

РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота на тему:

«Установка ректифікації суміші ацетон - вода продуктивністю 6,5 т/год. по вихідній суміші з розробкою підігрівача».

Ключові слова: ректифікація, колона, підігрівач, контактні пристрої, тарілка, ковпачок, трубчатка.

Дипломна робота: Листів – _____, ілюстрацій – __, таблиць – __, посилань – __.

Об'єкт дослідження – основне обладнання (колона та підігрівач) установки ректифікації суміші ацетон-вода. Ціль роботи – розробка колони та підігрівача в установці ректифікації.

В роботі для суміші ацетон-вода розроблені колона та підігрівач:

- визначені основні розміри апаратів;
- проведені розрахунки підігрівача на міцність;
- розглянуті питання технології виготовлення підігрівача, ремонту та техніки безпеки;

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ВСТУП

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

2 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ТА КОНСТРУКЦІЇ КОЛОНИ І
ТЕПЛООБМІННИКА

3 КОНСТРУКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ
ТЕПЛООБМІННИКА

4 ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ РОЗМІРІВ КОЛОНИ ТА
ТЕПЛООБМІННИКА

5 РОЗРАХУНКИ НА МІЦНІСТЬ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕПЛООБМІННИКА

6 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ТЕПЛООБМІННИКА

7 РЕМОНТ ТЕПЛООБМІННИКА

9 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

ВИСНОВКИ

ЛІТЕРАТУРА

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

B – ширина, м;

C_p – масова теплоємність за сталого тиску, Дж/(кг·град);

D – діаметр, м;

d – діаметр штуцера, м;

F – поверхня контакту, м;

K – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²·град);

t – температура °С;

w – швидкість потоку рідини, м/с;

ω – кутова швидкість

Q – тепловий потік, Вт;

m – витрата речовини, кг/с;

c – теплоємність речовини (питома), Дж/(кг·К);

G_w – продуктивність кубового залишку, кг/год;

G_p – продуктивність по дистилляту, кг/год;

G_F – продуктивність повихідній суміші, кг/год;

M_A, M_B – молярна маса компонента, кг/кмоль;

R_{min} – мінімальне флегмове число;

K_R – коефіцієнт надлишку флегми;

R – дійсне флегмове число;

r – питома теплота пароутворення;

H – висота середовища в апараті, м;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

P – розрахунковий тиск, МПа;

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

P_r – гідростатичний тиск, МПа;

f – коефіцієнт міцности зварених швів;

C – прибавка до розрахункової товщини, мм;

Π – швидкість проникнення корозії, мм/рік;

S_1 – виконавча товщина стінки днища, мм;

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

C_3 – прибавка для компенсації корозії, мм;

W_y – швидкість пару, м/с;

W_ϕ – швидкість руху потоку, м/с

V_ϕ – об'ємна продуктивність потоку, м³/с;

ВСТУП

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

Застосовуються наступні процеси, засновані на явищі масообміну.

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

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

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

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

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

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

- Сушка – видалення вологи з твердих тіл шляхом випарювання.

- Кристалізація – видалення одного або декількох компонентів у вигляді кристалів з розчину або розплаву.

Простими способами перегонки рідких сумішей являються:

1) часткове випарювання рідини і конденсація отриманої пари з відведенням конденсату (проста перегонка);

2) часткова конденсація пари суміші, що переганяється, з відведенням конденсату (проста конденсація).

Кожен з цих процесів окремо не приводить до отримання достатньо чистих продуктів, але здійснюючи обидва ці процесу одночасно і багато разів в протиточних колонах, можна досягти розділення рідкої суміші на чисті компоненти, що складають суміш.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Перегонка рідини

Види ректифікації:

1 Проста ректифікація. Даний процес проводиться в 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. При використанні цього методу очищення домішки між рідкою і паровою фазою розподіляються по-різному. Колони для цього способу ректифікації складаються з нижньої частини, в якій відбувається очищення рідини і верхньої (поглинювальною) частини, в якій йде регенерація пари. 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. Під вакуумом ректифікацію проводять, коли розділенню підлягають висококиплячі рідкі суміші.

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

У промисловості застосовують ковпачкові, ситчасті і насадкові колони. Вони розрізняються в основному конструкцією внутрішнього устрою апарату, призначення якого — забезпечення взаємодії рідини і пари. Ця взаємодія відбувається при барботуванні пари через шар рідини на тарілках (ковпачкових або ситчастих) або при поверхневому контакті пари і рідини на насадці.

1.2 Апаратурне оформлення процесів перегонки рідини

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

Конструкції ректифікаційних колон

В ректифікаційних установках використовують головним чином апарати двох типів: 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. Залежно від навантаження клапан переміщається вертикально, змінюючи поверхню перетину для проходу пари, причому максимальний перетин визначається висотою обмежувача підйому. Поверхня перетину отворів для пари складає 10—15% площини перетину колони. Швидкість пари досягає 1,2 м/с. Клапани виготовляють у вигляді пластин круглого або прямокутного перетину з верхнім або нижнім обмежувачем підйому.

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 елемента створює значну жорсткість, що дозволяє встановлювати його на опорне кільце без проміжних опор в колонах діаметром до 4,5 м.

Лускові тарілки подають пару у напрямі потоку рідини. Вони працюють найефективніше при струменевому режимі, що виникає при швидкості пари в лусках понад 12 м/с. Поверхня перетину складає 10% площини перетину колони. Луски бувають арочними і пелюстковими, їх

розташовують на тарілці в шаховому порядку. Простота конструкції, ефективність і велика продуктивність — переваги цих тарілок.

Пластинчасті тарілки зібрані з окремих пластин, розташованих під кутом 4—9° до горизонту. У зазорах між пластинами минає пара із швидкістю 20 — 50 м/с. Над пластинами встановлені відбійні щитки, які зменшують унесення бризок. Ці тарілки відрізняються великою продуктивністю, малим опором і простотою конструкції.

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

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

Ситчасті колони застосовують головним чином при ректифікації спирту і рідкого повітря. Допустимі навантаження по рідині і парі для них відносно невеликі, і регулювання режиму їх роботи скрутне. Масо- і теплообмін між паром і рідиною в основному походять на деякій відстані від дна тарілки в шарі піни і бризок. Тиск і швидкість пари, що проходить через отвори тарілки, мають бути достатні для подолання тиску шару рідини на тарілці і створення опору її набряканню через отвори. Ситчасті тарілки необхідно встановлювати строго горизонтально для забезпечення проходження пари через всі отвори тарілки, а також щоб уникнути стікання рідини через них. Зазвичай діаметр отворів ситчастої тарілки приймають в межах 0,8—3,0 мм.

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.

Масо- і теплообмін в колонах з насадкою характеризується не лише явищами молекулярної дифузії, фізичними властивостями фаз, але і гідродинамічними умовами роботи колони, які визначають турбулентність потоків. Залежно від швидкості потоку в колоні можливі три гідродинамічні режими: ламінарний, проміжний і турбулентний, - при яких потік пари є суцільним, безперервним і заповнює вільний об'єм насадки, не зайнятий рідиною, тоді як рідина стікає лише по поверхні насадки. Подальший розвиток турбулентного руху може привести до подолання сил поверхневого натягнення і порушення граничної поверхні між потоками рідини і пари. При цьому газові вихори проникають в потік рідини, відбувається емульгування рідини парою, і масообмін між фазами різко зростає. В разі з емульгування рідина розподіляється не по насадці, а заповнює весь її вільний об'єм, не зайнятий паром; рідина утворює суцільну фазу, а газ — дисперсну фазу, розподілену в рідині, тобто відбувається інверсія фаз.

