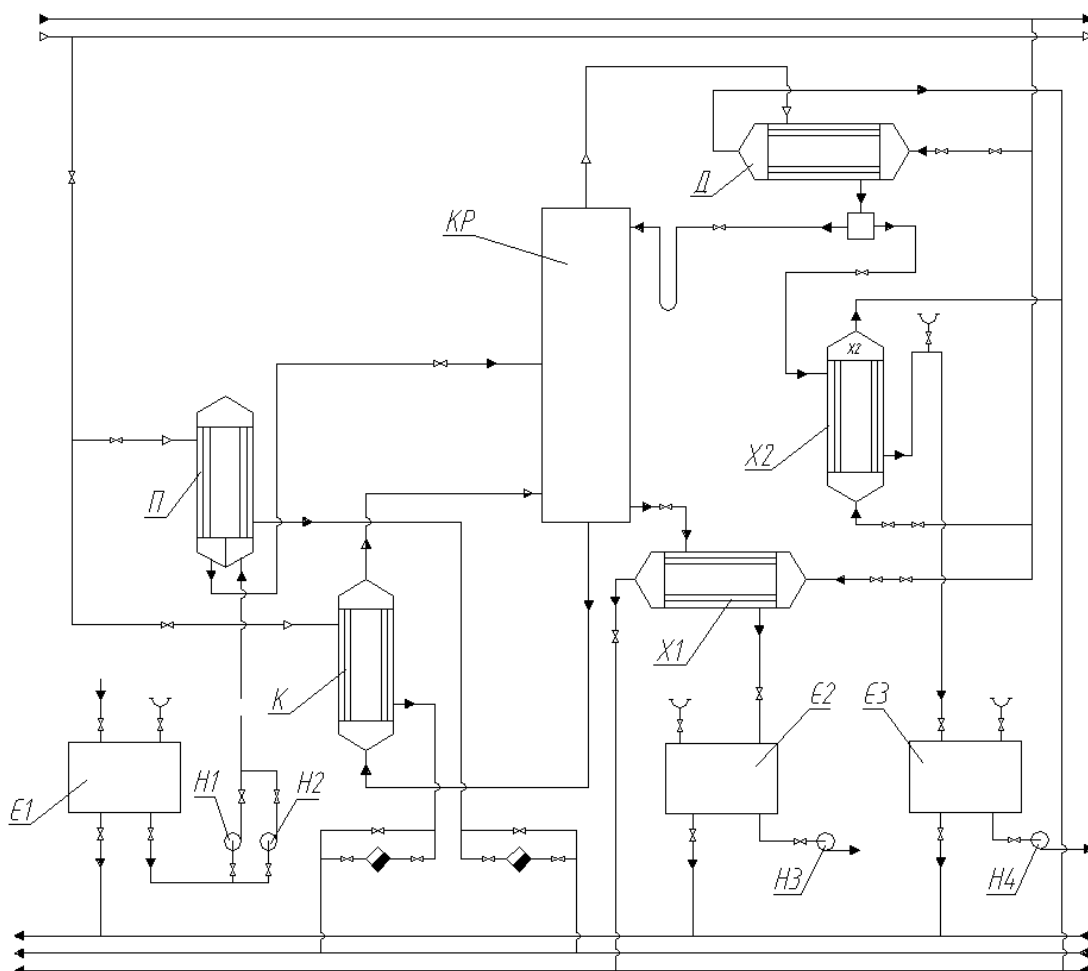


Рис. 2.1 Схема безперервно діючої ректифікаційної установки

Для повнішого збагачення 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 насадкової колони

Насадкові колонні апарати є досить широко поширеними в промисловості апаратами з безперервним контактом фаз, міжфазова поверхня в яких створюється тілами певного розміру і спеціальної форми.

Оптимальний режим роботи насадкових колон – режим емульгування – існує в порівняно невеликому інтервалі швидкостей потоків. Верхньою межею є захлинання колони, нижньою – зникнення газорідинної емульсії. Тому режим емульгування необхідно стабілізувати. Це реалізується в колонах із затопленою насадкою.

На рис. 2.2 показаний насадковий колонний апарат суцільнозварний циліндричний з еліптичними відборткованими днищами поз. 2, корпусом поз.1, встановлений на циліндричній опорі поз 7, обладнаний люками діаметром 500 мм (ОСТ 26-2002-83) – поз. 5, через які відбувається збирання і розбирання внутрішніх пристроїв (тарілок), а також огляд внутрішньої поверхні апарату, його чищення і ремонт. Люки оснащені підйально-поворотними пристроями – поз.8.

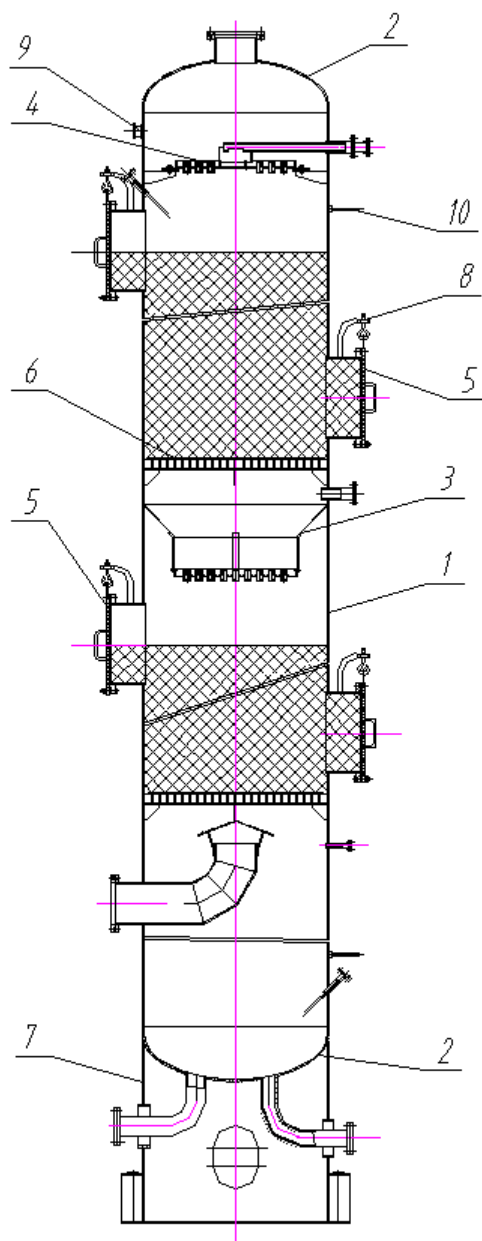


Рис. 2.2 Суцільнозварний колонний апарат з насипною насадкою

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 – поз.9, решітки опорної - поз.6, пристосування для вивірювання – поз.10. 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.

Усередині апарату розміщуються массообміні тарілки ТСН-2 поз.3 і ТСН-3 поз.4, кількість яких визначається технологічним розрахунком.

Як правило, насадкові колонні апарати використовуються як абсорбційні апарати, в середині яких на опорних решітках розташовується рядами або завантажуються навалом насадка, яка за допомогою розподільного пристрою (стандартної тарілки ТСН-3) зрошується абсорбентом. Абсорбент стікає по шару насадки у вигляді плівки, при цьому здійснюється масообмін між газом та рідиною, в результаті якого один або кілька компонентів газу поглинаються рідиною і насичують її. Насичений абсорбент відводиться знизу. Очищений газ після проходження бризкоуловлювача відводиться з абсорбера зверху.

Для поліпшення змочуємості насадки її укладають шарами висотою приблизно 4-6 діаметрів на спеціальних колосникових решітках. Під кожним шаром насадки, крім нижнього, розміщують перерозподільні тарілки ТСН-3..

2.3 Опис конструкції кип'ятильника

Кип'ятильник – це теплообмінник, в якому здійснюється теплообмін між двома теплоносіями, що мають різні температури.

Кип'ятильник –одноходовий 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 напружин, яка виникає в трубах і кожусі в робочих умовах. Вертикальний апарат встановлюється на опорних лапах.

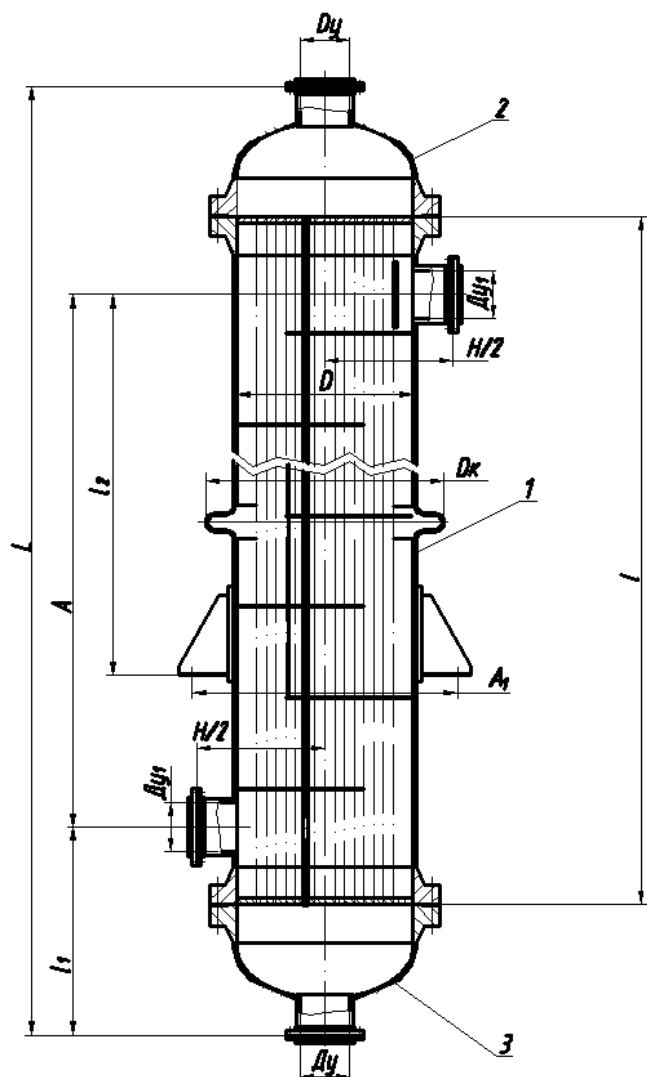


Рисунок 2.3 – Кожухотрубчастий теплообмінний апарат з температурним компенсатором на кожусі вертикальний одноходовий по трубах

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

3 ВИБІР ОСНОВНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ КИП'ЯТИЛЬНИКА

Для виготовлення сталевий зварної хімічної апаратури застосовують марки сталей, що наведені в Правилах та в стандарті у вигляді напівфабрикатів:

- сталь вуглецева звичайної якості за ДСТУ 2651 (Ст3кп2, Ст3пс2, Ст3сп2 та ін.), що поставляється у вигляді листового, сортового і фасонного прокату, труб та поковок переважно групи В (поставляється за механічними властивостями і хімічним складом), за ступенем розкислення – спокійна (сп), напівспокійна (пс), рідкіше – кипляча (кп), за вимогами від другої до шостої категорій);

- сталь вуглецева якісна конструкційна, яка поставляється у вигляді листового прокату за ГОСТ 5520 і у вигляді сортового прокату та труб за ГОСТ 1050;

- сталь низьколегована (із вмістом легуючих елементів до 2,5 %), що поставляється у вигляді листового прокату за ГОСТ 5520 і ГОСТ 19282, сортового і фасонного прокату, труб та поковок за ГОСТ 19281;

- сталь легована конструкційна (із вмістом легуючих елементів до 10 %), що поставляється у вигляді сортового прокату, труб та поковок за ГОСТ 4543;

- сталь теплотривка за ГОСТ 20072, що поставляється у вигляді листового, сортового прокату і труб;

- сталі високолеговані і сплави корозійностійкі, жаростійкі та жароміцні за ГОСТ 5632, які поставляються у вигляді листового прокату, труб та поковок;

- сталі і сплави з особливими властивостями, що поставляються у вигляді листового і сортового прокату та труб за спеціальними технічними

умовами (ТУ);

- сталі двошарові, що поставляються у вигляді листового прокату за ГОСТ 10885 і спеціальними технічними умовами з основним шаром із вуглецевих, низьколегованих і легованих сталей і плакувальним шаром із корозійностійких матеріалів;

- відливки з конструкційних та легованих сталей, що поставляються за ГОСТ 977;

- відливки з високолегованих сталей, що поставляються за ГОСТ 2176 і спеціальними технічними умовами.

Ці сталі задовольняють загальним вимогам, що пред'являються до конструкційних матеріалів.

Сталі мають таке позначення:

- вуглецеві звичайної якості – послідовно вказуються марка сталі, степінь розкислення та категорія вимог, наприклад Ст3сп3;

- якісні вуглецеві конструкційні – позначають двома цифрами, що показують середній вміст вуглецю в сотих частках відсотка, наприклад, сталь 20 (для позначення котлових марок наприкінці ставиться літера К, наприклад, сталь 20К);

- леговані – позначають комплексом цифр та літер, причому перші дві цифри вказують вміст вуглецю в сотих частках відсотка (відсутність цифр означає, що середній вміст вуглецю складає близько 0,01 %), потім послідовно йдуть літери, що означають наявність у сталі того чи іншого легуючого елемента. За кожною з літер однією або двома цифрами вказується приблизний вміст даного елемента у відсотках (відсутність цифр означає, що вміст даного елемента не перевищує 1,5 %).

Літерні позначення в марках сталі: А – азот (наприкінці позначення не ставиться), Б – ніобій, В – вольфрам, Г – марганець, Д – мідь, Е – селен, К – кобальт, Н – нікель, М – молібден, П – фосфор, Р – бор, С – силіцій, Т – титан, Ф – ванадій, Х – хром, Ц – цирконій, Ч – рідкісноземельні метали,

Ю – алюміній. Основна маса легованих конструкційних сталей виплавляється якісними ($P \leq 0,035 \%$ і $S \leq 0,035 \%$). Високоякісні сталі містять менше шкідливих домішок ($P \leq 0,025 \%$ і $S \leq 0,025 \%$) і позначаються літерою “А”, яка поміщається наприкінці позначення марки сталі.

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 Ст3сп5 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 ст3сп5 по ГОСТ 380-94. Матеріал прокладок - паронит ПОН за ГОСТ 481-80.

4 ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ РОЗМІРІВ КОЛОНИ ТА КИП'ЯТИЛЬНИКА

Вихідні дані

Потужність по вихідній суміші $P=69000$ т/рік

Ефективний фонд робочого часу $T_{\text{еф}} = 8640$ год.

Концентрація ацетону:

у вихідній суміші - $a_F = 43\%$ (мас.),

у дистиляті- $a_P = 98\%$ (мас.),

у кубовому залишку - $a_W = 1,5\%$ (мас.).

Температура:

- води, що охолоджує - 12°C ,

- дистиляту після холодильника - 27°C ,

- кубового залишку після холодильника - 27°C ,

- вихідній суміші - 25°C

Тиск насиченої водяної пари - $6,0$ ата.

Коефіцієнт надлишку флегми - $1,6$.

Колона працює під атмосферним тиском. Вихідна суміш і флегма вводяться в апарат при температурі кипіння.

4.1 Визначення продуктивності по дистиляту і кубовому залишку

Продуктивність по початковій суміші $P/T_{\text{еф}} = 69000/8640 = 7,986$ т/год.

Продуктивність колони по дистиляту визначаю по формулі:

$$G_P = G_F \cdot \frac{a_F - a_W}{a_P - a_W} = 7986 \cdot \frac{0,43 - 0,015}{0,98 - 0,015} = 3440,41 \text{ кг} / \text{ч} = 0,956 \text{ кг} / \text{с}$$

Продуктивність колони по кубовому залишку визначаємо з рівняння:

$$G_W = G_F - G_P = 7986 - 3440,41 = 4559,59 \text{ кг} / \text{ч} = 1,267 \text{ кг} / \text{с}.$$

Перевірка:

$$7986 \cdot 0,43 = 3440,41 \cdot 0,98 + 4559,59 \cdot 0,015$$

$$3440 = 3371,6 + 68,39$$

$$3440 = 3440$$

4.2 Визначення мінімального і дійсного флегмового числа

Перераховуємо масові концентрації в мольні по формулі:

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

де X – концентрація низькокиплячого компонента А (ацетону) в бінарній суміші, мол. долі;

α – вміст низькокиплячого компонента А (ацетону) в бінарній суміші, масс. долі;

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

Молярні маси: ацетон – 58 кг/кмоль

етиловий спирт – 46 кг/кмоль

Тоді концентрація Исходной суміші:

$$X_F = \frac{\frac{\alpha_F}{M_A}}{\frac{\alpha_F}{M_A} + \frac{1-\alpha_F}{M_B}} = \frac{\frac{0,43}{58}}{\frac{0,43}{58} + \frac{1-0,43}{46}} = 0,374$$

дистилляту:

$$X_P = \frac{\frac{\alpha_P}{M_A}}{\frac{\alpha_P}{M_A} + \frac{1-\alpha_P}{M_B}} = \frac{\frac{0,98}{58}}{\frac{0,98}{58} + \frac{1-0,98}{46}} = 0,975$$

кубового залишка:

$$X_W = \frac{\frac{\alpha_W}{M_A}}{\frac{\alpha_W}{M_A} + \frac{1-\alpha_W}{M_B}} = \frac{\frac{0,015}{58}}{\frac{0,015}{58} + \frac{1-0,015}{46}} = 0,012$$

Мінімальне флегмове число визначаємо графо-аналітичним способом. Для цього на підставі дослідних даних [3,4], в координатах у-х будуємо криву рівноваги для суміші ацетон – етиловий спирт при атмосферном тиску і криву температур кипіння і конденсації.

Таблиця 1.1 – Рівноважні дані для суміші ацетон – етиловий спирт

Вміст компонента А, мол. %		Температура кипіння, t, °C
в жидкості (x)	в парі (y)	
0	0,0	78,3
5	15,5	75,4
10	26,2	73
20	41,7	69
30	52,4	65,9
40	60,5	63,6
50	67,4	61,8
60	73,9	60,4
70	80,2	59,1
80	86,5	58
90	92,9	57
100	100,0	56,1

На діаграмі у-х з крапки 1 ($x_p = y_p$) через крапку 2' (x_F, y_F^*) проводимо пряму лінію до пересічення з віссю у. Відрізок, що відсікається на осі у, позначимо через $B_{\max} = 0,343$. По величині цього відрізання знаходимо мінімальне флегмове число:

$$R_{\min} = \frac{x_p}{B_{\max}} - 1 = \frac{0,975}{0,343} - 1 = 1,842$$

Дійсне флегмове число визначаю, використовуючи рівняння:

$$R = K_R \cdot R_{\min} = 1,6 \cdot 1,842 = 2,947$$

На діаграмі у-х наноситься лінії робочих концентрацій (робочі лінії) для оптимального флегмового числа $R = 2,947$: для цього на осі у відкладаємо відрізок $B = \frac{x_p}{R+1} = \frac{0,975}{2,947+1} = 0,247$ кінець якого сполучаємо прямою з крапкою 1 ($x_p = y_p$); точку пересічення цієї прямої з вертикальною лінією, проведеною з абсциси x_F , позначимо крапкою 2 (x_F, y_F) і, нарешті, крапку 2 сполучаємо з крапкою 3 ($x_w = y_w$). Лінії 1-2 і 2-3 є робочими лініями для верхньої і нижньої частин колони, відповідно.

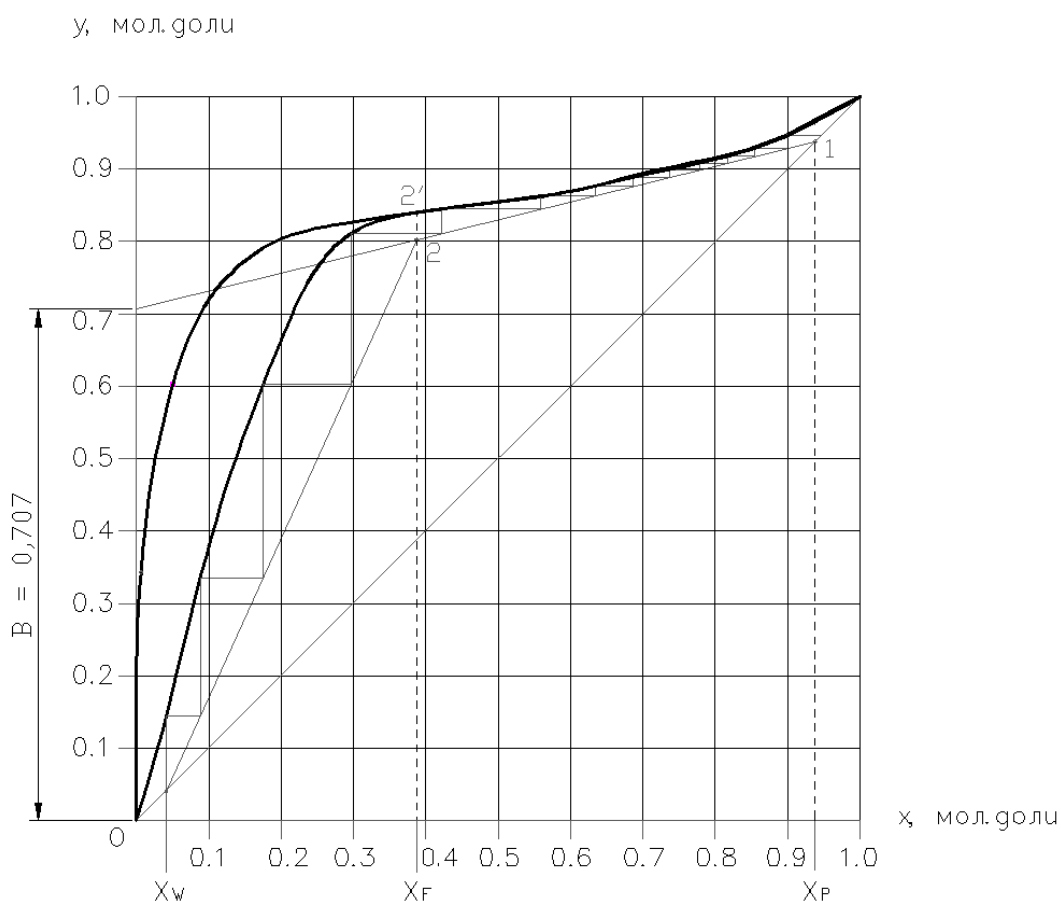


Рис. 4.1 – до визначення мінімального флегмового числа

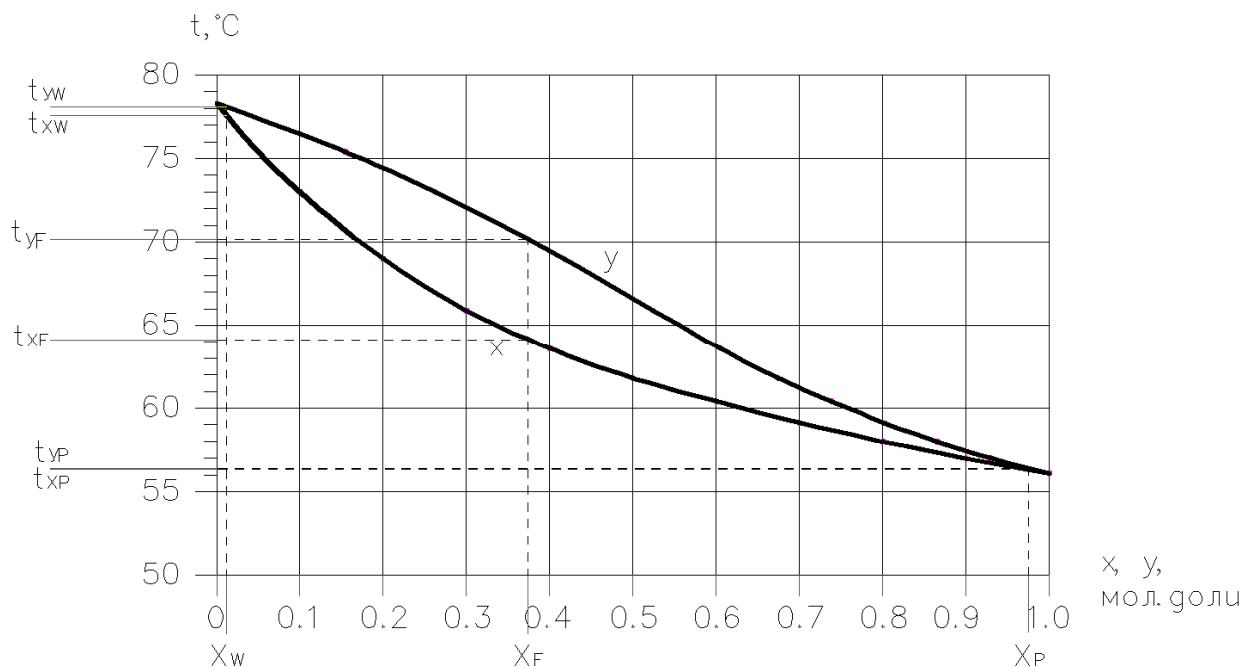


Рис. 4.2 – Ізобара температур кипіння і конденсації

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

Рідка фаза

Середня мольна концентрація в нижній частині колони:

$$X_{cp}^n = \frac{X_W + X_F}{2} = \frac{0,012 + 0,374}{2} = 0,193.$$

Середня мольна концентрація у верхній частині колони:

$$X_{cp}^e = \frac{X_F + X_P}{2} = \frac{0,374 + 0,975}{2} = 0,675.$$

Середня мольна концентрація по колоні:

$$X_{cp} = \frac{X_{cp}^n + X_{cp}^e}{2} = \frac{0,193 + 0,675}{2} = 0,434.$$

Середня масова концентрація по колоні:

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

$$\alpha_{cp} = \frac{0,434 \cdot 58}{0,434 \cdot 58 + (1 - 0,434) \cdot 46} = 0,492$$

Середня температура в нижній частині колони:

$$t_{xcp}^u = \frac{t_{xw} + t_{xf}}{2} = \frac{77,5 + 64,1}{2} = 70,8 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Середня температура у верхній частині колони:

$$t_{xcp}^e = \frac{t_{xf} + t_{xp}}{2} = \frac{64,1 + 56,2}{2} = 60,2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Середня температура по колоні:

$$t_{xcp} = \frac{t_{xcp}^u + t_{xcp}^e}{2} = \frac{70,8 + 60,2}{2} = 65,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Значення t_{xw} , t_{xf} , t_{xp} узяті з діаграми $t - x$, y .

Середня мольна маса:

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

$$x_{cp} = 58 \cdot 0,434 + 46 \cdot (1 - 0,434) = 51,21 \text{ кг/кмоль}.$$

Середня щільність визначається по формулі:

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

де ρ_A і ρ_B щільність компонентів А (ацетону) і В (етилового спирту) при температурі t_{xcp} .

$$\rho_A = 738,58 \text{ кг/м}^3 \text{ при } t_{xcp} = 65,5^\circ\text{C} [1, \text{ с. 512}].$$

$$\rho_B = 748,78 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_{xcp} = \frac{738,58 \times 748,78}{748,78 \times 0,492 + 738,58 \cdot (1 - 0,492)} = 743,73 \text{ кг/м}^3$$

Середню в'язкість розраховуємо по рівнянню:

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

де μ_A і μ_B — динамічні коефіцієнти в'язкості компонентів А (ацетону) і В (етилового спирту), Па.с.

$$\mu_A = 0,22 \text{ МПа} \cdot \text{с при } t_{cp} = 65,5 \text{ } ^\circ\text{C} [1, \text{ с. 516}].$$

$$\mu_B = 0,548 \text{ МПа} \cdot \text{с}.$$

$$\lg \mu_{xcp} = 0,434 \cdot \lg 0,22 + (1 - 0,434) \cdot \lg 0,548 = - 0,433.$$

$$\mu_{x \text{ ср}} = 0,369 \text{ МПа} \cdot \text{с} = 0,369 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Середнє поверхнєве натягнення визначаємо по рівнянню:

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

де σ_A і σ_B – поверхнєві натягнення компонентів А (ацетон) і В (етиловий спирт), Н/м.

$$\sigma_A = 17,94 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м при } t_{x \text{ ср}} = 65,5 \text{ }^\circ\text{C [1, с. 526]:}$$

$$\sigma_B = 18,53 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м.}$$

$$\sigma_{x \text{ ср}} = 17,94 \cdot 10^{-3} \cdot 0,434 + 18,53 \cdot 10^{-3} (1 - 0,434) = 18,27 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$$

Коефіцієнт дифузії при середній температурі визначаєм[1]:

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

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

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

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

Коефіцієнт дифузії при $20 \text{ }^\circ\text{C}$ розраховуємо по емпіричному рівнянню[1]:

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

де V_A і V_B – мольні об'єми компонентів А (бензолу) і В (бутіло-вого спирту), $\text{см}^3/\text{моль}$;

А, В – коефіцієнти, залежні від властивостей компонентів, $A = 1,0$; $U = 2,0$ [1, с. 269]:

$$b = \frac{0,2\sqrt{\mu}}{\sqrt[3]{\rho}} = \frac{0,2\sqrt{0,322}}{\sqrt[3]{791}} = 0,012$$

Мольні об'єми компонентів [1, с. 288]:

$$V_A = 14,8 \cdot 3 + 3,7 \cdot 6 + 7,4 = 74,0 \text{ см}^3/\text{атом};$$

$$V_B = 14,8 \cdot 2 + 3,7 \cdot 5 + 7,4 + 3,7 = 59,2 \text{ см}^3/\text{атом}.$$

$$D_{x(20)} = \frac{1 \cdot 10^{-6}}{1,0 \cdot 2,0 \cdot \sqrt{0,322} (74^{1/3} + 59,2^{1/3})^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{58} + \frac{1}{46}} = 2,654 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$$

$$D_{x(t)} = 2,654 \cdot 10^{-9} [1 + 0,012 (65,5 - 20)] = 4,103 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Парова фаза

Середня мольна концентрація в нижній частині колони:

$$y_{cp}^n = \frac{y_W + y_F}{2} = \frac{0,012 + 0,526}{2} = 0,269$$

Середня мольна концентрація у верхній частині колони:

$$y_{cp}^s = \frac{y_F + y_P}{2} = \frac{0,526 + 0,975}{2} = 0,751$$

Середня мольна концентрація по колоні:

$$y_{cp} = \frac{y_{cp}^n + y_{cp}^s}{2} = \frac{0,269 + 0,751}{2} = 0,51$$

Середня температура в нижній частині колони:

$$t_{y_{cp}}^n = 74,1^\circ\text{C}$$

Середня температура у верхній частині колони:

$$t_{y_{cp}}^s = 63,2^\circ\text{C}$$

Температури $t_{y_{cp}}^n$, $t_{y_{cp}}^s$ знайдені з діаграми $t - x$, y .

Середня температура по колоні:

$$t_{y_{cp}} = \frac{t_{y_{cp}}^n + t_{y_{cp}}^s}{2} = \frac{74,1 + 63,2}{2} = 68,6^\circ\text{C}$$

Середня мольна маса

$$M_{y_{cp}} = M_A \cdot y_{cp} + M_B \cdot (1 - y_{cp}) = 58 \cdot 0,51 + 46 \cdot (1 - 0,51) = 52,12 \text{ кг/кмоль}$$

Середня щільність:

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

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

$$\rho_{y_{cp}} = \frac{52,12}{22,4} \cdot \frac{1}{1,033} \cdot \frac{273}{(273 + 68,6)} = 1,8 \text{ кг/м}^3$$

Середня в'язкість [1]:

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

де μ_{yA} и μ_{yB} – динамічний коефіцієнт в'язкості пари компонента А (ацетон) і В (етиловий спирт).

$$\mu_{yA} = 0,94 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с при } t_{ycp} = 68,6 \text{ } ^\circ\text{C} [4, \text{ с. 8, 9}]:$$

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

$$\frac{52,12}{\mu_{ycp}} = \frac{0,51 \cdot 58}{0,94 \cdot 10^{-5}} + \frac{(1 - 0,51) \cdot 46}{1,1 \cdot 10^{-5}},$$

$$\mu_{ycp} = 1,082 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Коефіцієнт дифузії для парової фази визначаємо по рівнянню [1]:

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

де P - тиск кгс/см² (тиск в колоні атмосферний);

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

$$D_y = \frac{4,3 \cdot 10^{-7} \cdot 341,6^{3/2}}{1 \cdot (74^{1/3} + 59,2^{1/3})^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{58} + \frac{1}{46}} = 8,019 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}.$$

4.4 Вихідні дані для розрахунку

Тип колони – насадка з керамічними кільцями Рашига 25x25x3

мм, в яких вільний об'єм $\varepsilon = 0,74 \text{ м}^3/\text{м}^3$, а питома

поверхня $\sigma = 200 \text{ м}^2/\text{м}^3$.

Кількість вихідної суміші $G_f = 8000 \text{ кг/год}$; кількість дистилляту

$G_p = 3440,41 \text{ кг/г}$; кількість кубового залишку $G_w = 4559,59 \text{ кг/год}$; флегмовое число $R = 2,947$.