Дослідження показали, що перехід від турбулентного режиму до режиму емульгування (точка інверсії або крапка початку емульгування) відповідає оптимальним умовам роботи колони і оптимальної швидкості пари, при якій на насадці затримується максимальна кількість рідини, бризок і піни, досягаються інтенсивний масообмін і максимальна продуктивність при мінімальній висоті насадки. При перевищенні оптимальної швидкості починається оборотний рух рідини від низу до верху, відбувається так зване “захлинання” колони і порушення режиму її роботи.

Трубочасті плівкові ректифікаційні колони складаються з пучка вертикальних труб, по внутрішній поверхні яких тонкою плівкою стікає рідина, взаємодіючи з паром, що піднімається по трубах.

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

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

1.3 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.

Теплообмінні апарати класифікуються за такими основними ознаками:

– за конструкцією – апарати з поверхнею теплообміну, виготовлюваною з труб (кожухотрубчасті, “труба в трубі”, зрошувальні, повітряного охолодження, занурювальні змійовикові); апарати, поверхня теплообміну яких виконується з листового прокату (пластинчасті, спіральні) та апарати, що виготовляються з неметалевих матеріалів;

– за призначенням – теплообмінники, холодильники, конденсатори та випарники;

– за взаємним напрямом робочих середовищ – прямотечийні, протитечийні та змішаного току.

Кожухотрубчасті теплообмінні апарати класифікуються наступним чином:

– за призначенням – теплообмінники (Т), холодильники (Х), конденсатори (К) та випарники (И);

– за конструкцією – апарати з нерухомими трубними решітками (тип Н), температурним компенсатором на кожусі (тип К), з розширником на

кожусі (з нерухомими трубними решітками і температурним компенсатором на кожусі), з плаваючою головкою (тип П), U-подібними трубами (тип У) та для підвищених тисків і температур (тип ПК);

- за розташуванням у просторі – вертикальні (В) і горизонтальні (Г);
- за числом ходів у трубному просторі – одноходові та багатоходові;
- за компонованням – одинарні та здвоєні;
- за матеріальним виповненням – основні вузли і деталі з вуглецевої, низьколегованої, корозійностійкої сталі, латуні та титану.

До сучасних теплообмінних апаратів пред'являються такі основні вимоги:

- конструкція апарату має бути технологічною, надійною протягом передбаченого технічною документацією терміну служби, забезпечувати безпеку при виготовленні, монтажі і експлуатації, передбачати можливість огляду (у тому числі внутрішньої поверхні), очищення, промивання, продування і ремонту, а також забезпечувати можливість термообробки, передбаченої кресленням;

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

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

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

Кожухотрубчасті теплообмінні апарати з розширником на кожусі є модифікацією апаратів з нерухомими трубними решітками та температурним компенсатором на кожусі.

Зберігаючи всі переваги апаратів з нерухомими трубними решітками, вони разом з тим забезпечують підвищення теплової ефективності порівняно з ними за рахунок:

- збільшення поверхні теплообміну завдяки більш повному заповненню міжтрубного простору трубами внаслідок введення розширників в районі штуцерів та застосування труб із завуженими кінцями в рядах біля подовжніх перегородок у розподільній камері;

- збільшення коефіцієнта теплопередачі завдяки спрямуванню спеціальними кільцевими відбійниками середовища міжтрубного простору на трубну решітку. В цьому випадку виключаються застійні зони, і в теплообміну бере участь вся поверхня.

Кожухотрубчасті теплообмінні апарати з плаваючою головкою (тип П) застосовуються при практично необмеженій різниці температур труб і кожуха а також в тому випадку, якщо необхідна чистка зовнішньої (при розміщенні теплообмінних труб по вершинам квадратів) та внутрішньої поверхонь труб. В цих апаратах можлива також заміна пошкоджених труб. Разом з тим апарати типу П відрізняються більш складною конструкцією від апаратів типів Н і К.

Кожухотрубчасті теплообмінні апарати з U-подібними трубами застосовуються при більшій різниці температур труб і кожуха ніж апарати з температурним компенсатором на кожусі та при відсутності необхідності механічної очистки зовнішньої і внутрішньої поверхонь труб. В цих апаратах практично неможлива заміна пошкоджених труб. Разом з тим апарати типу ТУ відрізняються більш простою конструкцією порівняно з апаратами типу ТП.

2 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ТА КОНСТРУКЦІЇ КОЛОНИ І ПІДГРІВАЧА

2.1 Технологічна схема

Початкову суміш з проміжної ємкості $\epsilon 1$ відцентровим 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 збагачений легко летким компонентом.

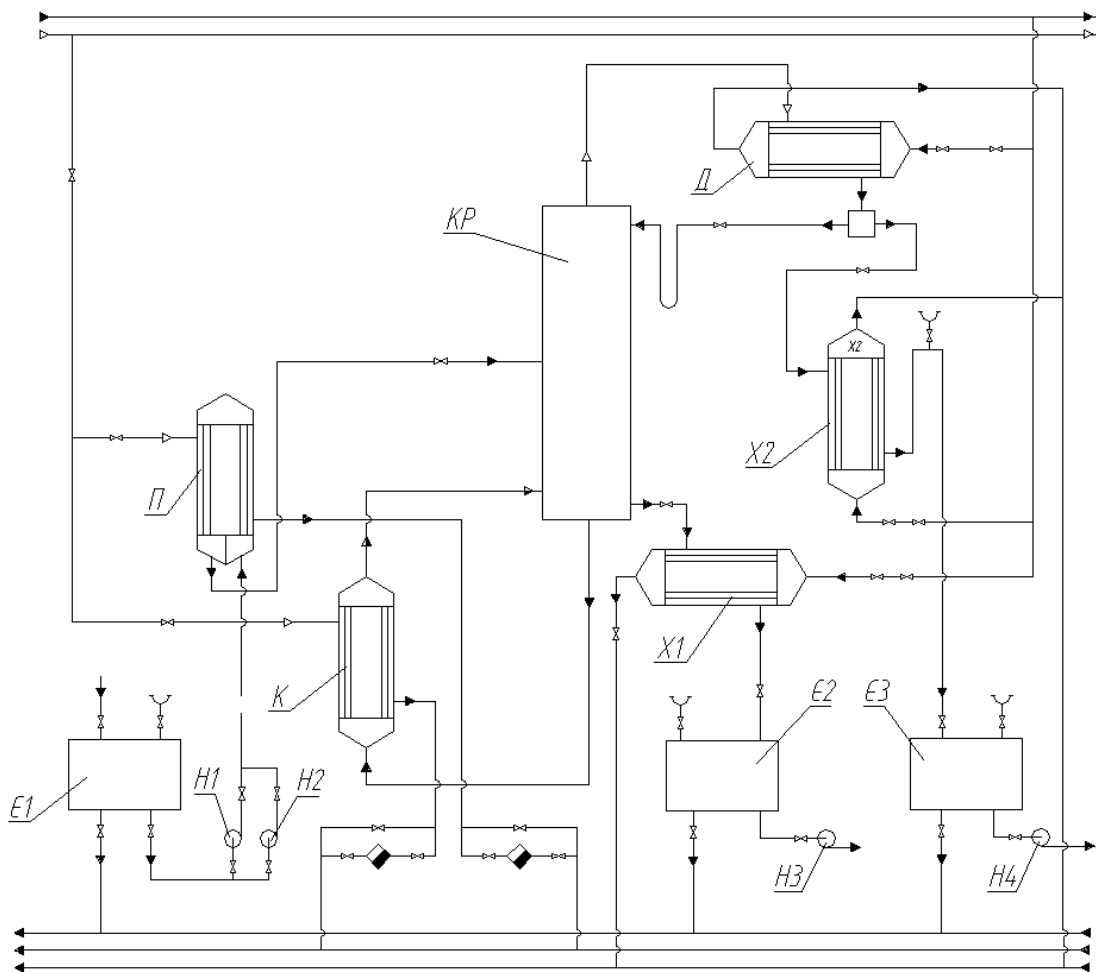


Рис. 2.1 Схема безперервно діючої ректифікаційної установки

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 ковпачкової колони

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

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

двох взаємно перпендикулярним створюючим корпуси апарату, дві вгорі і дві внизу.

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

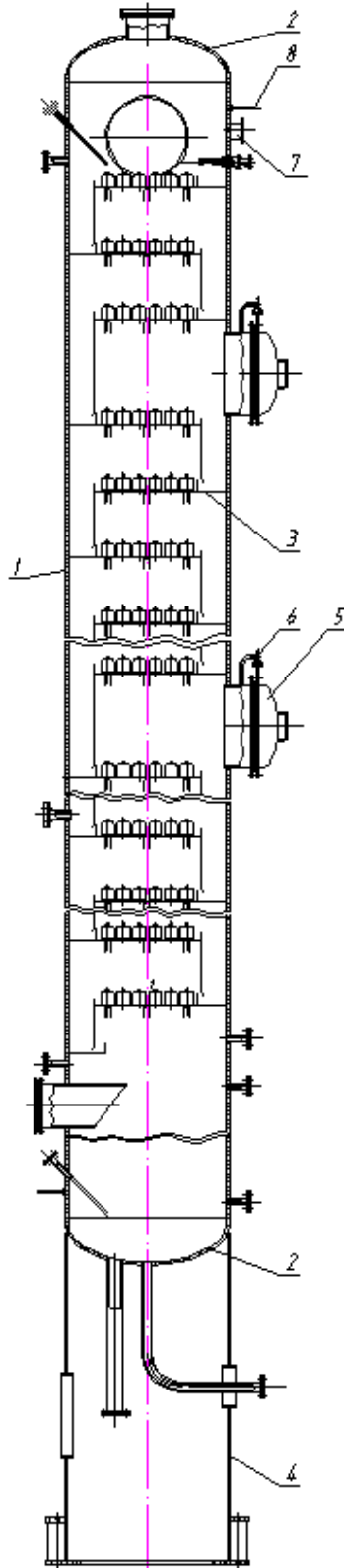


Рис. 2.2 Суцільнозварний колонний апарат з ковпачковими тарілками

Основною деталлю ковпачкової тарілки є ковпачок з патрубком в центрі. Вони менш чутливі до забруднень, чим ситчасті, і відрізняються вищим інтервалом стійкої роботи колони. При барботажі пари через прорізи ковпачків на тарілці утворюється піна, в якій відбувається інтенсивний

масообмін між рідиною і парою. Ковпачки виготовляють круглими і довгастими (тунельними), останні зараз не знаходять широкого застосування. Газ на тарілку поступає по патрубках, розбиваючись потім прорізами ковпачка на велике число окремих струменів. Далі газ проходить через шар рідини, що перетікає по тарілки від одного зливного пристрою до іншого.

При русі через шар значна частина дрібних струменів розпадається і газ розподіляється в рідині у вигляді бульбашок. Частину дистилляту повертають в колону після його конденсації в дефлегматорі. Дефлегматор розташовують вище або нижче за верх колони для того, щоб зменшити висоту установки. У останньому випадку флегму з дефлегматора подають в колону насосом. Розміщення дефлегматора вище колони часто застосовують при установці ректифікаційних колон поза будівлями, що економічніше в умовах помірного клімату.

У ковпачковій колоні кожна тарілка має декілька отворів з невисокими патрубками, призначеними для пропускання пари, що піднімається знизу. На тарілках колони завжди є шар флегми.

Зверху кожного парового патрубка вмонтовується ковпачок, нижні краї якого занурені в рідину. Ковпачки біля основи мають зубчасті прорізи для дроблення пари на дрібні цівки. Тим самим збільшується площа контакту між парою і рідиною. Оскільки флегма декілька холодніше за пару, остання, барботує через шар рідини, охолоджується і частково конденсується. В процесі конденсації пари виділяється деяка кількість теплоти. Крім того, дно кожної тарілки обігривається парами нижлежачей тарілки. За рахунок цього тепла флегма нагрівається і кипить. Рівень флегми на кожній тарілці підтримується за допомогою переливних труб, які зв'язують між собою всі тарілки.

Принцип дії тарільчастих колон полягає в барботажі пари через рідину на кожній тарілці, на якій підтримують певний рівень рідини. Флегма перетікає з верхньої тарілки на нижню по переливних трубках.

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

2.3 Опис конструкції підігрівача

Теплообмінник – це апарат, в якому здійснюється теплообмін між двома теплоносіями, що мають різні температури. За принципом дії теплообмінники підрозділяються на рекуператори і регенератори. У рекуператорах рухомі теплоносії розділені стінкою. До цього типу відносяться більшість теплообмінників різних конструкцій. У регенеративних теплообмінниках гарячий і холодний теплоносії контактують з однією і тією ж поверхнею по черзі. Теплота накопичується в стінці при контакті з гарячим теплоносієм і віддається при контакті з холодним.

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

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

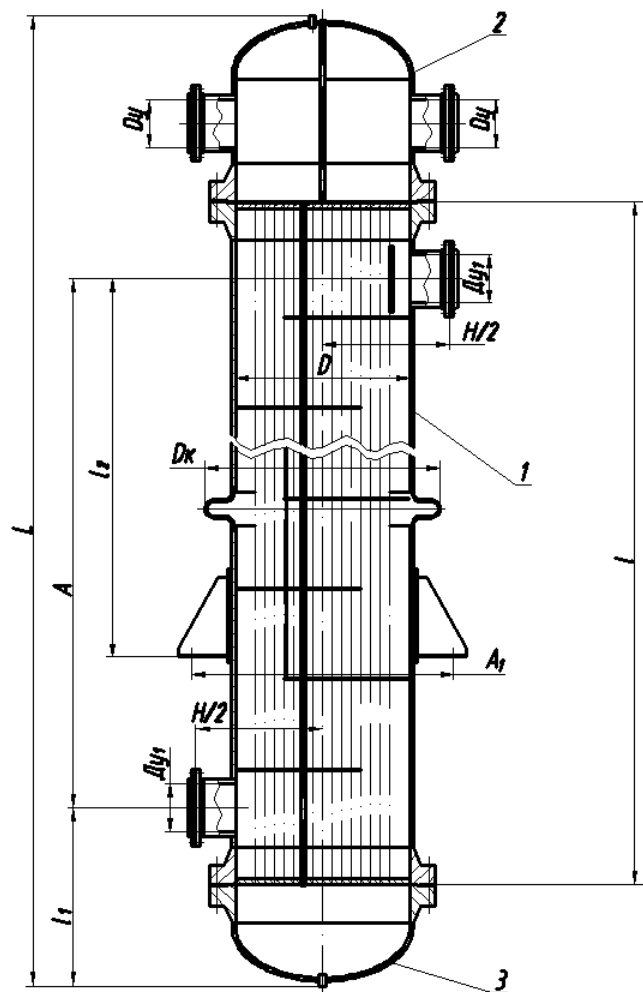


Рисунок 2.3 – Кожухотрубчастий теплообмінний апарат з температурним компенсатором на кожусі вертикальний двоходовий по трубах

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

3 ВИБІР ОСНОВНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

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

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

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

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

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

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

4 ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ РОЗМІРІВ КОЛОНИ ТА ПІДГРІВАЧА

Початкові дані

Продуктивність по початковій суміші	- 6,5 т/год.
Концентрація НКК (ацетону) :	
у початковій суміші	- $a_F = 67\%$ (мас.),
у дистиляті	- $a_P = 98\%$ (мас.),
у кубовому залишку	- $a_W = 12,1\%$
(мас.).	
Температура:	
охладжувальної води	- 12 °С,
дистиляту після холодильника	- 27 °С,
дистиляту після холодильника	- 27 °С,
початковій суміші	- 25 °С.
Тиск насиченої водяної пари	- 5,0 ата.
Коефіцієнт надлишку флегми	- 1,5.
Молярні маси:	
ацетону	- 58 г/моль,
води	- 18 г/моль.
Температури кипіння :	
ацетону	- 56,9 °С,
води	- 100 °С.
Колона працює під атмосферним тиском.	