- середня щільність рідини $\rho_{xcp} = 743,73 \text{ кг/м}^3$;
- середня щільність пари по колоні $\rho_{ycp} = 1,8 \text{ кг/м}^3$;
- середня динамічна в'язкість рідини $\mu_{xcp} = 0,369 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$;
- середня динамічна в'язкість пари $\mu_{ycp} = 1,082 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}$;
- середня молекулярна маса рідини $M_{xcp} = 51,21 \text{ кг/кмоль}$;

- середня молекулярная маса парів $M_{y\text{cp}} = 52,12$ кг/кмоль.

4.5 Визначення робочої швидкості пари і діаметру колони

Швидкість пари, відповідна оптимальному режиму роботи насадочної ректифікаційної колони, визначаєм з наступного рівняння [6]:

$$Re'_y = 0,045 \cdot Ar^{0,57} \cdot \left(\frac{G_y}{G_x} \right)^{0,43}$$

Для вирішення цього рівняння визначимо:

$$Ar = \frac{g \cdot d_{\text{экв}}^3 \cdot (\rho_{x\text{cp}} - \rho_{y\text{cp}}) \cdot \rho_{y\text{cp}}}{\mu_{y\text{cp}}^2} =$$

$$= \frac{9,81 \cdot 0,0148^3 \cdot (743,73 - 1,8) \cdot 1,8}{(1,082 \cdot 10^{-5})^2} = 3,628 \times 10^8.$$

$$d_{\text{экв}} = \frac{4 \cdot \varepsilon}{\sigma} = \frac{4 \cdot 0,74}{200} = 0,0148 \text{ м.}$$

G_y – кількість пари

$$G_y = G_p (R + 1) = \frac{3440,41}{3600} (2,947 + 1) = 3,77 \text{ кг/с.}$$

G'_x – кількість рідини, що стікає у верхній частині колони

$$G'_x = G_p \cdot R = \frac{3440,41}{3600} \cdot 2,947 = 2,82 \text{ кг/с.}$$

G''_x – кількість рідини, що стікає в нижній частині колони

$$G''_x = G_p (R + F) = \frac{3440,41}{3600} \cdot (2,947 + 2,325) = 5,04 \text{ кг/с.}$$

$$F = \frac{G_f}{G_p} = \frac{8000}{3440,41} = 2,325.$$

З рівняння $Re'_y = 0,045 \cdot Ar^{0,57} \cdot \left(\frac{G_y}{G_x} \right)^{0,43}$ знаходимо оптимальну швидкість для

верхнього і нижнього перетину колони.

Для верхнього перетину:

$$Re'_y = 0,045 \cdot (3,628 \cdot 10^8)^{0,57} \cdot \left(\frac{3,77}{2,82} \right)^{0,43} = 3858,71.$$

З рівняння $Re'_y = \frac{4W_{онт}^6 \cdot \rho_{ycp}}{\sigma \cdot \mu_{ycp}}$ визначаю

$$W_{онт}^6 = \frac{Re'_y \cdot \sigma \cdot \mu_{ycp}}{4 \cdot \rho_{ycp}} = \frac{3858,71 \cdot 200 \cdot 1,082 \cdot 10^{-5}}{4 \cdot 1,8} = 1,16 \text{ м/с.}$$

По знайдений $W_{онт}^B$ знаходимо діаметр колони у верхньому перерізі:

$$D_{\kappa}^6 = \sqrt{\frac{V_y^6}{0,785 \cdot W_{онт}^6}} = \sqrt{\frac{2,097}{0,785 \cdot 1,16}} = 1,518 \text{ м.}$$

$$V_y^6 = \frac{G_y}{\rho_{ycp}} = \frac{G_p(R+1)}{\rho_{ycp}} = \frac{3440,41 \cdot (2,947+1)}{3600 \cdot 1,8} = 2,096 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Для нижнього перерізу:

$$Re'_y = 0,045 \cdot (3,628 \cdot 10^8)^{0,57} \cdot \left(\frac{0,758}{5,04}\right)^{0,43} = 1508.$$

Кількість пари в нижньому перерізі колони знаходимо з співвідношення:

$$\frac{G_y}{M_{C_3H_6O}} = \frac{X}{M_{C_2H_5OH}}; \quad X = \frac{G_y \cdot M_{C_2H_5OH}}{M_{C_3H_6O}} = \frac{3440,41}{3600} \cdot \frac{46}{58} = 0,758 \text{ кг/с.}$$

З рівняння $Re'_y = \frac{4W_{онт}^6 \cdot \rho_{ycp}}{\sigma \cdot \mu_{ycp}}$ визначаємо

$$W_{онт}^H = \frac{1508 \cdot 200 \cdot 1,082 \cdot 10^{-5}}{4 \cdot 1,8} = 0,453 \text{ м/с.}$$

По знайдений $W_{онт}^H$ знаходимо діаметр колони в нижньому перетині:

$$D_{\kappa}^H = \sqrt{\frac{V_y^H}{0,785 \cdot W_{онт}^H}} = \sqrt{\frac{1,66}{0,785 \cdot 0,453}} = 2,161 \text{ м.}$$

$$V_y^H = V_y^6 \cdot \frac{M_{C_2H_5OH}}{M_{C_3H_6O}} = \frac{2,096 \cdot 46}{58} = 1,66 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Приймаємо стандартний діаметр колони $D_{\kappa} = 1,8 \text{ м}$

Уточнюємо швидкість пари по колону після прийняття $D_{\kappa} = 1,8 \text{ м}$

$$W_y^6 = \frac{V_y^6}{0,785 \cdot D_{\kappa}^2} = \frac{2,096}{0,785 \cdot 1,8^2} = 0,824 \text{ м/с.}$$

$$W_y'' = \frac{V_y''}{0,785 \cdot D_K^2} = \frac{1,66}{0,785 \cdot 1,8^2} = 0,653 \text{ м/с.}$$

4.6 Визначення висоти шари насадки через ВЕП і ЧЕП

$$H_{\text{нас}} = \text{ВЕП} \cdot \text{ЧЕП.}$$

Висота одиниці перенесення ВЕП рівна [4]:

$$\text{ВЕП} = 28,6 \cdot d_{\text{эКВ}} \cdot \text{Re}_y^{0,2} \cdot (Rr_y')^{0,65}.$$

Враховуючи, що в насадочній ректифікаційній колоні кількість стікаючої рідини у верхній частині колони – G_x' (флегма), а кількість стікаючої рідини в нижній частині колони – G_x'' (флегма + вихідна суміш), висота насадки визначається: $H_{\text{нас}} = H_{\text{в.ч.к.}} + H_{\text{н.ч.к.}}$.

$H_{\text{в.ч.к.}}$ – висота насадки верхньої частини колони, м

$$H_{\text{в.ч.к.}} = \text{ВЕП}_{\text{в.ч.к.}} \cdot \text{ЧЕП}_{\text{в.ч.к.}}$$

$H_{\text{н.ч.к.}}$ – висота насадки нижньої частини колони, м

$$H_{\text{н.ч.к.}} = \text{ВЕП}_{\text{н.ч.к.}} \cdot \text{ЧЕП}_{\text{н.ч.к.}}$$

Для верхньої частини колон

$$\text{Re}_y = \frac{4W_y'' \cdot \rho_{ycp}}{\sigma \cdot \mu_{ycp}} = \frac{4 \cdot 0,824 \cdot 1,8}{200 \cdot 1,082 \cdot 10^{-5}} = 2742.$$

$$\text{Pr}_y' = \frac{\mu_{ycp}}{\rho_{ycp} \cdot D_y} = \frac{1,082 \cdot 10^{-5}}{1,8 \cdot 8,019 \cdot 10^{-6}} = 0,75.$$

D_y - коефіцієнт дифузії парової фази

$$D_y = \frac{4,3 \cdot 10^{-7} \cdot T^{3/2}}{P \cdot \left(\vartheta_A^{1/3} + \vartheta_B^{1/3} \right)^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}} \text{ м}^2/\text{с}$$

Чисельне значення коефіцієнта дифузії парової фази рівне:

$$D_y = 8,019 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с.}$$

$$\text{ВЕП}_{\text{в.ч.к.}} = 28,6 \cdot 0,0148 \cdot 2742^{0,2} \cdot 0,75^{0,65} = 1,71 \text{ м.}$$

Таблиця 4.2 – Для графічної інтеграції (визначення ЧЕП)

№	x	y*	y	y*-y	1/(y*-y)
1	0,012	0,041	0,012	0,029	34,48

2	0,1	0,26	0,14	0,12	8,33
3	0,2	0,42	0,28	0,14	7,14
4	0,3	0,52	0,42	0,1	10,00
5	0,4	0,61	0,55	0,06	16,67
6	0,5	0,67	0,62	0,05	20,00
7	0,6	0,74	0,70	0,04	25,00
8	0,7	0,80	0,77	0,03	33,33
9	0,8	0,87	0,84	0,03	33,33
10	0,9	0,93	0,92	0,01	100,00
11	0,975	0,98	0,975	0,005	200,00

Число одиниць перенесення верхньої частини колони $\text{ЧЕП}_{\text{в.ч.к.}} = 21,42$

визначаємо з графіку в координатах $\frac{1}{y^* - y}$ як функцію "y" в межах $y_f - y_p$, де

$y_f = 0,526$ и $y_p = 0,975$.

Тоді висота верхньої частини колони $\text{Нв.ч.к.} = 1,71 + 21,42 = 23,13$ м.

Для нижньої частини колони

$$\text{Re}_y = \frac{4W_y^H \cdot \rho_{ycp}}{\sigma \cdot \mu_{ycp}} = \frac{4 \cdot 0,653 \cdot 1,8}{200 \cdot 1,082 \cdot 10^{-5}} = 2173$$

$$\text{Pr}'_y = \frac{\mu_{ycp}}{\rho_{ycp} \cdot D_y} = \frac{1,082 \cdot 10^{-5}}{1,8 \cdot 8,019 \cdot 10^{-6}} = 0,75,$$

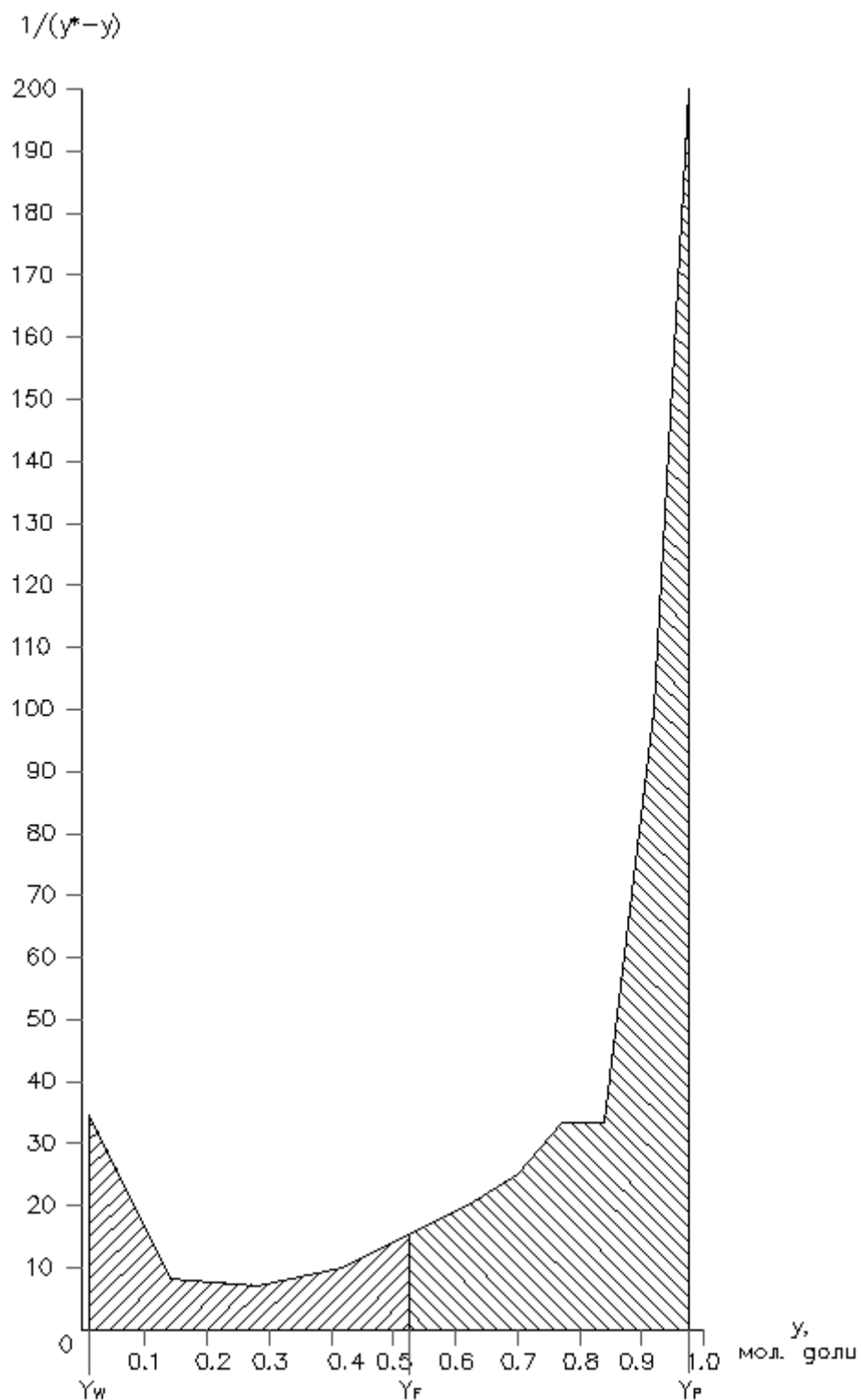


Рис. 4.3 – до визначення числа одиниць переносу

D_y - коефіцієнт дифузії парової фази.

$$D_y = \frac{4,3 \cdot 10^{-7} \cdot T^{3/2}}{P \cdot (\vartheta_A^{1/3} + \vartheta_B^{1/3})^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}}, \text{ м}^2/\text{с}.$$

Чисельне значення коефіцієнта дифузії парової фази рівне:

$$D_y = 8,019 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}.$$

$$БЕП_{н.ч.к.} = 28,6 \cdot 0,0148 \cdot 2173^{0,2} \cdot 0,75^{0,65} = 1,63 \text{ м}.$$

Число одиниць перенесення нижньої частини колони ЧЕП_{н.ч.к.} = 6,37 визначаю з графіку в координатах $\frac{1}{y^* - y}$ як функцію "у" в межах $y_w - y_f$, где $y_w = 0,012$ и $y_f = 0,526$.

$$\text{Тоді висота нижньої частини колони } H_{н.ч.к.} = 1,63 \cdot 6,37 = 8 \text{ м}.$$

Висота шару насадки, що отримується при розрахунку через ЧЕП і БЕП буде рівна

$$H_{нас} = H_{в.ч.к.} + H_{н.ч.к.} = 23,13 + 8 = 31,31 \text{ м}.$$

Загальну висоту колони ректифікації визначаємо по рівнянню:

$$H_{кол} = h \cdot n + (n - 1) \cdot h_p + h_b + h_n,$$

де h - висота насадки в одній секції, м;

n - число секцій;

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

Діаметр колони (D_k), мм	h_p , м
до 1800	150
при 2000 ÷ 2200	180
при 2400 ÷ 2800	200

h_b і h_n - відповідно висота простору сепарації над насадкою і відстань між днищем колони і насадкою, м.

Значення h_b і h_n вибираємо відповідно до рекомендації.

Діаметр колони (D_k), мм	h_b , мм	h_n , мм
400 ÷ 1000	600	1500
1200 ÷ 2200	1000	2000
2400 и більше	1400	2500

Висота шару насадки однієї секції, яка з умови міцності опорних ґрат і нижніх шарів насадки, а також з умови рівномірного розподілу рідини по насадці не повинна перевищувати 3 м;

$$n = 31,31 / 3 = 10,44 \text{ приймаємо } 10 \text{ секцій.}$$

Загальна висота колони рівна:

$$H_{\text{кол}} = 3 \cdot 10 + (10 - 1) \cdot 0,15 + 1 + 2 = 34,35 \text{ м.}$$

4.7 Гідравлічний опір шару зрошуваної насадки

Гідравлічний опір визначаємо по рівнянню:

$$\Delta P_{\text{нас}} = \lambda \cdot \frac{H_{\text{нас}}}{d_{\text{экв}}} \cdot \frac{W^2}{2} \cdot \rho_{\text{ycp}} = \lambda \cdot \frac{H_{\text{нас}} \cdot \sigma \cdot W_y^2}{8\varepsilon^3} \cdot \rho_{\text{ycp}}, \text{ Н/м}^2,$$

λ – коефіцієнт опору зрошуваної насадки

$$\lambda = \lambda_{\text{сух}} \cdot m$$

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

m – коефіцієнт зрошування.