4.1 Визначення продуктивності по дистиляту і кубовому залишку

Продуктивність колони по дистиляту визначаємо по формулі:

$$G_P = G_F \cdot \frac{a_F - a_W}{a_P - a_W} = 6500 \cdot \frac{0,67 - 0,121}{0,98 - 0,121} = 4154,25 \text{ кг/ч} = 1,15 \text{ кг/с.}$$

Продуктивність колони по кубовому залишку визначаємо з рівняння:

$$G_W = G_F - G_P = 6500 - 4154,25 = 2345,75 \text{ кг/ч} = 0,651 \text{ кг/с.}$$

Перевірка:

$$6500 \cdot 0,67 = 4154,25 \cdot 0,98 + 2345,75 \cdot 0,121$$

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

$$4355 = 4355$$

4.2 Визначення мінімального і дійсного флегмового числа

Перераховуємо масові концентрації в молярні по формулі:

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

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

Тоді концентрація початкової суміші:

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

дистиляту:

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

кубового залишку:

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

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

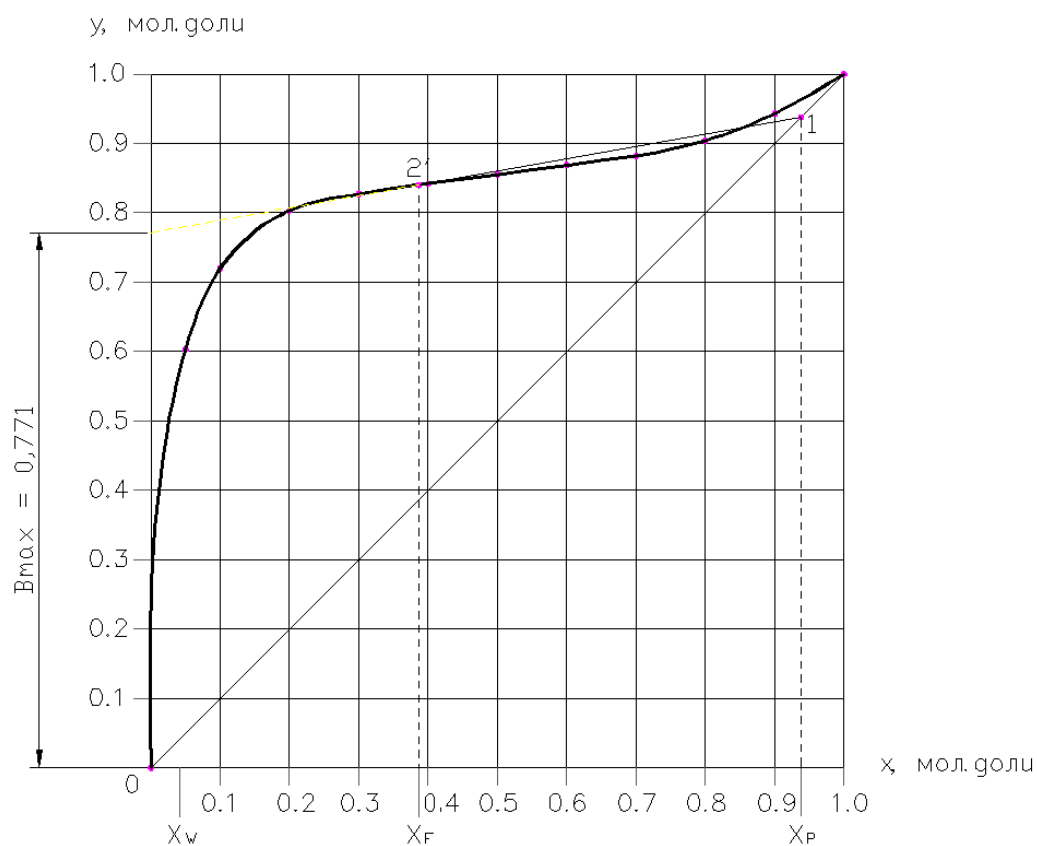


Рис. 4.1 – до визначення мінімального флегмового числа

Таблиця 4.1 - Рівноважні дані для суміші ацетон - вода.

Вміст компонента А, мол. %		Температура кипіння $t, ^\circ\text{C}$
у рідині (x)	у парі (y)	
0	0	100,0
5	60,3	77,9
10	72	69,6
20	80,3	64,5
30	82,7	62,6
40	84,2	61,6
50	85,5	60,7
60	86,9	59,8
70	88,2	59
80	90,4	58,2
90	94,3	57,5
100	100	56,9

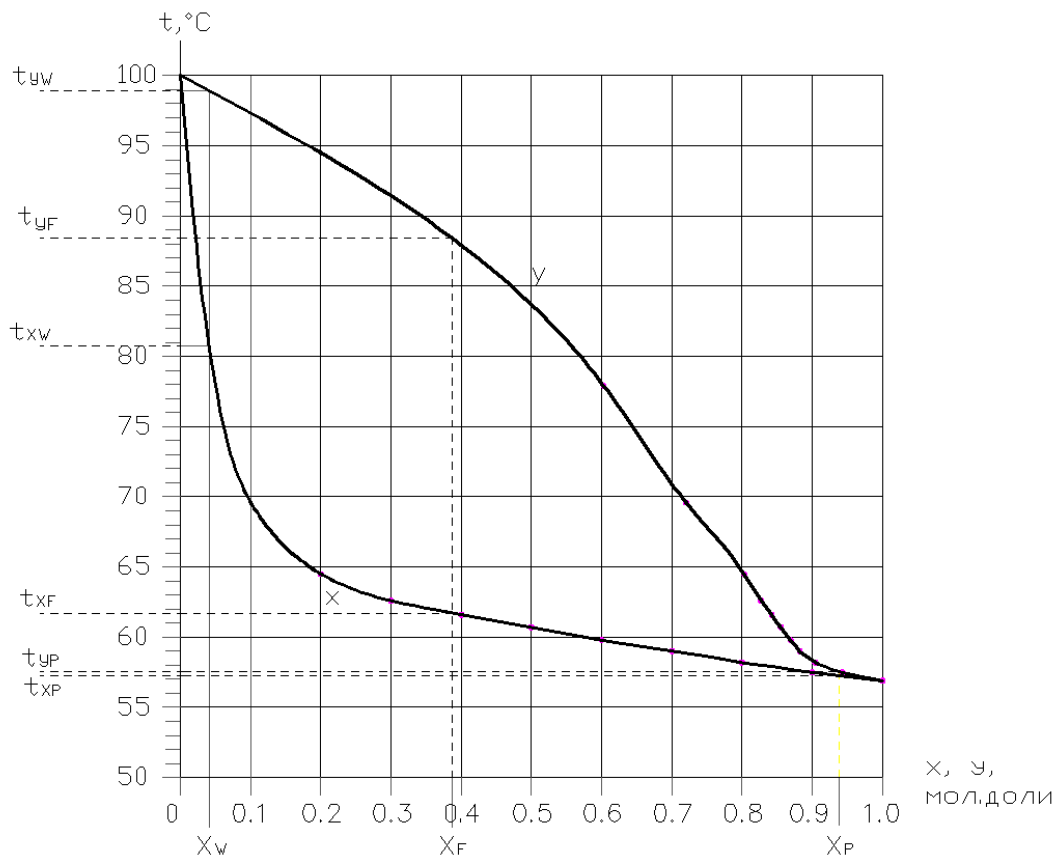


Рис. 4.2 – Ізобара температур кипіння і конденсації

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

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

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

Дійсне флегмове число:

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

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

($x_p = y_p$); точку перетину цієї прямої з вертикальною лінією, проведеною з абсциси x_F , і точку (x_F, y_F) сполучаємо з точкою ($x_w = y_w$). Отримані лінії є

робочими лініями для верхньої і нижньої частин колони, відповідно.

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

Рідка фаза

Середня мольна концентрація в нижній частині колони:

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

Середня мольна концентрація у верхній частині колони:

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

Середня мольна концентрація по колоні:

$$X_{cp} = \frac{X_{cp}^i + X_{cp}^{\hat{a}}}{2} = \frac{0,214 + 0,663}{2} = 0,439$$

Середня масова концентрація по колоні:

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

Середня температура в нижній частині колони:

$$t_{\delta cp}^i = \frac{t_{XW} + t_{XF}}{2} = \frac{80,9 + 61,9}{2} = 71,4 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Середня температура у верхній частині колони:

$$t_{\delta cp}^{\hat{a}} = \frac{t_{XF} + t_{XD}}{2} = \frac{61,9 + 57,1}{2} = 59,5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Середня температура по колоні:

$$t_{X\delta} = \frac{t_{\delta cp}^i + t_{\delta cp}^{\hat{a}}}{2} = \frac{71,4 + 59,5}{2} = 65,5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Значення t_{XW} , t_{XF} , t_{XP} узяті з діаграми $t - x$, y (рис. 4.2).

Середня молярна маса:

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

Середня щільність визначається по формулі:

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

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

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

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

Середнє поверхнєве натягнення визначаємо по рівнянню:

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

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

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

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

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

Середню в'язкість розраховуємо по рівнянню:

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

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

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

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

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

Коефіцієнт дифузії при середній температурі визначаєм:

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

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

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

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

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

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

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

A, B - коефіцієнти, залежні від властивостей компонентів, A = 1; Y = 1.

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

Молярні об'єми компонентів :

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

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

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

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

Парова фаза

Середня мольна концентрація в нижній частині колони:

$$\dot{O}_{\text{cp}}^i = \frac{\dot{O}_W + \dot{O}_F}{2} = \frac{0,041 + 0,802}{2} = 0,422$$

Середня мольна концентрація у верхній частині колони:

$$\dot{O}_{\text{cp}}^a = \frac{\dot{O}_F + \dot{O}_P}{2} = \frac{0,802 + 0,938}{2} = 0,87$$

Середня мольна концентрація по колоні:

$$\dot{O}_{\text{cp}} = \frac{\dot{O}_{\text{cp}}^i + \dot{O}_{\text{cp}}^a}{2} = \frac{0,422 + 0,87}{2} = 0,646$$

Середня температура в нижній частині колони:

$$t_{\dot{O}_{\text{cp}}}^i = 93,75 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Середня температура у верхній частині колони:

$$t_{\dot{O}_{\text{cp}}}^a = 73,05 \text{ }^\circ\text{C}.$$

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

Середня температура по колоні:

$$t_{\dot{O}_{\text{нд}}} = \frac{t_{\dot{O}_{\text{cp}}}^i + t_{\dot{O}_{\text{cp}}}^a}{2} = \frac{93,75 + 73,05}{2} = 83,4 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Середня мольна маса:

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

Середня щільність:

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

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

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

Середня в'язкість:

$$\frac{\dot{I}_{\text{ср}}}{\mu_{\text{ср}}} = \frac{\dot{I}_{\text{A}}}{\mu_{\text{A}}} + \frac{(1 - \dot{I}_{\text{ср}}) \cdot \dot{I}_{\text{B}}}{\mu_{\text{B}}},$$

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

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

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

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

Коефіцієнт дифузії для парової фази визначуваній по рівнянню:

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

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

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

4.4 Визначення діаметру колони

Діаметр колони визначаємо по рівнянню:

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

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

$$V_{\dot{o}} = \frac{G_{\dot{o}}}{\rho_{\dot{o} \text{ cp}}} = \frac{G_p \cdot (R+1)}{\rho_{\dot{o} \text{ cp}}} = \frac{4154,25 \cdot (0,326+1)}{1,451 \cdot 3600} = 1,055 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Заздалегідь приймаємо відстань між тарілками $h = 300 \text{ мм}$. Використовуємо раніше знайдені $\rho_{x \text{ cp}} = 794,16 \text{ кг/м}^3$ і $\rho_{y \text{ cp}} = 1,451 \text{ кг/м}^3$. Для колпачкових тарілок по довіднику знаходимо $C = 0,03$. Тоді швидкість пари в колоні:

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

Тоді діаметр колони:

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

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

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

4.5 Визначення висоти колони

Знаходимо коефіцієнт масовіддачі в рідкій фазі:

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

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

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

Коефіцієнт масовіддачі в паровій фазі:

$$\beta_{yf} = \frac{D_y}{224} \cdot (0,79 \cdot Re_y + 11000) = \frac{2,277 \cdot 10^{-4}}{224} \cdot (0,79 \cdot 1,322 \cdot 10^4 + 11000) = 0,218 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2 / \text{с}^2}{\text{кг} \cdot \text{м}^2 / \text{с}^2}.$$

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

Загальний коефіцієнт масопередачі K_{yf} :

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

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

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

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

Таблиця 4.2 - Визначення коефіцієнта масопередачі

x	0,04 1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,93 8
$y^* - y$	0,53	0,55	0,41	0,21	0,03 6	0,02 5	0,01 4	0,002 6	0	0,01 4	0,02 5
$x - x^*$	0,04 1	0,1	0,19	0,25	0,19	0,18	0,10	0,018	0	0,03 1	0,04 8
m	13	5,5	2,16	0,84	0,19	0,14	0,14	0,14	0	0,45	0,52
$K_{yf} \cdot 10^3$	0,00 7	0,01 5	0,03 4	0,07 1	0,14 8	0,16 2	0,16 2	0,162	0	0,10 3	0,09 5

Для побудови кінетичної кривої скористаємося формулою:

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

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

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

Мольна витрата пари по колоні:

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

Таблиця 4.3 - До побудови кінетичної кривої

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

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

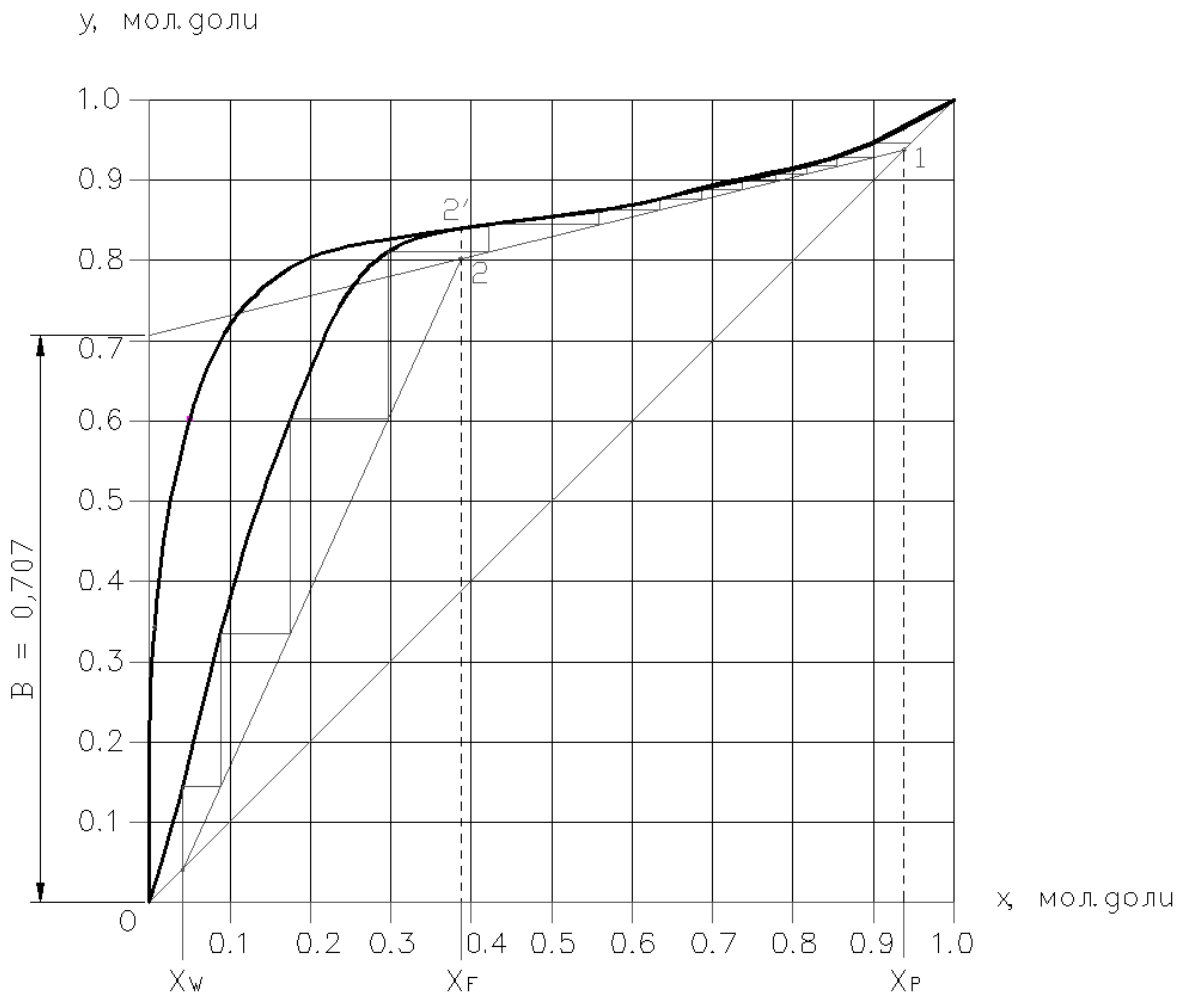


Рис. 4.3 – Побудова кінетичної кривої і визначення числа дійсних тарілок

В результаті побудови отримуємо число дійсних тарілок $n=15$, тарілка живлення 4-а знизу.

Висоту колони визначаємо по рівнянню:

$$H = (n - 1) \cdot h + H_{\text{сеп}} + H_{\text{куб}} = (15 - 1) \cdot 0,3 + 0,8 + 2,0 = 7 \text{ м.}$$

4.6 Визначення гідравлічного опору колони з колпачковими тарілками

По таблиці вибираємо тарілку типу МС К-Р для колони діаметром $D = 1400$ мм. Ця тарілка має наступні параметри:

робоча площа тарілки	$F_p = 1,12 \text{ м}^2$;
площа проходу пари	$F_o = 0,162 \text{ м}^2$;
площа зливу	$F_{\text{сл}} = 0,198 \text{ м}^2$;
периметр зливу	$\Pi = 1,090 \text{ м}$;
довжина шляху зливу	$l_x = 0,933 \text{ м}$;
кількість ковпачків на тарілці	$m = 49$;
діаметр ковпачка	100 мм.

Опір сухої тарілки:

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

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

де F_o – площа проходу пари, м^2 .

Глибина барботажу, згідно з рівнянням:

$$h_{\text{а.а}} = (0,7 / \rho_{\text{всп}}) \cdot D^{0,35} = \frac{0,7}{794,16} \cdot 98100^{0,35} = 0,049 \text{ м.}$$

Висота підпору рідини над зливним порогом по рівнянню:

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

тут

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

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

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

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

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

Висоту установки ковпачка прийємо $h_y = 10$ мм.

Висоту зливного порогу знайдемо по рівнянню:

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

Тоді величина перепаду рівня рідини на тарілці:

$$\Delta h = 0,1 \cdot \lambda_y \frac{l_{\delta} \cdot V_x^2}{\dot{I}^2 (h_{\text{ю}} + h_{\text{нє}})^3 \cdot g} = 0,1 \cdot 14,9 \frac{0,933 \cdot 0,003^2}{1,090^2 (0,066 + 0,013)^3 \cdot 9,81} = 0,002 \text{ і} .$$

Опір шару рідині на тарілці, згідно з рівнянням:

$$\Delta P_{\text{нє}} = \left(h_{\text{а.а}} + \frac{h_{\text{ю}} + \Delta h}{2} \right) \cdot \rho_{x \text{cp}} \cdot g = \left(0,049 + \frac{0,02 + 0,002}{2} \right) \cdot 794,16 \cdot 9,81 = 467,44 \text{ Па} .$$

Тоді гідравлічний опір тарілки (нехтуючи ΔP_{σ})

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

а гідравлічний опір колони

$$\Delta P_K = n \cdot \Delta P_T = 15 \cdot 605,8 = 9087 \text{ Па.}$$

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

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

$$h_{\text{п}} = \frac{K_2}{\sigma_{x \text{cp}}^{0,33}} (K_3 \cdot W^2 \cdot \rho_{y \text{cp}} + K_4 \cdot h_{\text{нє}} + h_{\text{ю}}) = \\ = \frac{0,23}{(44,46 \cdot 10^{-3})^{0,33}} (4,4 \cdot 10^{-2} \cdot 0,86^2 \cdot 1,451 + 4,6 \cdot 0,013 + 0,066) = 0,1 \text{ і} .$$

Тоді величина відносного віднесення рідини

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

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

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

4.7 Визначення діаметру штуцерів

Діаметр штуцера визначаємо по рівнянню постійності витрати:

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

Штуцер входу флегми:

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

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

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

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

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

Штуцер входу початкової суміші:

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

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

при $t_{XF} = 61,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$:

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

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

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

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

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

Штуцер виходу кубового залишку:

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

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

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

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

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

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

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

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

$$V_{\text{в.в}} = \frac{G_F + G_{\text{д}} - G_w}{\rho_{\text{в}}} = \frac{6500 + 4154,25 \cdot 0,326 - 2345,75}{3600 \cdot 971} = 0,002 \text{ м}^3/\text{с}.$$

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

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

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

Штуцер виходу пари з колони:

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

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

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

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

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

4.8 Теплові розрахунки

Підігрівач початкової суміші

Рівняння теплового балансу для підігрівача:

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

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

t_{XF} – температура кипіння початкової суміші;

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

Питома теплоємність початкової суміші :

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

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

$$t_{XF}^{cp} = \frac{t_{XF} + t_{іа\ddot{a}}}{2} = \frac{61,9 + 25}{2} = 43,5 \text{ } ^\circ\text{C};$$

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

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

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

Вт.