За розрахункову швидкість W_y приймаю $w_y^H = 0,653 \text{ м/с.}$

$$\text{При } Re_y < 40; \quad \lambda_{\text{сух}} = \frac{140}{Re_y}$$

$$\text{при } Re_y > 40; \quad \lambda_{\text{сух}} = \frac{16}{Re_y^{0,2}}$$

$$\lambda_{\text{сух}} = \frac{140}{2173} = 0,064.$$

$$Re_y = \frac{4W_y \cdot \rho_{\text{ycp}}}{\sigma \cdot \mu_{\text{ycp}}} = \frac{4 \cdot 0,653 \cdot 1,8}{200 \cdot 1,082 \cdot 10^{-5}} = 2173.$$

Коефіцієнт зрошування насадки " m " визначу по формулі для керамічних кілець для нижньої частини колони

$$m = \frac{1}{(1,13 - 1,43 \cdot A)^3},$$

$$\text{де } A = 3 \cdot \sqrt[3]{\frac{b}{2g} \left(\frac{G_x}{\rho_x} \right)^2 \cdot \frac{\sigma}{\varepsilon^3}}; \quad b = \frac{1,75}{Re_x^{0,3}}$$

$$\text{Re}_x = \frac{4W_x \cdot \rho_{x\text{cp}}}{\sigma \cdot \mu_{x\text{cp}}}; \quad W_x = \frac{V_x}{F_{\text{кол}}}.$$

$$W_x = \frac{G_x''}{\rho_{x\text{cp}} \cdot 0,785 \cdot D_{\kappa}^2} = \frac{G_p(R+F)}{\rho_{x\text{cp}} \cdot 0,785 \cdot D_{\kappa}^2} = \frac{5,04}{743,73 \cdot 0,785 \cdot 1,8^2} = 0,003 \text{ м/с}$$

$$\text{Re}_x = \frac{4 \cdot 0,003 \cdot 743,73}{200 \cdot 0,369 \cdot 10^{-3}} = 120,93$$

$$b = \frac{1,75}{\text{Re}_x^{0,3}} = \frac{1,75}{120,93^{0,3}} = 0,415.$$

$$A = 3 \cdot \sqrt[3]{\frac{b}{2g} \left(\frac{G_x''}{\rho_{\text{cp}x}} \right)^2 \cdot \frac{\sigma}{\varepsilon^3}} = 3 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,415}{2 \cdot 9,81} \left(\frac{5,04}{743,73} \right)^2 \cdot \frac{200}{0,74^3}} = 0,235$$

$$m = \frac{1}{(1,13 - 1,43 \cdot A)^3} = \frac{1}{(1,13 - 1,43 \cdot 0,235)^3} = 1,998$$

$$\lambda = \lambda_{\text{сyx}} \cdot m = 0,064 \cdot 1,998 = 0,127$$

$$\Delta P_{\text{кол}} = 0,064 \cdot \frac{31,31 \cdot 200 \cdot 0,653^2}{8 \cdot 0,74^3} \cdot 1,8 = 145,31 \text{ Па}$$

4.8 Визначення діаметру штуцерів

Діаметр штуцера визначаєм по рівнянню

$$d = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot W}}$$

Штуцер входу флегми:

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

$$V_{\phi} = \frac{G_{\phi}}{\rho_A} = \frac{G_p \cdot R}{\rho_A} = \frac{3440,41 \cdot 2,941}{3600 \cdot 750,18} = 3,747 \times 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Оскільки швидкості потоку приймаємо орієнтування, то можна прийняти щільність флегми, як щільність бензолу: $\rho_A = 750,18 \text{ кг/м}^3$ при $t_{\text{хр}} = 56,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Приймаємо $W_F = 0,5$ м/с, тоді

$$d = \sqrt{\frac{3,747 \times 10^{-3}}{0,785 \cdot 0,5}} = 0,098 \text{ м.}$$

Стандартний розмір труби для виготовлення штуцера $\varnothing 108 \times 4$ мм, [2, с. 17].

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 $t_{XF} = 64,1$ °С

$$\rho_F = \frac{740,1 \cdot 750,1}{750,1 \cdot 0,43 + (1 - 0,43) \cdot 740,5} = 745,94 \text{ кг/м}^3,$$

$$V_F = \frac{8000}{3600 \cdot 745,94} = 2,979 \times 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с.}$$

Приймаю $W_F = 0,8$ м/с, тогдa

$$d = \sqrt{\frac{2,979 \times 10^{-3}}{0,785 \cdot 0,8}} = 0,069 \text{ м.}$$

Стандартний розмір труби для виготовлення штуцера $\varnothing 90 \times 4$ мм, [2, с. 17].

Штуцер виходу кубового залишку:

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

$$V_W = \frac{G_W}{\rho_W} = \frac{4559,59}{3600 \cdot 737,4} = 1,718 \times 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с.}$$

$\rho_W = 737,4$ кг/м³ – щільність оцтової кислоти при 77,5 °С.

Приймаємо $W_W = 0,3$ м/с, тоді

$$d = \sqrt{\frac{1,718 \times 10^{-3}}{0,785 \cdot 0,3}} = 0,085 \text{ м.}$$

Стандартний розмір труби для виготовлення штуцера Ø95x5 мм, [2, с. 16].

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

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

$$V_{\text{к.жс}} = \frac{G_F + G_\Phi - G_W}{\rho_B} = \frac{8000 + 3440,41 \cdot 2,947 - 4559,59}{3600 \cdot 737,4} = 5,115 \times 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с.}$$

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

$$d = \sqrt{\frac{5,115 \times 10^{-3}}{0,785 \cdot 0,3}} = 0,147 \text{ м.}$$

Стандартний розмір труби для виготовлення штуцера Ø159x4,5мм, [2, с. 17].

Штуцер виходу пари з колони:

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

$$V_y = \frac{G_y}{\rho_{y \text{ ср}}} = \frac{G_p \cdot (R+1)}{\rho_{y \text{ ср}}} = \frac{3440,41 \times (2,947+1)}{3600 \cdot 1,8} = 2,096 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Приймаю $W_y = 15 \text{ м/с}$, тоді

$$d = \sqrt{\frac{2,096}{0,785 \cdot 15}} = 0,422 \text{ м.}$$

Стандартний розмір труби для виготовлення штуцера Ø426x11 мм.,

4.9 Теплові розрахунки

4.9.4 Кип'ятильник

Кількість теплоти Q_K , яке потрібно подати в куб колони, визначається з рівняння теплового балансу колони :

$$Q_K = Q_D + G_P \cdot C_P \cdot t_{Xp} + G_W \cdot C_W \cdot t_{Xw} - G_F \cdot C_F \cdot t_{XF} + Q_{\text{пот}}.$$

Теплові втрати приймаю 3% від теплоти, що корисно витрачається; питомі теплоємності узяті відповідно при $t_{Xp} = 56,2^\circ\text{C}$, $t_{XF} = 64,1^\circ\text{C}$, $t_{Xw} = 77,5^\circ\text{C}$.

$$C_P = a_P \cdot C_A + (1 - a_P) \cdot C_B = 0,98 \cdot 0,547 + (1 - 0,98) \cdot 0,697 = 0,55 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} = 2304,5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$

$$C_F = a_F \cdot C_A + (1 - a_F) \cdot C_B = 0,43 \cdot 0,553 + (1 - 0,43) \cdot 0,721 = 0,649 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} = 2719,31 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$

$$C_W = a_W \cdot C_A + (1 - a_W) \cdot C_B = 0,015 \cdot 0,564 + (1 - 0,015) \cdot 0,720 = 0,718 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} = 3008,42 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$

$$Q_K = 1,03 \cdot (1,999 \cdot 10^6 + \frac{3440,41}{3600} \cdot 2304,5 \cdot 56,2 + \frac{4559,59}{3600} \cdot 3008,42 \cdot 77,5 - \frac{8000}{3600} \cdot 2719,31 \cdot 64,1) = 2,092 \cdot 10^6 \text{ Вт}.$$

Витрата гріючої пари при $P = 6,0$ ата:

$$G_{\text{г.п.}} = \frac{Q_K}{r} = \frac{2,092 \cdot 10^6}{2095 \cdot 10^3} = 0,999 \text{ кг/с}.$$

Середня різниця температур дорівнює різниці між температурою насиченої пари при $P = 6$ ата і температурою кипіння кубового залишку :

$$\Delta t_{cp} = 158,1 - 77,5 = 80,6^\circ\text{C}.$$

При орієнтовно прийнятому коефіцієнті теплопередачі $K = 2000$ Вт/м²·К, [2, с. 47] поверхня кип'ятильника складе:

$$F = \frac{Q_K}{K \cdot \Delta t_{cp}} = 2, \frac{2,092 \cdot 10^6}{2000 \cdot 80,6} = 12,978 \text{ м}^2.$$

Приймаємо одноходовий кожухотрубчастий теплообмінник із наступними характеристиками [2, с. 51]:

- діаметр кожуха 325 мм;
- труба 25х2 мм;
- кількість труб в теплообміннику 56 шт;
- довжина труб 3,0 м;
- поверхня теплообміну 13 м^2 .

5 РОЗРАХУНКИ НА МІЦНІСТЬ ЕЛЕМЕНТІВ КИП'ЯТИЛЬНИКА

5.1 Початкові дані:

Наружний діаметр кожуха D , мм	325
Довжина теплообмінних труб l , мм	3000
Зовнішній діаметр теплообмінної труби d_t , мм	20
Товщина стінки труби S_t , мм	2
Число ходів по трубах	1
Розрахунковий тиск в трубному просторі, МПа	1,6
Розрахунковий тиск в міжтрубному просторі, МПа	1,6
Розрахункова температура труб, °С	100
Розрахункова температура кожуха, °С	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 $t_{\text{кам}}$, °С, визначаємо за формулою:

$$t_{кам} = 2 \cdot t_m - t_{\kappa} \quad (5.1)$$

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

Розрахункову температуру ізолюваних фланців визначаємо за формулою:

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

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

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

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

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

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

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

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

$$t_{\delta} = 0,97 \cdot t_{кам}$$

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

Розрахункова температура болтів фланцевих з'єднань штуцерів міжтрубного простору:

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

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

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 16ГС	196	169,8	1,154
Перегородки	Ст3сп	154	149	1,0336
Фланці розподільної камери	Ст3сп	154	149	1,0336
Фланці кожуха	Сталь 16ГС	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 $P_к=1,6$ 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,
 $P_t=1,6$ МПа, $P_k=1,6$ МПа;

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

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

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

Гідростатичний тиск при випробуванні трубного простору теплообмінника

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

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

Гідростатичний тиск при випробуванні

$$P_{г\ m} = 0,036 \text{ МПа} \leq 0,05 P_{np\ m} = 0,05 \cdot 2,1 = 0,1 \text{ МПа}; \quad (5.7)$$

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

$$P_{г\ m} = P_{np\ m} = 2,1 \text{ МПа}$$

Умова

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

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

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

Гідростатичний тиск при випробуванні міжтрубного простору

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

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

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

Умова

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

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:

$$C_p = C_1 + C_2 + C_3, \quad (5.9)$$

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 додатки 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 елементу 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 днаща

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

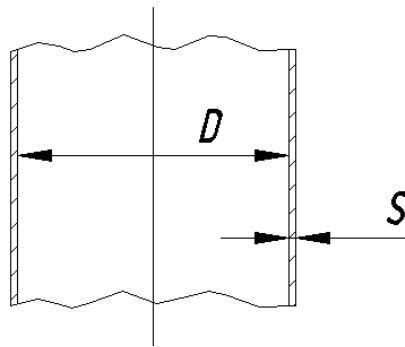


Рис. 5.1 - циліндрична обичайка

Розрахункова товщина стінки апарату визначається за формулою

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

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

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

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

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 $S=8 \text{ мм}$.

Визначення допустимого надлишкового тиску

Для набутого значення S розраховуємо допустимий внутрішній надлишковий тиск за формулою

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

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

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

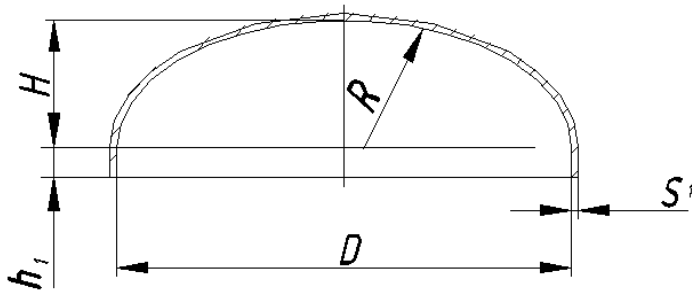


Рис. 5.2 - еліптичне днище

Розрахункова товщина стінки днища камери визначається за формулою

$$S_{ip} = \frac{P_t \cdot R}{2 \cdot [\sigma]_t \cdot \phi_p - 0,5 \cdot P_t}, \quad (5.17)$$

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

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

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

$[\sigma]_t$ - допустима напружина для матеріалу днища при розрахунковій температурі, $[\sigma]_m = 149$ МПа;

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

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

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

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

При цьому повинна виконуватися умова (5.15)

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

Перевірка умов застосування розрахункових формул

Розрахункові формули для еліптичних днищ застосовуються при виконанні умов

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

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

де H – висота опуклої частини днища, $H=77$ 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 трубних решіток повинна забезпечувати можливість кріплення труб в решітках. Для решіток, в яких кріплення теплообмінних труб проводиться розвальцюванням або зваркою з подальшим розвальцюванням, прийнята товщина решітки повинна забезпечувати міцність і гарантований тиск герметизації вальцювального з'єднання, а також

невикривлення решітки при розвальцьовуванні труб. Мінімальна товщина трубних решіток прийнята з цих міркувань:

$$S_p = 24 \text{ мм}$$

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

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

(5.21)

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

$$S_{pp} = 0,5 D_e \sqrt{P/[\sigma]_p} \quad (5.22)$$

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

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

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

5.6 Розрахунок лінзового компенсатора

5.6.1 Умови застосування розрахункових формул

Розрахункові формули застосовні, якщо виконуються умови:

$$\frac{S_l}{d_n} \leq 0,035; \quad 1,08 \leq \frac{D_l}{d_n} \leq 3,00; \quad \frac{2r}{D_l - d_n} \leq 0,4 \quad (5.23)$$

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

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

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

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

5.6.2 Визначення допоміжних величин

Розрахунковий діаметр западини хвилі компенсатора визначають за формулою

$$d_1 = d_n - S_n \quad (5.24)$$

$$d_1 = 325 - 4 = 321 \text{ мм}$$

Розрахунковий діаметр гребеня хвилі компенсатора визначають за формулою

$$d_2 = D_n - S_n \quad (5.25)$$

$$d_2 = 475 - 4 = 471 \text{ мм}$$

Середній радіус тороїдального переходу хвилі компенсатора розраховують за формулою

$$r_s = 0,5 (2 r + S_n) \quad (5.26)$$

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

Допоміжну величину впливу переходу розраховують за формулою

$$\rho_n = 2 - 100 \frac{r_s}{d_1 + d_2} \quad (5.27)$$

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

Розрахункову ширину пластинчастої зони хвилі компенсатора розраховують за формулою

$$b_n = 0,5 (d_2 - d_1 + \rho_n \cdot r_s) \quad (5.28)$$

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

Радіус закруглення пластинчастої зони хвилі компенсатора визначають за формулою

$$R_o = 0,25 (d_2 + d_1 - 2 b_n) \quad (5.29)$$

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

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

$$d_{cp} = 0,5 (d_2 + d_1) \quad (5.30)$$

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

Характеристики хвилі визначають за формулами:

$$\xi = \frac{d_2}{d_1} - 1 \quad (5.31)$$

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

$$\eta = \frac{d_2 - d_1}{2 r_s} - 2 \quad (5.32)$$

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

$$\alpha = S_n / d_1 \quad (5.33)$$

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

$$\lambda = b_n / R_o \quad (5.34)$$

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

$$\gamma = 1 + 1,25 \frac{d_2}{d_1} - \frac{3,2 r_s}{d_2 - d_1} \quad (5.35)$$

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

5.6.3 Розрахунок компенсатора на міцність

Виконавчу товщину стінки компенсатора S_n , мм, розраховують за формулою

$$S_n \geq S_{np} + C_n \quad (5.36)$$

S_{np} — розрахункова товщина стінки компенсатора, мм;

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

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

Розрахункову товщину стінки компенсатора визначають за формулою

$$S_{np} = S_4 \cdot \sqrt{0,5 + \sqrt{0,25 + (S_3 / S_4)^4}} \quad (5.37)$$

де

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

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

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

$$S_4 = \frac{1,6 \cdot 396}{2 \cdot 151 \cdot 1} \cdot \frac{80}{471 - 321 + 2 \cdot 5 + 2,3 \cdot 16} = 0,8 \text{ мм}$$

Позначення в формулах (5.36)-(5.38):

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

L – виконавча довжина компенсатора, мм;

l_κ – приєднувальна довжина циліндричної частини компенсатора, мм;

φ – коефіцієнт міцності подовжнього зварного шва компенсатора.