Витрата гріючої пари:

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

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

Середня різниця температур:

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

$$25 \longrightarrow 61,9$$

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

Велика різниця температур :

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

Менша різниця температур :

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

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

визначаємо по рівнянню:

$$\Delta t_{\text{н\ddot{o}}} = \frac{\Delta t_{\text{а}} + \Delta t_{\text{i}}}{2} = \frac{126,1 + 89,2}{2} = 107,6 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Така різниця температур потребує використання теплообмінника з плаваючою голівкою або з U-подібними трубами, тому пропонується знизити параметри гріючого пару: абсолютний тиск $P=1,4$ МПа, $T=109$ °С.

Маємо:

$$\Delta t_{\text{\ddot{o}}} = 109 - 25 = 84 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_{\text{м}} = 109 - 61,9 = 47,1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Так як $\frac{\Delta t_{\text{а}}}{\Delta t_{\text{i}}} = \frac{84}{47,1} = 1,78 \leq 2$, тоді середню різницю температур визначаєм

за рівнянням:

$$\Delta t_{\text{н\ddot{o}}} = \frac{\Delta t_{\text{а}} + \Delta t_{\text{i}}}{2} = \frac{84 - 47,1}{2} = 65,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

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

Поверхня теплообміну підігрівача початкової суміші :

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{\text{н\ddot{o}}}} = \frac{202250}{250 \cdot 65,5} = 8,2 \text{ м}^2.$$

- Приймаємо двоходовий кожухотрубчастий теплообмінник з наступними характеристиками:

- діаметр кожуха 325 мм;
- труба 20x2 мм;
- кількість труб в теплообміннику 90 шт;
- довжина труб 1,5 м;
- поверхня теплообміну $8,5 \text{ м}^2$.

Дефлегматор (конденсатор)

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

$$Q_{\text{д}} = G_{\text{р}} \cdot (R + 1) \cdot r_{\text{р}} = G_{\text{в}} \cdot C_{\text{в}} \cdot (t_{\text{к}} - t_{\text{н}}),$$

тут $r_{\text{р}} = a_{\text{р}} \cdot r_{\text{А}} + (1 - a_{\text{р}}) \cdot r_{\text{В}}$.

Питомі теплоти пароутворення ацетону r_A і води r_B при $t_{XP}=57,6^\circ\text{C}$:

$$r_A = 522 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}; r_B = 2365 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

$$r_P = 0,98 \cdot 522 + (1 - 0,98) \cdot 2365 = 559 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

$$Q_D = (4154,25/3600) \cdot (0,326 + 1) \cdot 559 \cdot 10^3 = 855353 \text{ Вт}.$$

Приймаємо температуру охолоджувальної води на виході з дефлегматора 25°C , тоді витрата охолоджувальної води :

$$G_{\dot{A}} = \frac{Q_{\dot{A}}}{\tilde{N}_{\dot{A}} \cdot (t_{\dot{e}} - t_{\dot{i}})} = \frac{855353}{4190 \cdot (25 - 12)} = 15,703 \text{ кг/с}.$$

Середня різниця температур при протитечійній схемі руху теплоносіїв :

$$57,1^\circ\text{C} \quad \longrightarrow \quad 57,1^\circ\text{C}$$

$$25^\circ\text{C} \quad \longleftarrow \quad 12^\circ\text{C}$$

Велика різниця температур:

$$\Delta t_{\dot{e}} = 57,1 - 12 = 45,1^\circ\text{C};$$

Менша різниця температур:

$$\Delta t_{\dot{i}} = 57,1 - 25 = 32,1^\circ\text{C}.$$

Оскільки $\frac{\Delta t_{\dot{e}}}{\Delta t_{\dot{i}}} = \frac{45,1}{32,1} = 1,4 < 2$, то

$$\Delta t_{\dot{n}\dot{o}} = \frac{\Delta t_{\dot{e}} + \Delta t_{\dot{i}}}{2} = \frac{45,1 + 32,1}{2} = 38,6^\circ\text{C}.$$

Приймаємо орієнтовно коефіцієнт теплопередачі $K = 500 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$.

Поверхня теплообміну дефлегматора :

$$F = \frac{Q_{\dot{A}}}{K \cdot \Delta t_{\dot{n}\dot{o}}} = \frac{855353}{500 \cdot 38,6} = 44,319 \text{ м}^2.$$

Приймаємо одноходовий кожухотрубчастий теплообмінник з наступними характеристиками:

- діаметр кожуха 400 мм;
- труба 20x2 мм;
- кількість труб в теплообміннику 181 шт;
- довжина труб 4 м;

- поверхня теплообміну 46 м^2 .

Холодильники дистиляту і кубового залишку

Витрата теплоти, що віддається охолоджувальній воді у водяному холодильнику дистиляту, визначається з рівняння теплового балансу :

$$Q = G_P \cdot c_p' \cdot (t_{Xp} - t_{p \text{ кон}}) = G_B \cdot C_B \cdot (t_k - t_n),$$

де c_p' – теплоємність дистиляту при його середній температурі $(t_{Xp} + t_{p \text{ кон}})/2$;

$t_{p \text{ кон}}$ – кінцева температура дистиляту після холодильника, $^{\circ}\text{C}$ (по умові завдання).

$$c_p' = a_p \cdot C_A + (1 - a_p) \cdot C_B,$$

$$C_A = 0,537 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}}; C_B = 0,998 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}}, \text{ при середній температурі:}$$

$$t_{\text{ср}} = \frac{t_{Xp} + t_{p \text{ сії}}}{2} = \frac{57,1 + 27}{2} = 42,05^{\circ}\text{C}.$$

$$c_p' = 0,98 \cdot 0,537 + (1 - 0,98) \cdot 0,998 = 0,546 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}} = 2287,74 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$

$$Q = G_P \cdot c_p' \cdot (t_{Xp} - t_{p \text{ кон}}) = (4154,25/3600) \cdot 2287,74 \cdot (57,1 - 27) = 79463 \text{ Вт}.$$

Витрата охолоджувальної води при нагріванні її на 15°C в холодильнику товарного дистиляту:

$$G_{\hat{A}} = \frac{Q}{\tilde{N}_{\hat{A}} \cdot (t_{\hat{e}} - t_{\hat{i}})} = \frac{79463}{4190 \cdot (27 - 12)} = 1,264 \text{ кг/с}.$$

Середня різниця температур при протитечійній схемі руху теплоносіїв :

$$57,1^{\circ}\text{C} \quad \longrightarrow \quad 27^{\circ}\text{C}$$

$$27^{\circ}\text{C} \quad \longleftarrow \quad 12^{\circ}\text{C}$$

Велика різниця температур:

$$\Delta t_6 = 57,1 - 27 = 30,1^{\circ}\text{C};$$

Менша різниця температур:

$$\Delta t_M = 27 - 12 = 15^{\circ}\text{C}.$$

Оскільки $\frac{\Delta t_{\dot{a}}}{\Delta t_i} = \frac{30,1}{15} = 2$, то середню різницю температур визначаємо по формулі:

$$\Delta t_{\dot{n}\dot{o}} = \frac{\Delta t_{\dot{a}} + \Delta t_i}{2} = \frac{30,1 + 15}{2} = 22,55 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

При орієнтовному значенні $K = 400 \text{ Вт/м}^2$ оверхня теплообміну холодильника товарного дистилляту складе:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{\dot{n}\dot{o}}} = \frac{39463}{400 \cdot 22,55} = 8,81 \text{ м}^2.$$

Приймаємо одноходовий кожухотрубчастий теплообмінник з наступними характеристиками:

- діаметр кожуха 325 мм;
- труба 20x2 мм;
- кількість труб в теплообміннику 100 шт;
- довжина труб 1,5 м;
- поверхня теплообміну 9,5 м².