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

Виконавчу товщину стінки компенсатора розраховують за формулою

$$S_n \geq S_{np} + C_n \quad (5.40)$$

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

Приймаємо:

$$S_n = 4 \text{ мм}$$

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

$$[P]_n = \frac{[P]_l}{\sqrt{1 + \left(\frac{[P]_l}{[P]_2}\right)^2}} \quad (5.41)$$

де

$$[P]_l = 16 \left(\frac{S_n - C_n}{d_2 - d_1 - \gamma \cdot r_s} \right)^2 \cdot [\sigma]_n \quad (5.42)$$

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

$$[P]_2 = \frac{2 [\sigma]_n \cdot \varphi \cdot (S_n - C_n)}{d_{cp}} \cdot \frac{d_2 - d_1 + 2 l_\kappa + 2,3 r_s}{L} \quad (5.43)$$

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

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

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

$$\Delta = l \cdot |[\alpha_k \cdot (t_k - t_0) - \alpha_m \cdot (t_m - t_0)]| \quad (5.44)$$

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

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

l – довжина труб, мм $l = 3000$ мм

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

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

$$\Delta = 3000 \cdot | [12 \cdot 10^{-6} \cdot (160 - 20) - 11,6 \cdot 10^{-6} \cdot (100 - 20)] | = 2,2 \text{ мм}$$

За додатком визначаємо компенсуючу здатність однієї лінзи компенсатора при загальному числі циклів навантаження $N = 10^3$, $\Delta_n = 3$ мм

Необхідне число лінз в компенсаторі розраховуємо за формулою

$$n_n = \frac{\Delta}{\Delta_n} = \frac{2,2}{3} = 0,73$$

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

Жорсткість компенсатора визначаємо за додатком, $C_a = 12200$ Н.

6 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ КИП'ЯТИЛЬНИКА

6.1 Виготовлення основних елементів апарата

6.1. Виготовлення обичайок

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

Для виготовлення обичайки спочатку виконується наступні операції.

Різання заготівок

Операція різання потрібна для розкрою заготівок згідно з заданою розгорткою і полягає у відділенні частини матеріалу від початкового листа з метою отримання заготівок, для видалення зайвого припуску в деталях або підготовки їх кромek під зварювання.

Операції різання здійснюють методами механічного (холодною) і термічного різання.

Механічне різання

Механічне різання здійснюється без зняття стружки на гільйотин і дискових ножицях, а також на ножицях для різання сортового прокату. Різання зі зняттям стружки виконується на металорізальних верстатах і дисковими пилами.

Після різання, вирубування і свердління по краях оброблюваних деталей залишаються задирки і інші нерівності. Їх усувають за допомогою обрубкування або обпилювання.

Різання на ножицях має найвищу продуктивність. Проте застосування цього виду різання можливе тільки до товщини 60 мм. Вартість устаткування

для холодного різання зі збільшенням товщини прокату різко зростає.

У апаратобудуванні широко застосовуються гільйотинні ножиці з паралельними і похилими ножами (рис. 6.1).

Різання відбувається за рахунок розвитку ножами напруги зрізання. Зусилля для розвитку зрізання металу P_c визначається за формулою

$$P_c = \tau \cdot F, \quad (6.1)$$

де τ – межа міцності матеріалу на зріз;

F – площа різання.

$$\tau = (0,7 - 0,8) \cdot \sigma_s, \quad (6.1)$$

де σ_s – межа міцності на розтягування.

Враховуючи збільшення сили тертя із-за зносу ножів і наявний проміжок між ними, необхідне P_c вибирають в 1,5-1,8 разу більше за розрахунковий.

У машинобудівній практиці використовують ножиці двох типів: з похилими і прямими ножами. Вибір типу ножиць залежить від товщини заготовки S . Цей геометричний параметр також визначає проміжок b між ножами.

S до 10 мм – $b = 0,07$ мм;

S від 10 до 20 мм – $b = 0,08$ мм;

S від 20 до 24 мм – $b = 0,1$ мм.

Наявність проміжку між ножами призводить до вигину заготовки, що, у свою чергу, викликає ушкодження металу на кромках. Утворюються розвинені тріщини наклепаного шару. Тому після різання передбачається зняття пошкодженого шару на металорізальних верстатах. Припуск на механічну обробку складає $0,25 \cdot S$, але не менше 3 мм.

Якщо після різання на ножицях робиться зварювання, то механічна обробка є обов'язковою, оскільки наклепані кромки проплавляються разом з металом шва.

Для різання листів з утворенням скошених кромek застосовують похилі плити. Кут нахилу має бути не більше $25 - 30^\circ$ щоб уникнути зісковзування

листів.

Окрім гільйотин в апаратобудуванні застосовуються дискові ножиці і ножиці для різання сортового прокату. Дискові ножиці мають ножі круглої форми. За способом розташування ножів вони діляться на три типи (рис. 6.2):

- з прямим розташуванням ножів (а),
- з одним похило розташованим ножем (б),
- з двома похило розташованими ножами (в).

Різання на гільйотинних ножицях повинне забезпечувати отримання геометричних розмірів заготовки відповідно до вимог табл. 6.1-6.4 непаралельність і не перпендикулярність обрізуваних кромek допускається в межах допуску на розмір.

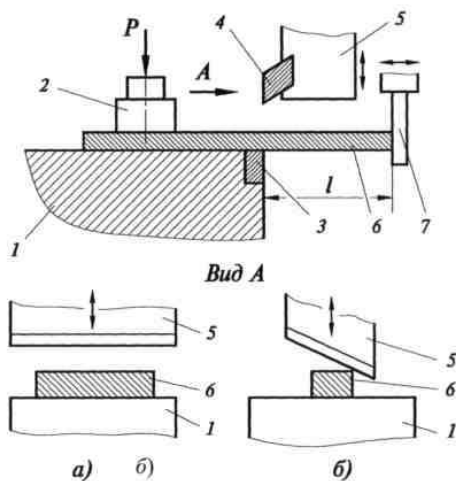


Рис. 6.1. Схеми роботи гільйотинних ножиць

а – з паралельними ножами; б – з похилими ножами;

1 – стіл; 2 – притиски пневматичні; 3 – нижній ніж; 4 – верхній ніж; 5 – рухлива траверси; 6 – заготівля; 7 – упор

При механічному різанні двошарових сталей лист кладуть плакувальною стороною догори. Перед різанням рекомендується очистити ножі від іржі і забруднень, кріпити листи необхідно із застосуванням мідних або алюмінієвих прокладок.

При різанні гільйотинними ножицями на кромці різі з'являються зони наклепу, що викликає при зварюванні старіння сталі. Рекомендується здійснювати обробку вогневим різанням, струганням або фрезеруванням.

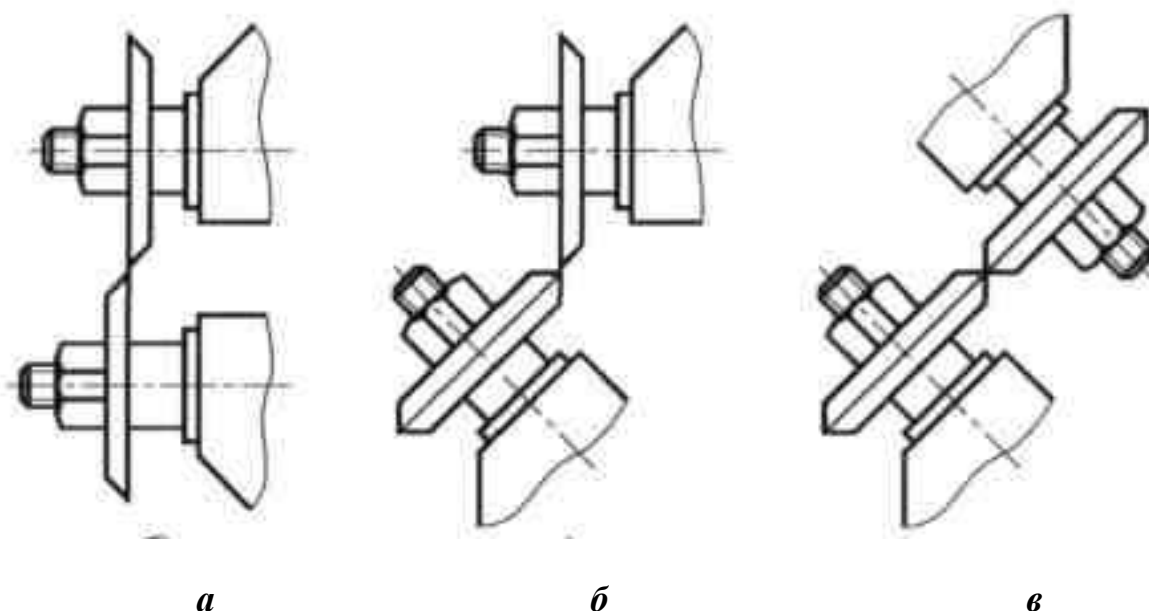


Рис. 6.2. Типи дискових ножиць

Таблиця 6.1 Допуск на розмір заготівлі при різанні на гільйотинних ножицях

Розміри в міліметрах

Товщина заготівки	Довжина лінії різі		
Від 6 до 12 Понад 12» 24	До 1000	Св. 1000 до 4000	Св. 4000
	Допуск на розмір заготівки		
	±1,5	±2,5	±3,0
	±2,0	±3,5	±4,5

» 24	±3,0	±4,0	±5,0
------	------	------	------

Таблиця 6.2 Допустима різниця діагоналей

Розміри в міліметрах

Довжина заготівлі	Максимально допустима різниця діагоналей
До 4000	3
Понад. 4000	4
до 8000	5
Понад. 8000	

З числа термічних способів різання в апаратобудувальних цехах найширше поширення знаходить кисневе різання (рис. 6.3).

Таблиця 6.3 Величина скосу кромки, що допускаються, після механічного різання

Розміри в міліметрах

Товщина листа S	Величина скосу кромки
Від 8 до 12	1.0
» 14 » 24	2,0
» 26 » 36	2,5

Таблиця 6.4 Величина викиду, що допускається

Розміри в міліметрах

Товщина листа S	Величина вириву
Від 8 до 16	0,5
» 16 » 26	1,0
» 26 » 36	1,3

Кисневе різання ґрунтоване на тому, що метал, що розрізають, підігрівається до температури, при якій він згорає в струмені кисню. Згорання металу представляє хімічний процес. Процес здійснюється з виділенням тепла. Продукти окислення викидаються під дією кінетичної енергії струменя кисню. В якості горючих газів застосовуються ацетилен, пропан, природний газ. При різанні близько 70 % тепла виділяється при згоранні металу в кисні і тільки 30 % підводиться від підігріваючого полум'я.

Припуски на обробку. Шар металу, що окислюється і згорає при різанні C , мм, визначається за формулою

$$C = 2 + 0,025 \cdot S, \quad (6.2)$$

де S – товщина заготовки, мм.

Припуск на обробку після кисневого різання Z_H , мм, визначають за формулою

$$Z_H = H_{cp} + m + e, \quad (6.3)$$

де H_{cp} – середня висота нерівностей після кисневого різання.

m – протяжність зони термічного впливу зі зміненою структурою, її величина залежить від хімічного складу сталі і параметрів різання.

e – відхилення від прямолінійності

У інженерних розрахунках H_{cp} визначається як

$$H_{cp} = 0,1 + 0,01 \cdot S \text{ мм};$$

Визначається по наступній залежності: $m = 0,625 + 0,03 \cdot S$ мм; За даними практики, $e = 0,1 + 0,02 \cdot S$ мм. Звідси

$$Z_H = 0,825 + 0,06 \cdot S. \quad (6.4)$$

Практично Z_H приймається не менше 3 мм.

Кисневе різання застосовується для розкрою низьколегованих, а іноді середньолегованих сталей, що мають феритно-перлитну структуру.

Киснево-флюсове різання. Суть полягає в тому, що в струмінь різального кисню додатково подається порошкоподібний флюс.

Флюс складається із залізного порошку (65-95 %) і спеціальних добавок: ферофосфору, алюмінієвого порошку, окалини і кварцевого піску.

Флюс, що подається до місця різу, при згоранні виділяє додаткову кількість тепла, теплова потужність полум'я збільшується більш ніж в два рази, що сприяє розплавленню тугоплавких оксидів.

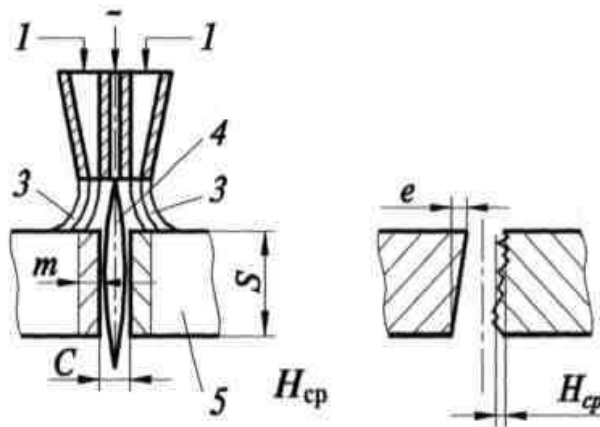


Рис. 6.3. Схема кисневого різання:

1 – горючий газ + кисень; 2 – різальний кисень; 3 – підігріваче полум'я (1000-1200 °C); 4 – різальне полум'я; 5 – заготовка

Повітряно-дугове різання належить до газоелектричних способів різання. Суть полягає в розплавленні металу 1 в місці різу теплом електричної дуги, що горить між вугільним або графітним електродом 2 і металом 1, з безперервним видаленням рідкого металу струменем стислого повітря 3. Таким чином, спосіб ґрунтований на спільній дії тепла дуги і потоку стислого повітря, кінетична енергія якого сприяє видаленню продуктів згорання.

При різанні застосовують постійний струм зворотної полярності. Тиск повітря в межах 0,5 МПа. Поверхня металу в місці розрізу виходить досить рівною і гладкою.

Повітряно-дуговий спосіб може бути використаний для поверхневого і роздільного різання нержавіючих сталей, чавуну, латуні, важко-окислюваних сплавів завтовшки до 20-25 мм.

Використовується також для вирізки дефектних ділянок зварних швів, пробивки отворів, відрізка прибутків сталевих литва.

Плазмове різання. Плазма - це четвертий стан речовини, що є сильно іонізованим газом, що містить приблизно однакові кількості позитивно заряджених частинок.

Для отримання струменя плазми в цілях різання використовується газорозрядний пристрій, який зветься плазмотроном, де робочий газ (водень, азот, аргон, гелій або їх суміші) перетворюється на плазму в дуговому розряді між електродами.

Цей спосіб застосовують для різання алюмінію, нержавіючих сталей, міді і неелектропровідних матеріалів, оскільки виріб, що розрізається, не включається в електричний ланцюг дуги.

Найефективніше різання протікає при використанні як плазмообразуючого середовища суміші газів, що складається з 80 % аргону і 20 % азоту.

Розріз виходить дуже вузький з шириною $C = 0,1 \div 0,2$ мм. Швидкість різання – 2 - 3 м/хв (у 3 - 10 разів вище, ніж при кисневому різанні).

Повітряно-плазмове різання. Як плазмоутворювальний газ використовується стисле повітря.

Переваги повітряно-плазмового різання в порівнянні з механізованою кисневою і плазмовою в інертних газах наступні: простота процесу різання;

застосування недорогого плазмоутворювального газу-повітря; висока чистота розрізу, знижена міра деформації, менша ширина розрізу; стійкіший процес, ніж при різанні у водневмісних сумішах.

Сфера застосування – для розкрою вуглецевих, низьколегованих і легуваних сталей, а також кольорових металів завтовшки до 80 мм. При цьому швидкість різання зростає в 2-3 рази порівняно з газокисневим різанням.

Різання лазерним променем. За рахунок накачування зовнішньої енергії (електричною, світловою, тепловою, хімічною) атоми активної речовини – випромінювача переходять у збуджений стан. Збуджений атом випромінює енергію у вигляді фотона. У галузі використовуються твердотілі лазери. В якості активної речовини служить оптичне скло з домішкою неодима і рідкоземельних елементів.

Перевагою лазерного променя є можливість передачі енергії на великі відстані неконтактним способом. Це дозволяє використати лазерний промінь не лише для різання, зварювання, але і для розмітки. Лазерна технологія по праву вважається прогресивною, наукомісткою і її застосування в машинобудуванні треба кваліфікувати як напрям забезпечення науково-технічного прогресу.

6.2 Гнуття циліндричних обичайок

Основним методом виготовлення деталей в апаратобудуванні є гнуття листового прокату на валкових листозгинальних машинах. Від правильності вибіру технології згинання листового прокату багато в чому залежить трудомісткість виготовлення апарата і його експлуатаційні характеристики. Виготовлення листових деталей шляхом вигину між валками має значні переваги перед виконанням подібних операцій на пресах і штампах.

Гнуття – процес зміни форми під дією зусиль, прикладених в одній або декількох площинах, розташованих під заданим кутом один до одного.

Гнуття виконують в холодному або гарячому стані. Гнуття в холодному стані застосовують в межах, що не допускають критичної міри деформацій (3 - 15 %). Це положення визначає допустиме співвідношення між товщиною заготовки і радіусом згинання для операцій холодного гнуття. Радіус гнуття, що допускається, в холодному стані

$$R \geq (20 \div 25) \cdot S, \quad (6.5)$$

де S – товщина прокату.

Якщо $R < (20 \div 25) \cdot S$, то потрібне застосування гарячої операції гнуття з температурою нагріву вище порогу рекристалізації металу. Гнуття листів в нагрітому стані робиться в наступних випадках:

- коли потужності устаткування недостатньо для вигину листа необхідної товщини;
- коли подовжні стики листів з високолегованих і нержавіючих сталей з'єднуються електрошлаковим зварюванням, що вимагає подальшого відпалу або нормалізації; в цьому випадку нагрів під термічну обробку поєднується з нагрівом під гибку;
- у разі вигину листів із сталі марок 12ХМ, 12ХМФ, 12Х5М і подібних до них або з двошарової сталі з основним шаром із сталі марки 12МХ незалежно від діаметру обичайки і товщини стінки, коли термообробка після зварювання поєднується з нагрівом під гибку.

Основною операцією при виготовленні обичайок є вальцювання. Вальцювання є одним з видів гнуття, при якому деформується увесь об'єм заготовки. Вальцювання здійснюється за допомогою пластичного вигину при переміщенні заготовки між валками. Для гнуття тонкого (до 5 мм) листа призначаються двовалкові машини. На рис. 3.16, *а* показана схема роботи згинального верстата з упором заданого радіусу. У конструкції валків (рис. 3.16, *б*) верхній валок меншого діаметру повністю сталевий, а нижній більшого діаметру має еластичне покриття. Як покриття використовують

гумування, але частіше поліуретан, оскільки на відміну від гуми він не має пористості і по-цьому не зменшується в об'ємі. Поліуретан має також високу зносостійкість і пружність.

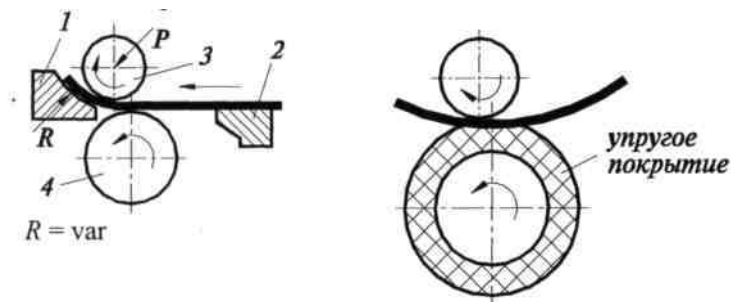


Рис. 6.5. Гнуття листа на двохвалковій машині

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

Формовку днища методом штампування на пресах проводять у наступному порядку. Заготівля за допомогою транспортера подається в нагрівальну піч для рівномірного нагрівання до необхідної температури. Температурний інтервал штампування 850-950 °С. Нагріта заготівля спеціальними захватами витягається з печі й подається на транспортер, за допомогою якого транспортується до штампа, що перебуває під пресом. Штамп складається із циліндричного пуансона з еліпсоїдною торцевою

поверхнею, виконаної за формою кулі. Під час штампування, пуансон, рухаючись униз тягне заготовку через матрицю.

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

6.4 Вимоги до виготовлення фланців

Фланці посудин повинні відповідати вимогам ГОСТ 28759.1 – ГОСТ 28759.5, прокладки до фланців ГОСТ 28759.6 – ГОСТ 28759.8. Арматурні фланці повинні відповідати вимогам ГОСТ 12815 – ГОСТ 12822, прокладки до цих фланців - вимогам ГОСТ 15180 або робочій документації.

Фланці з гладкими поверхнями ущільнювачів не допускається застосовувати для посудин 1 і 2 групи. Фланці приварні встик повинні виготовлятися з поковок, штампувань або бандажних заготівок. Фланці приварні встик допускається виготовляти:

- вальцюванням заготівок по площині листа (рис. 6.6) для посудин, працюючих під тиском не більше умовного 2,5 МПа;
- шляхом гнуття кованих штаб для посудин, працюючих під умовним тиском не більше 6,3 МПа.

При цьому зварні шви на додаток до загальних правил прийому посудин (деталей) мають бути перевірені радіографічним методом або ультразвуковою дефектоскопією в об'ємі 100 %.

Допускається виготовлення фланців приварних встик методом токарної обробки з сортового прокату.

Плоскі фланці допускається виготовляти зварними з частин за умови виконання зварних швів з повним проваренням по усьому перерізу фланця.

Дозволяється розміщувати отвори на зварних швах.

Якість радіальних зварних швів має бути перевірена радіографічним методом або ультразвуковою дефектоскопією в об'ємі 100 % довжин швів.

У разі застосування фланців з низьколегованих (16ГС, 09Г2С, 10Г2С1) і аустенитно-феритних сталей при температурах нижче мінус 20 °С додатково має бути перевірена ударна в'язкість при мінімальній робочій температурі. Зварні шви фланців з аустенітних хромонікелевих і аустенитно-феритних сталей додатково повинні випробовуватися на стійкість проти міжкристалітної корозії відповідно до вимог стандарту.

Фланці для посудин з двошарової сталі повинні виготовлятися зі сталі основного шару двошарової сталі або зі сталі цього ж класу із захистом ущільнювача і внутрішньої поверхонь фланця від корозії наплавленням або облицюванням з корозійностійкої сталі. Товщина наплавленого шару після механічної обробки має бути не менше 3 мм, і не менше 5 мм за наявності вимог по міжкристалітній корозії. Товщина облицювання має бути не менше 3 мм.

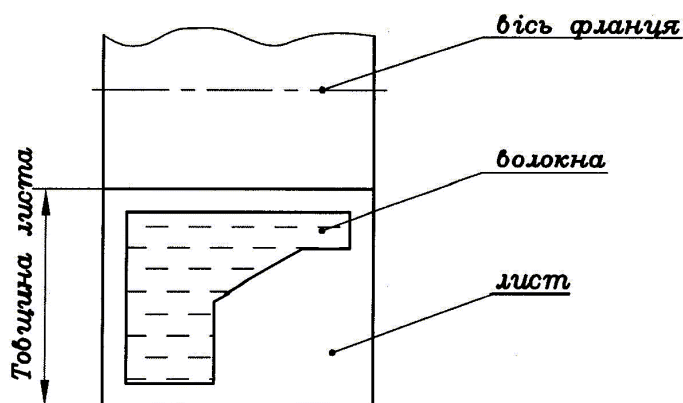


Рис. 6.6. Виготовлення приварних встик фланців методом вальцювання по площині листа

Фланці штуцерів, патрубків яких виготовлені з хромонікелевої аустенітної сталі, допускається застосовувати з тієї ж сталі, якщо це передбачено в конструкторській документації. Можливість застосування

фланців з хромонікелевої корозійностійкої сталі на патрубках з двошарової сталі має бути погоджена із спеціалізованою науково-дослідною організацією. Для контролю герметичності зварних з'єднань облицювання фланців необхідно передбачати контрольні отвори під нарізі М10 за ГОСТ 8724.

6.5. Вимоги до виготовлення штуцерів, люків, зміцнюючих кілець

Патрубки штуцерів і люків посудин з двошарових сталей повинні виготовлятися з двошарової сталі тієї ж марки або того ж класу (вальцюванням з листів, штампуванням напівобичайок, корозійностійким наплавленням внутрішньої поверхні або застосуванням облицювальних гільз).

Товщина наплавленого шару має бути не менше 3 мм після механічної обробки і не менше 5 мм за наявності вимог по міжкристалітної корозії. Товщина облицювання має бути не менше 3 мм. Спосіб захисту визначається вимогами технічного проекту.

Патрубки штуцерів посудин з двошарової сталі з основним шаром з вуглецевої або марганцевокремністої сталі і плакувальним шаром з хромистої корозійностійкої сталі або хромонікелевої аустенітної сталі допускається виготовляти з хромонікелевої аустенітної сталі при дотриманні наступних умов:

- умовний прохід патрубка не більше 100 мм, розрахункова температура не більше 400 °С, незалежно від режиму роботи посудини;
- умовний прохід патрубка не більше 200 мм, розрахункова температура не більше 250 °С і режим роботи посудини безперервний або періодичний з кількістю циклів не більше 1000.

Застосування патрубків з хромонікелевої аустенітної сталі з умовним проходом більше вказаного вище, допускається за узгодженням із спеціалізованою науково-дослідною організацією.

При захисті внутрішньої поверхні штуцерів облицювальними гільзами

необхідно передбачати контрольні отвори під нарізь М10 за ГОСТ 8724. Випробування на герметичність зварних швів повинні проводитися відповідно до стандарту. Отвори для люків, лючків і штуцерів повинні розташовуватися згідно з вимогами [17]. Отвори і оброблення кромки при установленні бобишок, штуцерів і люків на подовжніх швах циліндричних і конічних частин корпусів і зварних швах опуклих днищ, посудин з хромомолібденових сталей мають бути виконані тільки механічним способом.

При приварюванні бобишок, патрубків штуцерів і люків, зміцнюючих кілець відстань N між краєм шва корпусу і краєм шва приварювання деталі (рис. 6.7) має бути не менше товщина стінки корпусу, але не менше 20 мм.

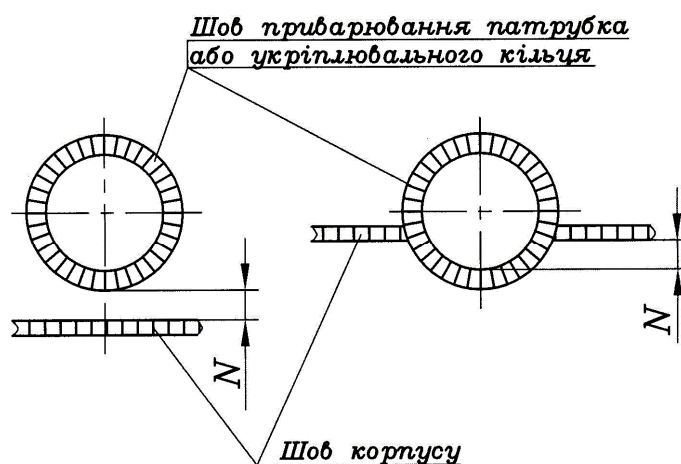


Рис. 6.7. Схема визначення відстані між краєм шва корпусу і краєм приварювання деталі

Відстань між швами не регламентується:

- при приварюванні бобишок до патрубків штуцерів;
- у разі вісесиметричного розташування приварюваної деталі на зварному шві корпусу.

Торці патрубків штуцерів і люків з двошарової сталі і шви приварювання їх до корпусу мають бути захищені від корозійної дії середовища. Захист від корозії здійснюється наплавленням відповідними електродами товщина

наплавленого шару має бути не менш вказаного вище.

При установці штуцерів і люків :

- позиційне відхилення (у радіусному вимірі) вісей штуцерів і люків допускається не більше ± 10 мм;
- відхилення діаметрів отворів під штуцери і люки мають бути в межах проміжків, що допускаються для зварних з'єднань по конструкторській документації;
- вісі отворів для болтів і шпильок фланців не повинні співпадати з головними вісями посудин і повинні розташовуватися симетрично відносно цих вісей, при цьому відхилення від симетричності допускається не більше $\pm 5^\circ$;
- відхилення по висоті (вильоту) штуцерів допускається не більше ± 5 мм;
- після приварювання штуцерів, люків, бобишек відхилення від площинної поверхні ущільнювача фланця штуцера (люка, бобишки) по ГОСТ 12815 - ГОСТ 12822 допускається не більше 1 мм на 100 мм зовнішнього діаметру фланця.

Зміцнюючі кільця допускається виготовляти з частин, але не більше ніж з чотирьох. При цьому зварні шви повинні виконуватися з проваром на повну товщину кільця.

У кожному зміцнюючому кільці або кожній його частині, якщо зварювання частин робиться після установки їх на посудину, повинно бути не менше одного контрольного отвору з нарізю М10 по ГОСТ 8724. Контрольний отвір повинен розташовуватися в нижній частині кільця або півкільця відносно посудини, що встановлюється в експлуатаційне положення, і залишатися відкритим.

Зміцнюючі кільця повинні прилягати до поверхні зміцнюваного елемента. Проміжок допускається не більше 3 мм. Проміжок контролюється щупом по зовнішньому діаметру зміцнюючого кільця.

6.6 Кріплення труб в трубних решітках

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

Розвальцьовування труб

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

Конусність внутрішньої поверхні труби після розвальцьовування не має бути більше 0,3 мм на довжині розвальцьовування. Гострі кромки 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

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

Діаметральний зазор між трубними решітками і трубою рекомендується не більше 0,3 мм.

6.7 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.

6.8 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 кипятильника, 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 КИП'ЯТИЛЬНИКА

7.1 Методи виконання планово-попереджувальних ремонтів

Система планово-попереджувальних ремонтів використовується на багатьох підприємствах, у тому числі на хімічних і нафтопереробних заводах. При цьому реалізуються види ремонтів, які класифікують за наступними показниками.

1. По місцю виконання робіт:

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

2. По методу підготовки і проведення ремонтів:

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

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

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

- *середній* ремонт за об'ємом робіт, тривалості і повторюваності займає проміжне положення між поточним і капітальним ремонтами, не є обов'язковою складовою частиною ППР для більшості машин і апаратів хімічних виробництв і здійснюється тільки в тих випадках, коли дозволяє збільшити термін служби між капітальними ремонтами;

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

7.2 Розбирання 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, затверджені головному інженером.

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

При ремонті внутрішні поверхні очищають від бруду й інших відкладень.

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

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

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

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

Вимоги до складання деталей під ремонтне зварювання

Перед початком складання має бути перевірена якість підготовки зварюваних елементів, тобто розміри, стан поверхні кромки, що стикаються та прилеглих до них поверхонь.

При складанні елементів різної товщини необхідно передбачити плавний перехід від одного елементу до іншого постійним стоншуванням товстого елементу. Кут " α " скосу кромки (рис.7.1) має бути не більше 20° (ухил 1 : 3). У разі двошарової сталі, скіс здійснюється з боку основного шару. Допускається стикування кромки без попереднього стоншування товстого листа, якщо різниця в товщині елементів, що сполучаються, не перевищує 30 % від товщини тоншого елементу, але не більше 5 мм. В цьому випадку форма зварного шва повинна забезпечувати плавний перехід від товстого листа до тонкого.

Зміщення "а" кромки листів в подовжніх швах стикових з'єднань (рис. 7.2), що визначають міцність посудини, не повинна перевищувати 10° номінальної товщини тоншого листа, але не більше 3 мм.. Спільне відведення кромки " f" (рис.7.3) в подовжніх і кільцевих швах (кутастість) не повинна перевищувати 10% товщини листа плюс 3 мм, але не більше 5 мм, тобто

$$f < 0,1S + 3 \text{ мм} \leq 5 \text{ мм}$$

Кутастість подовжніх швів (см рис.7.3 а, б) визначається за шаблоном, довжина якого по хорді дорівнює $1/6$ діаметру корпусу. Кутастість кільцевих

швів (см рис.7.3 в, г) визначається лінійкою завдовжки не менше 200 мм. Відведення кромки визначається без урахування посилення шва.

Допускається підгонка кромки, якщо при складанні елементів не витримані вимоги цього підрозділу. Методи підгонки повинні виключати появу додаткової напруги в металі і ушкодження поверхні.

Температурні умови виробництва зварювальних робіт

Зварювальні роботи при ремонті корпусів апаратів робляться при плюсовій температурі навколишнього повітря. Допускається робити зварювальні роботи при негативних температурах навколишнього повітря не нижче вказаних у нормативно-технічній документації. Часто у разі негативних температур в зоні зварювання створюють мікроклімат (намет або інші пристрої) з необхідною температурою.

Зварювання вуглецевих сталей товщиною більше 36 мм, низьколегованих кремнемарганцевистих - понад 30 мм, а також легованих теплостійких сталей, незалежно від товщини стінки, при плюсовій температурі навколишнього повітря здійснюється з попереднім і супутнім підігріванням.

При ремонті корпусів апаратів на відкритому майданчику місце зварювання має бути надійно захищене від вітру і атмосферних опадів.

Ремонтне зварювання і наплавлення

Ремонт корпусів апаратів виконується ручним електродуговим зварюванням або наплавленням. Ремонтне зварювання включає виконання прихваток, зварних швів і наплавлень.

Прихватку стиків при складанні виконують електродами переважно діаметром 3 мм зварювальники, які здійснюють увесь процес зварювання. Кожна прихватка має бути проконтрольована зовнішнім оглядом. До якості прихваток пред'являються такі ж вимоги, як і до основного шва. Дефектні прихватки повністю віддаляються механічним способом (шліфмашинкою). Знову виконані прихватки контролюються зовнішнім оглядом.

При зварюванні стиків, зібраних на прихватках, особливу увагу слід приділяти виконанню кореня шва. У зв'язку з тим, що прихватки можуть бути місцями можливих дефектів (тріщини, пори і тому подібне), необхідно забезпечити повну проплавку металу прихваток і зони основного металу навколо прихваток. Для забезпечення хорошої проплавки металу підбирається відповідний переріз прихваток, а зайва частина металу прихваток видаляється механічним способом (шліфмашинкою).

Прихватки на місці перетину швів не допускаються. Прихваточні шви мають бути рівномірно розташовані по периметру стику.

Відстань між прихватками для подовжніх швів апаратів повинні вибиратися в межах 100-500 мм залежно від товщини металу. Довжина прихваток 20-100 мм.

При V – подібній підготовці кромek під зварювання величина прихватки по перерізу має дорівнювати $1/3$ переріза шва, але не більше 15 мм. При кутових з'єднаннях величина катета прихватки визначається в технічній документації. Кількість прихваток і їх довжини для трубних з'єднань, а також для приварювання їх до корпусу вибирати не менше трьох.

У кільцевих стиках, що збираються без підкладних кілець, число прихваток, їх довжина, розміри скріплюючих планок залежать від діаметру корпусу і товщини стінки апарату.

Зварні шви залежно від довжини і товщини зварюваного металу виконуються різними способами, що забезпечують отримання якісного зварного з'єднання. Зварювання стикових коротких швів завдовжки 250-300 мм виконується "на прохід", середніх швів завдовжки 300-1000 мм - від середини до кінців або зворотньосхідчастим способом (рис. 7.1), довгих швів завдовжки більше 1000 мм виконуються зворотньосхідчастим способом.



Рис. 7.1. Виконання шва зворотньоcхідчастим способом

Кількість проходів в одному шарі шва по ширині встановлюється з урахуванням ширини оброблення при ширині менше 12 мм шари рекомендується виконувати в один прохід. При збільшенні ширини кількість проходів збільшується. При зварюванні Cr-Ma сталей і аустенітних Cr-Ni сталей ширина кожного валика шва має бути не більше двох діаметрів електроду.

Послідовність накладення проходів по перерізу шва встановлюється з урахуванням технологічної послідовності складання і зварювання. Найбільш раціональні виконання швів при V- подібних і X - подібних обробленнях приведені на рис. 9.2. При виконанні багатошарових швів особливу увагу слід звернути на якісне виконання першою шару в корені шва, оскільки " провар" кореня шва визначає міцність усього багатошарового шва. При двосторонньому зварюванні стикових швів виконання шва із зворотного боку робиться після видалення кореня першого шва механічним способом (шліфмашинка і таке інше).

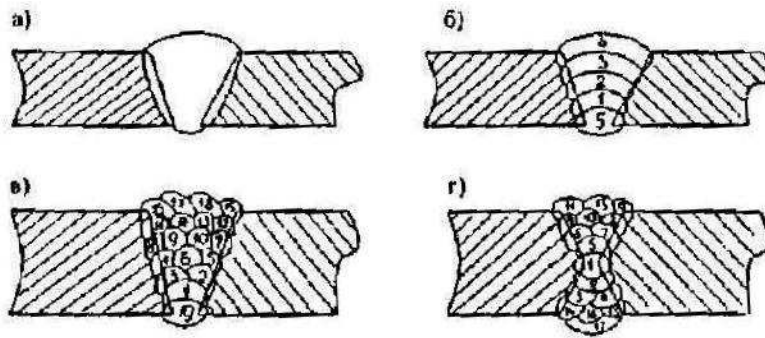


Рис.7.2. Схема виконання швів по перерізу

а – одношаровий однопрохідний, *б* – багат шаровий, *в* – багат шаровий односторонній нитковими швами, *г* – двосторонній багат шаровий нитковими швами

У двошарових сталях в першу чергу зварюється основний шар, а потім плакувальний. При зварюванні основною шару неприпустимо оплавлення вуглецевими електродами високолегованого металу корозійностійкого шару, оскільки це призводить до появи тріщин.

Ремонт дефектних ділянок корпусів наплавленням робиться в два і більше шарів. Перший шар рекомендується виконувати валиками, розташованими перпендикулярно осі корпусу. Кожен подальший валик повинен перекривати попередній на 1/3 його ширину. При багат шаровому напавленні послідовність накладення валиків рекомендується виконувати в кожному подальшому шарі перпендикулярно попередньому. Дефекти, що мають округлу форму діаметром до 40 мм, краще напавляти по спіралі, починаючи з центру ділянки дефекту.

Напавлення плакуючого покриття може робитися в один, два і більше шарів. Одношарове напавлення робиться у тому випадку, якщо до напавленого металу не пред'являються вимоги по стійкості проти МКК. У разі пред'явлення вимоги до напавленого металу по стійкості до МКК, напавлення робиться в два і більше шарів.

Термічна обробка корпусів після ремонтного зварювання і наплавлення

Після ремонтного зварювання і наплавлення корпусів апаратів термічна обробка, якщо вона потрібна, місць заварки або наплавлення дефектних ділянок робиться для зниження рівня залишкової зварювальної напружності і для поліпшення властивостей металу шва і біляшовної зони. Термічна обробка повинна виключати деформацію корпусу. Термічна обробка, при необхідності, здійснюється після остаточного зварювання або наплавлення і усунення усіх дефектів. У разі повторної заварки дефектне місце має бути піддане знову термообробці.

Корпусні деталі апаратів із сталей марок 12МХ, 12ХМ, 15ХМ, 12Х1МФ, 10Х2М1А-А, 10Х2ГНМ, 15Х2МФА-А, 1Х2М1, 15Х5, 15Х5М, 15Х8ВФ, 12Х8ВФ, Х9М і з двошарової сталі з основним шаром із сталей марок 12МХ, 12ХМ, 20Х2М після зварювання мають бути термооброблені незалежно від діаметру і товщини стінки.

Корпусні деталі апаратів із сталей марок 08Х18Н10Т, 08Х18Н12Б і інших аустенітних сталей, стабілізованих титаном або ніобієм, призначених для роботи в середовищах, що викликають корозійне розтріскування, а також при температурі вище 350°C, в середовищах, що викликають межкристалітну корозію, повинні піддаватися термічній обробці – стабілізуючому відпалу, незалежно від діаметру корпусу і товщини стінки.

Корпуси апаратів з вуглецевих і низьколегованих кремнемарганцевістих сталей піддаються термообробці, якщо:

а) товщина стінки корпусу більше 36 мм для вуглецевих сталей і більше 10 мм для низьколегованих марганцевістих і кремнемарганцевістих сталей (16ГС, 09Г2С, 17Г1С, 10Г2 та ін.);

б) товщина стінки корпусу перевищує величину, вичислену за формулою 3.13.

Ця вимога повинна виконуватися тільки у разі використання при ремонті деформаційних способів обробки деталей корпусу (вальцювання, згинання, штампування). У інших випадках ця умова не враховується;

в) вони призначені для експлуатації в середовищах, що викликають корозійне розтріскування (рідкий аміак, аміачна вода, розчини їдкого натрію і калію, азотнокислого натрію, калію, амонію, кальцію, етаноламіну азотної кислоти та ін.).

Необхідність термічної обробки корпусів апаратів з двошарової сталі повинна визначатися відповідно до вимог нормативно-технічної документації. При визначенні товщини зварюваного елементу приймається уся товщина двошарової сталі.

За наявності вимоги по стійкості проти межкристалітної корозії технологія зварювання і режим термообробки зварних з'єднань двошарових сталей повинні забезпечувати стійкість зварного з'єднання корозійностійкого шару проти межкристалітної корозії.

У апаратах, корпуси яких при виготовленні пройшли термообробку, всі знову виконані ремонтні зварні з'єднання піддаються термообробці по режиму, вказаному в паспорті на апарат.

Час витримки ремонтних зварних з'єднань після зварювання до термообробки не повинен перевищувати приведеного в нормативно-технічній документації. У цей період статичні і ударні навантаження зварних з'єднань не допускаються. При негативних температурах навколишнього повітря зварні з'єднання з теплостійких сталей (12ХМ, 12МХ, 15ХМ і тому подібне) мають бути термообработаны безпосередньо після зварювання. За відсутності такої можливості, після закінчення зварювання робиться нагрів зварного з'єднання до 300-350°C з витримкою 0,5-1,0 година.

Приварювання внутрішніх і зовнішніх пристроїв до корпусів апаратів, що піддаються термічній обробці, повинна робитися до термічної обробки корпусу.

Допускається приварювання внутрішніх і зовнішніх устроїв без подальшої термічної обробки до термооброблених корпусів апаратів за умови, що розмір катета зварного шва не більше 8 мм.

На корпусах апаратів з цих же сталей, схильних при експлуатації корозійному розтріскуванню під напругою, допускається приварювання зовнішніх пристроїв без термічної обробки за умови, що катет шва не більше 8 мм, а товщина стінки корпусу перевищує 50 мм. Приварку зовнішніх пристроїв при меншій товщині стінки корпусу, а також приварювання внутрішніх пристроїв катетом не більше 8 мм при усіх товщинах допускається без термічної обробки тільки при використанні спеціальних технологічних заходів, що знижують залишкову зварювальну напружину. До таких заходів відноситься проковування гарячого шва. Проковуванню піддається кожний наплавлений валик безпосередньо після зварювання. Для проковування використовується ручний, електричний або пневматичний інструмент.

Допускаються без термічної обробки монтажні зварні шви приварювання зовнішніх пристроїв на монтажному майданчику до спеціальних накладок (кронштейнам), що приварені до корпусу апарата і пройшли разом з ним термообробку на підприємстві-виготівнику апарата.

Допускається місцева термічна обробка зварних з'єднань корпусів апаратів, при проведенні якої повинні забезпечуватися рівномірний нагрів і охолодження по усій довжині шва і прилеглих до нього зон основного металу. Ширина зони нагріву визначається по РТМ 26-44-82.

При неможливості термічної обробки за один нагрів усієї зони ремонту за технічними характеристиками нагрівача (наприклад, при ремонтному зварюванні пропалених дефектних ділянок, розташованих уздовж вісі корпусу апарата, вваренню вставок великих габаритів тощо), допускається багатократний нагрів ремонтної ділянки зі зміщенням зони максимального нагріву. У цьому випадку зона максимального нагріву повинна перекривати

зону максимальної температури від попереднього нагріву на 1,5 товщини стінки корпусу апарата.

Перед місцевою термообробкою ремонтних зварних з'єднань на горизонтальних корпусах апаратів для виключення їх деформації необхідно встановити тимчасові опори на відстані не більше за один метр по обидві сторони від термооброблюваного зварного з'єднання.

За наявності вимог по стійкості проти корозійного розтріскування і межкристалитної корозії можливість застосування місцевої термічної обробки має бути погоджена зі спеціалізованою науково-дослідною організацією, яка в цьому випадку розробляє також технологічні особливості її проведення.

Для проведення місцевої термообробки нагрівачі і теплову ізоляцію (азбест, шлаковата або інші теплоізолюючі матеріали, що не згорають) необхідно встановлювати і закріплювати перед початком зварювання по зовнішній і внутрішній поверхням корпусу, для чого має бути забезпечений доступ до внутрішньої поверхні корпусу апарата.

При цьому для ведення процесу зварювання в зоні ремонту оставляється оголена частина корпусу шириною 20-30 мм в кожную сторону від стику. Безпосередньо після зварювання оголена частина корпусу закривається теплоізоляцією.

Товщина шару теплоізоляції має бути не менше 100 мм. Ширина теплоізоляції повинна перекривати зону нагріву в кожную сторону від вісі шва не менше:

$$B = 3\sqrt{R \cdot h}$$

де B – ширина теплоізоляції, мм; R – радіус корпусу, мм; h – товщина стінки корпусу, мм.

Контроль температури при термічній обробці здійснюється за допомогою термопар із записом на потенціометрі. В процесі нагріву різниця свідчень термопар в одній точці як усередині, так і зовні корпусу апарата, не має бути

більше 50 °С. Термопари встановлюються від краю оброблення дефектної ділянки на відстані не більше 30 мм. Кількість термопар встановлюється за умови надійності контролю температури по усій термооброблюваній поверхні, але не менше трьох в кожній зоні нагріву. Термопари, розташовані з боку нагрівальних пристроїв, мають бути захищені від прямої дії на них теплового потоку.

Контроль і вимоги до якості ремонтного зварювання і наплавлення

Перед проведенням ремонту необхідно перевірити наявність технології ремонтно-зварювальних робіт і знання її ремонтним персоналом.

В процесі виробництва ремонтного зварювання (наплавлення) повинен здійснюватися наступний контроль:

- контроль якості металу і зварювальних матеріалів на їх відповідність вимогам стандартів (по сертифікатах). У разі виникнення сумніву у відповідності матеріалів сертифікатам робиться контроль їх хімічного складу. Допускається визначення легуючих елементів робити стилоскопіюванням.

За відсутності сертифікату на матеріал потрібний його повний хімічний аналіз і визначення механічних властивостей;

- перевірка режимів прожарення електродів;
- перевірка кваліфікації зварювальників;
- контроль якості підготовки місць під зварювання і правильності складання;
- контроль технологічних режимів зварювання і термообробки;
- контроль якості зварних з'єднань.

Контроль якості зварних з'єднань робиться наступними методами:

- візуально-вимірним – огляд і вимір параметрів швів на відповідність нормам РД 34.10.130;
- кольоровим або магнітопорошковим – на виявлення дефектів, що виходять на поверхню;

- ультразвуковим або радіографічним – для виявлення дефектів усередині зварного з'єднання або що виходять на поверхню (внутрішню);
- механічними випробуваннями на контрольних зварних зразках;
- металографічним дослідженням (при необхідності);
- стилоскопіюванням (при необхідності) за винятком випадків, вказаних нижче, для яких це необхідно;
- випробуванням на стійкість проти межкристалитної корозії, якщо пред'являються вимоги по стійкості проти МКК;
- виміром твердості;
- визначенням змісту в металі аустенітного шва феритної фази (при необхідності);
- гідравлічним випробуванням.

Остаточний контроль якості зварних з'єднань, таких, що піддаються термообробці, повинен робитися після проведення термообробки.

Механічні властивості зварних з'єднань за результатами випробувань контрольних зразків мають бути не нижчі норм, наведених в табл. 3.20.

Випробування зварного шва на стійкість проти межкристалитної корозії (МКК) повинне здійснюватися для апаратів, виготовлених зі сталей аустенітного, ферритного, аустенітно-феритного класів і двошарової сталі з корозійностійким шаром з аустенітних і феритних сталей за наявності вимоги в паспорті.

Форма і розміри зразків для випробувань на стійкість проти межкристалитної корозії повинні відповідати вимогам ГОСТ 6032.

Стилоскопіюванню повинні піддаватися зварні шви працюючих під тиском деталей сталей марок: 12ХМ, 12МХ, 15ХМ, 10Х2М1А-А, 20Х2М, 1Х2М1, 15Х2МФА-А, 10Х2ГНМ. 15Х5М, 15Х5, 08Х13, 08Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т, 08Х17Н15М3Т, 08Х16Н15М3Т, 08Х21Н16М2Т, 06ХН28МДТ, 12Х18Н10Т, 08Х12Н10Т, 08Х22Н6Т та метал корозійностійкого наплавлення.

При отриманні незадовільних результатів допускається повторне стилоскопіювання того ж зварного з'єднання на подвійній кількості точок.

При незадовільних результатах повторного контролю повинен проводитися хімічний аналіз зварного з'єднання, результати якого вважаються остаточними. Контроль якості зварних з'єднань ультразвуковою дефектоскопією (УЗД) або рентгеноскопією робиться в об'ємі, вказаному в технічній документації залежно від групи посудин (апаратів). При неможливості здійснення контролю радіографічним або ультразвуковим методом із-за недоступності до окремих зварних з'єднань, контроль якості цих з'єднань робити по РД 26-11-01.

Контроль якості наплавлених ділянок здійснюється візуально і УЗД або рентгеноскопією в повному об'ємі (100%).

Дефектоскопія зварних швів приварювання штуцерів до апарата проводиться згідно РД 38.18.016 і розділів 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 ОСТ 26-2044 "Шви стикових і кутових зварних з'єднань посудин і апаратів, працюючих під тиском. Методика ультразвукового контролю". При цьому повинні виконуватися усі вимоги галузевого стандарту до чистоти контрольованої поверхні, використовуваної апаратури, кваліфікації дефектоскопістів, а також вимоги з підготовки і проведенню контролю, оцінці якості зварних з'єднань і оформленню результатів контролю.

Якщо контроль проводиться по корпусу, для налаштування параметрів контролю (розгортки, граничної чутливості) рекомендується використати спеціалізований криволінійний зразок, виготовлений з матеріалу аналогічного матеріалу апарата, з нанесенням штучних відбивачів (типу зарубок) в двох взаємноперпендикулярних напрямках – уздовж вісі зразка і в поперечному напрямі з обох боків зразка з видаленням зарубок від бічних граней зразка на відстань не менше 25-30 мм.

У зварних з'єднаннях не допускаються наступні зовнішні дефекти:

– тріщини усіх видів і напрямів;

- свищі і пористість зовнішньої поверхні шва;
- подрізи;
- напливи, пропалення і незаплавлені кратери;
- зміщення і спільне відведення кромок зварюваних елементів вищі за норми, передбачені в розділі 3.11;
- невідповідність форм і розмірів зварних швів вимогам стандартів, технічних умов, проекту або розробленої технології ремонту;
- чешуйчатість поверхні і глибина западин між валиками шва, що перевищують допуск на посилення шва по висоті;

Допускаються місцеві подрізи в посудинах 3, 4 і 5-й груп, призначених для роботи при температурі вище 0°C . При цьому їх глибина не повинна перевищувати 5% товщини стінки, але не більше 0,5 мм, а протяжність – 10 % довжини шва.

У зварних з'єднаннях не допускаються наступні внутрішні дефекти, незалежно від методу їх виявлення :

- тріщини усіх видів і напрямів, у тому числі мікротріщини;
- свищі;
- непровари, розташовані в перерізі зварного з'єднання;
- зміщення основного і плакуючого шарів в зварних з'єднаннях двошарових сталей вище за норми, передбачені в табл. 3.18;
- посилення " t " перехідного шва (рис 3.41) в зварних з'єднаннях двошарових сталей вище за лінію розділу шарів на величину більше $0,3 \times S$ (S – товщина плакуючого шару, S_l – товщина листа);

У зварних з'єднаннях не допускаються наступні внутрішні дефекти, виявлені радіографічним методом :

- пори, шлакові і інші включення, що виходять за межі норм,

Допускається непровар в корені шва глибиною не більше 10 % від товщини стінки корпусу, але не більше 2 мм і сумарною протяжністю:

– не більше 5% від довжини шва в двосторонніх кутових і таврових зварних з'єднаннях патрубків з внутрішнім діаметром не більше 250 мм, передбачених з повним проплавленням, в зварних швах посудини 2, 3, 4 і 5 груп, призначений для роботи в середовищах, що не викликають водневій і сірчановодневій корозії;

– не більше 20 % від довжини шва в кільцевих стикових зварних з'єднаннях, доступних для зварювання тільки з одного боку і виконаних без підкладного кільця, в кутових зварних з'єднаннях посудин 4 і 5 груп, призначених для роботи при температурі вище 0 °С.

У зварних з'єднаннях не допускаються наступні внутрішні дефекти, виявлені ультразвуковим методом тріщини, несплави, пори, шлакові і інші включення, непровари в корені шва, еквівалентні розміри які перевищують гранично-допустимі значення, вказані в нормативно- технічній документації, паспорті виробу.

Оцінку допустимості виявлених несплошностей, виявлених ультразвуковим методом, проводять за методікою, викладеною в РДИ 38.18.016 (розділ 6), за наступними характеристиками:

- амплітуді ехо-сигнала;
- умовній протяжності;
- кількості дефектів з еквівалентною площею від S_0 до S_I на ділянці зварного шва певної довжини.

Виявлені при ультразвуковому контролі дефекти ділять на точкові і протяжні. Точковим вважають дефект, умовна протяжність якою не перевищує умовної протяжності штучного відбивача, розміри якого визначаються еквівалентною площею або діаметром D плоскостного отвору, виконаного на глибині залягання дефекту.

Протяжним вважається дефект, умовна протяжність якого перевищує значення, встановлені для точкового дефекту.

Точкові дефекти оцінюють по амплітуді ехо-сигнала. Точковий дефект вважається неприпустимим, якщо амплітуда ехо-сигнала від нього перевищує амплітуду ехо-сигнала від штучного відбивача, розміри якого визначаються максимально-допустимою еквівалентною площею S_1 .

Ланцюжок (скупчення) точкових дефектів оцінюють по амплітуді відлуння сигналу, умовній протяжності ланцюжка на ділянці певної довжини шва.

Ланцюжок (скупчення) точкових дефектів вважається неприпустимим, якщо амплітуда ехо-сигнала від будь-якого точкового дефекту в ланцюжку менше (на 6 дБ, в два рази) амплітуди ехо-сигналу від штучного відбивача, розміри якого визначаються максимально допустимою еквівалентною площею S_1 але рівна або більше амплітуди ехо-сигналу від штучного відбивача розміри якого визначаються найменшою еквівалентною площею S_0 , що фіксується, а умовна протяжність ланцюжка на ділянці певний довжині перевищує норми, які вказані в нормативно-технічній документації, паспорті.

Протяжні дефекти оцінюють по амплітуді ехо-сигналу і умовній протяжності. Протяжний дефект вважається неприпустимим, якщо його умовна протяжність перевищує значення, встановлені для точкового дефекту. При цьому умовна протяжність вимірюється за умови, коли амплітуда ехо-сигналу від виявленого дефекту в два рази (на 6 дБ) менше амплітуди ехо-сигналу від штучного відбивача, розміри якого визначаються максимально-допустимою еквівалентною площею S_1 .

Зварні з'єднання з неприпустимими дефектами оцінюють як незадовільної якості і бракують. Усі інші зварні з'єднання вважають задовільними і допускають до експлуатації.

Результати контролю мають бути занесені в спеціальний журнал.

Якщо після виправлення дефектів в ремонтному зварному з'єднанні виявлені дефекти, то допускається їх повторне виправлення по технічним умовам.

Виправлення дефектів на одній і тій же ділянці зварного з'єднання допускається:

- для корпусів з низьковуглецевих і низьколегованих кремнемарганцовистих сталей типу 16ГС, 09Г2С, а також з низьколегованих і середньолегованих хромомолібденових сталей типу 12ХМ, 15Х5М і так далі, виявлених до термічної обробки – не більше 3-х разів;
- для корпусів з цих же сталей, виявлених після термічної обробки – не більше 2-х разів.

Всі зварні шви підлягають клеймуванню, яке дозволяє встановити зварника, що виконував ці шви.

7.4 Ремонт вузла кріплення труб в трубних решітках

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

Порушення герметичності може бути викликане розгерметизацією труби і вузла кріплення. У першому випадку текцію легко усунути установкою конічних пробок з обох боків дефектної труби. Такі пробки завдовжки 40—60 мм застосовують для герметизації труб зовнішнім діаметром 10—28 мм з вуглецевих і корозійно-стійких сталей, латуні, монеля. Для холодильників, конденсаторів і інших апаратів при робочій температурі середовища не вище 105°C рекомендуються пробки з фібри, що розбухає при контакті з водою і надійно ущільнює місце течії. Застосування конічних пробок скорочує час простою установок. При плановому ремонті і заміні дефектних труб пробки видаляють і велику частину їх використовують повторно.

Течія в місцях кріплення труб в умовах експлуатації усувається зазвичай розвальцюванням, оскільки застосування зварки часто неможливе за умовами техніки безпеки. При розвальцюванні на робочих місцях (без демонтажу теплообмінника) використання звичайного устаткування нерідко утруднене великою висотою вертикально розташованих теплообмінників,

обмеженістю об'єму закритих камер і тому подібне. В цих випадках застосовують развальцьовочний інструмент з ручним приводом.

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

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

8 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

Хімічні виробництва характеризуються підвищеною небезпекою праці робітників, несуть потенційну небезпеку професійних отруєнь і захворювань, травматизму, забруднення довкілля та ін. Тому питанням охорони праці приділяється велика увага, вони спрямовані на забезпечення безпечних та здорових умов праці, безаварійної роботи устаткування, пожежної безпеки, тощо.

Для запобігання аваріям, неполадкам, нещасним випадкам і забезпечення нормальних умов праці необхідно дотримувати норми і вимоги технологічного регламенту, інструкцій по робочих місцях, інструкцій по охороні праці. Небезпечні чинники виробничих процесів:

1 Прорив горючого газу або легкозаймистої рідини через нещільність, що утворилася, в апаратах комунікаціях з подальшим загорянням або вибухом.

2 Утворення вибухонебезпечної газової суміші в апаратах і трубопроводах при попаданні кисню, повітря в систему при незадовільному продуванні комунікацій і апаратів азотом, а також при пропуску газу або пари легкозаймистої рідини в приміщення.

3 Отруєння тих, що працюють при контакті з токсичними речовинами, вживаними у виробничих процесах.

4 Хімічні опіки при попаданні агресивних речовин на шкіру.

5 Термічні опіки при попаданні пари, гарячого конденсату на шкіру, при зіткненні з гарячими поверхнями апаратів або трубопроводів, загорянні газу, що прорвався, або легкозаймистої рідини.

6 Обмороження при зіткненні із зрідженими газами.

7 Поразка електричним струмом при несправності електроустаткування.

8 Механічні травми при обслуговуванні і ремонті устаткування і трубопроводів з порушенням техніки безпеки.

9 Задуха від недоліку кисню при виконанні робіт в кабельних тунелях, колодязях, пріямках.

10 Шкідливі викиди в робочу зону та водоймища.

Ремонтно – монтажні роботи

Виведення в ремонт устаткування (або демонтаж при виключенні з схеми) здійснюється по письмовому розпорядженню начальника цеху. На підставі письмового розпорядження заступник начальника цеху встановлює і підписує порядок виведення устаткування в ремонт або посилається на відповідні розділи інструкції.

У об'єм робіт з підготовки устаткування до ремонту входить:

- зупинка об'єкту (устаткування, машин, комунікацій), відключення системи, замочною арматурою;
- скидання тиску, звільнення об'єкту від продукту, сировини;
- відключення електроенергії, зняття напруги на щитах, вивішування заборонних і попереджувальних плакатів, установка огорожувальних бар'єрів;
- від'єднання ремонтного об'єкту від комунікацій за допомогою заглушок;
- пропарювання, продування, провітрювання об'єкту і відповідне прибирання від продукту і сировини приміщення.

Якість підготовчих робіт визначається виконанням аналізу на вміст палих, отруйної, вибухонебезпечної пари або газів, яких повинно бути не більш за ГДК по санітарних нормах.

На арматурі, що відсікає ремонтне устаткування від того, що діє, вивішуються таблички, що забороняють її розтин, а арматуру що підлягає ремонту, позначають крейдою або фарбою.

Установка заглушок повинна проводитися силами ремонтної служби цеху, під керівництвом механіка або майстра цієї служби.

При установці заглушок ремонтною службою цеху механік (майстер) несе відповідальність за дотримання ремонтною службою правил техніки безпеки і пожежної безпеки при виконанні цієї роботи і за якість установки заглушок.

Перед проведенням ремонтних робіт, механік або майстер цеху проводить виконавцям інструктаж про порядок ведення робіт, дотриманням правил протипожежної і техніки безпеки, потім допускає до виконання ремонтних робіт по оформленому разом із застосуванням засобів захисту, вказаних в наряді.

Інструктаж робітником підрядних організацій про основні небезпеки і шкідливі виробничі чинники в даному цеху в об'ємі першого інструктажа проводить начальник зміни перед початком робіт.

Весь персонал має бути ознайомлений про місце і час проведення ремонтних робіт сторонньою організацією.

При виникненні пожежі або аварії, а так само в разі порушення технологічного режиму і появи небезпеки для оточуючого персоналу цеху повинен дати вказівку про припинення робіт підрядчиком і видалити їх з цеху або небезпечної зони.

Організація робочого місця

Кожне робоче місце при проведенні ремонтно-монтажних робіт повинно відповідати вимогам техніки безпеки: захищені зони робіт, вільні проходи і шляхи доставки деталей і інструментів, працівники мають бути забезпечені індивідуальними засобами захисту, тобто протигазами, що фільтрують, марки «М», для захисту голови від травм – каски марки «Праця» або «Дружба» з підшоломниками.

Проведення зварювальних і вогневих робіт

До вогневих робіт відносять виробничі операції, зв'язані із застосуванням відкритого вогню, нагріванням до температур, здатних викликати займання матеріалів.

На проведення вогневих робіт оформляється наряд-допуск, що передбачає розробку і подальше здійснення комплексу заходів щодо підготовки і безпечного проведення робіт, вказаний термін його дії, і тривалість проведення робіт, склад бригади, вимоги до робітників.

Кожна вогнева робота, що проводиться в плановому порядку, складається з двох етапів:

підготовка об'єкту до проведення вогневої роботи

безпосереднє проведення вогневої роботи.

Відповідальним за підготовку об'єкту до проведення вогневої роботи призначається інженерний – технічний працівник цеху (як правило, 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, інструменту і пристосувань, їх відповідність виконуваним роботі, наявність посвідчень і талонів – попереджень;

- проводити інструктаж виконавців про правила безпечного ведення робіт;

- забезпечити місце проведення робіт первинними засобами пожежогасіння.

Виконавці вогневих робіт несуть відповідальність за виконання всіх заходів безпеки, передбачених в наряді – допуску.

Якщо вогневі роботи проводяться усередині ємкості, то вони вимагають письмового дозволу головного інженера, узгодженого з органами пожежної охорони, наявність акту огляду ємності і дотримання особливих заходів безпеки згідно спеціальної інструкції.

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 кип'ятильник установки ректифікації суміші ацетон – етиловий спирт потужністю 69000 т/рік.:

- а) На основі аналітичного огляду вибрана конструкція кип'ятильника, 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 кип'ятильника, його монтаж і ремонт;
- д) Висвітлені питання техніки безпеки.

ЛИТЕРАТУРА

- 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 Методические указания к выполнению курсовой работы на тему "Расчет ректификационной установки непрерывного действия" для студентов дневной и заочной форм обучения специальностей 7.091601; 7.091602; 7.091604; 7.091612; 7.090220/ Составители: Ильиных А.А., Носач В.А., Резанцев И.Р. – Северодонецк: СТИ ВНУ им. Владимира Даля, 2005. – 90с.
- 3 Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия. 1991. – 496с.
- 4 Справочник химика, т. 5. – М.: Химия, 1968. – 975 с.
- 5 Отраслевой стандарт (Ост 26-01-1488-83).
- 6 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.
- 7 Плановский А.Н., Рамм В.М., Каган С.З. Процессы и аппараты химической технологии, 4-е изд. – М.: Химия, 1967. – 848 с.
- 8 Чернышев А.К., Коптелов В.Г., Листов В.В., Заичко Н.Д. Основные теплофизические свойства газов и жидкостей. Номографический справочник. – Кемеровское изд-во, 1971. – 225 с.
- 9 Дытнерский Ю.И. и др. Колонные аппараты. Каталог/ Под ред. Дытнерского Ю.И., 2-е изд-во. – М.: ЦИНИНЕФТЕХИММАШ, 1978. – С. 220.
- 10 Плановский А.Н., Николаев П.И. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии, 3-е изд. – М.: Химия, 1987. – 496 с.
- 11 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 сталі 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.