Витрата теплоти, що віддається охолоджувальній воді у водяному холодильнику кубового залишку, визначається з рівняння теплового балансу :

$$Q = G_w \cdot c_w' \cdot (t_{Xw} - t_{w \text{ кон}}) = G_B \cdot C_B \cdot (t_k - t_n),$$

де C_w – теплоємність кубового залишку при його середній температурі $(t_{Xw} + t_{w \text{ кон}})/2$;

$t_{w \text{ кон}}$ – кінцева температура кубового залишку після холодильника, $^\circ\text{C}$ (по умові завдання)

$$c_w' = a_w \cdot C_A + (1 - a_w) \cdot C_B,$$

$$C_A = 0,567 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}; C_B = 1,0 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}, \text{ при середній температурі:}$$

$$t_{\dot{n}\dot{o}} = \frac{t_{Xw} + t_{w \text{ вїї}}}{2} = \frac{80,9 + 27}{2} = 53,95 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

$$c_w' = 0,121 \cdot 0,567 + (1 - 0,121) \cdot 1,0 = 0,948 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} = 3972,12 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$Q = G_w \cdot c_w' \cdot (t_{Xw} - t_{w \text{ кон}}) = (2345,75/3600) \cdot 3972,12 \cdot (80,9 - 27) = 139505$$

Вт.

Витрата охолоджувальної води при нагріванні її на 15 °С в холодильнику кубового залишку :

$$G_A = \frac{Q}{\tilde{N}_A \cdot (t_e - t_i)} = \frac{139505}{4190 \cdot (27 - 12)} = 2,22 \text{ кг/с.}$$

Середня різниця температур при протитечійній схемі руху теплоносіїв :

$$80,9^\circ\text{C} \quad \longrightarrow \quad 27^\circ\text{C}$$

$$27^\circ \quad \longleftarrow \quad 12^\circ\text{C}$$

Велика різниця температур:

$$\Delta t_{\text{б}} = 80,9 - 27 = 53,9^\circ\text{C};$$

Менша різниця температур:

$$\Delta t_{\text{м}} = 27 - 12 = 15^\circ\text{C}.$$

Оскільки $\frac{\Delta t_{\text{б}}}{\Delta t_{\text{м}}} = \frac{53,9}{15} = 3,59 > 2$, то середню різницю температур

визначаємо по формулі:

$$\Delta t_{\text{нб}} = \frac{\Delta t_{\text{б}} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln(\Delta t_{\text{б}} / \Delta t_{\text{м}})} = \frac{53,9 - 15}{\ln(53,9/15)} = 30,41^\circ\text{C}.$$

При орієнтовному значенні $K = 400 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$, поверхня теплообміну холодильника кубового залишку складе:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{\text{нб}}} = \frac{139505}{400 \cdot 30,41} = 11,47 \text{ м}^2.$$

Приймаємо одноходовий кожухотрубчастий теплообмінник з наступними характеристиками:

- діаметр кожуха 273 мм;
- труба 20x2 мм;
- кількість труб в теплообміннику 61 шт;
- довжина труб 3 м;
- поверхня теплообміну 11,5 м².

Кип'ятильник (випарник)

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 приймаємо 3% від теплоти, що корисно витрачається; питомі теплоємності узяті відповідно при $t_{XP} = 57,1^\circ\text{C}$, $t_{XF} = 61,9^\circ\text{C}$, $t_{XW} = 80,9^\circ\text{C}$.

$$\begin{aligned} C_P &= a_P \cdot C_A + (1 - a_P) \cdot C_B = 0,98 \cdot 0,548 + (1 - 0,98) \cdot 0,999 = \\ &= 0,557 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} = 2333,83 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_F &= a_F \cdot C_A + (1 - a_F) \cdot C_B = 0,67 \cdot 0,55 + (1 - 0,67) \cdot 1,0 = \\ &= 0,699 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} = 2928,81 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_W &= a_W \cdot C_A + (1 - a_W) \cdot C_B = 0,121 \cdot 0,567 + (1 - 0,121) \cdot 1 = \\ &= 0,948 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} = 3972,12 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \end{aligned}$$

$$Q_k = 1,03 \cdot (855353 + \frac{4154,25}{3600} \cdot 2333,83 \cdot 57,1 + \frac{2345,75}{3600} \cdot 3972,12 \cdot 80,9 - \frac{6500}{3600} \cdot 2928,81 \cdot 61,9) = 917918 \text{ Вт}$$

Витрата гріючої пари при $P = 5$ ата:

$$G_{\text{а.і}} = \frac{Q_{\hat{e}}}{r} = \frac{917918}{2117 \cdot 10^3} = 0,434 \text{ кг/с.}$$

Середня різниця температур дорівнює різниці між температурою насиченої пари при $P = 5$ кгс/см² і температурою кипіння кубового залишку :

$$\Delta t_{\text{ср}} = 151,1 - 80,9 = 70,2^\circ\text{C}.$$

При орієнтовно прийнятому коефіцієнті теплопередачі $K = 2000 \text{ Вт/м}^2\text{К}$, поверхня кип'ятильника складе:

$$F = \frac{Q_{\hat{e}}}{K \cdot \Delta t_{\text{н\ddot{o}}}} = \frac{917918}{2000 \cdot 70,2} = 6,538 \text{ м}^2.$$

- Приймаємо одноходовий кожухотрубчастий теплообмінник з наступними характеристиками:

- діаметр кожуха 325 мм;
- труба 25x2 мм;
- кількість труб в теплообміннику 62 шт;
- довжина труб 1,5 м;
- поверхня теплообміну 7,5 м²

Примітка:

При розрахунку поверхні кип'ятильника температура кипіння кубової рідини

$t_{xw} = 80,9$ °С узята при атмосферному тиску. Не враховано збільшення температури кипіння кубової рідини у зв'язку зі збільшенням тиску в кубі колони на величину $\Delta P_k = 0,1-0,15$ кгс/см².

5 РОЗРАХУНКИ НА МІЦНІСТЬ ЕЛЕМЕНТІВ ПІДГРІВАЧА

5.1 Початкові дані:

Наружний діаметр кожуха D , мм	325
Довжина теплообмінних труб l , мм	1500
Зовнішній діаметр теплообмінної труби d_o , мм	20
Товщина стінки труби S_o , мм	2
Число ходів по трубах	2
Розрахунковий тиск в трубному просторі, МПа	1,6
Розрахунковий тиск в міжтрубному просторі, МПа	1,6
Розрахункова температура труб, °С	100
Розрахункова температура кожуха, °С	160
Матеріал кожуха	СтЗсп
Матеріал розподільної камери	СтЗсп
Матеріал теплообмінних труб	Сталь 10
Матеріал трубної решітки	Сталь 16ГС
Матеріал перегородок	СтЗсп5
Матеріал прокладок розподільної камери	пароніт
Група теплообмінника	1

5.2 Визначення розрахункових параметрів

5.2.1 Розрахункова температура

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

$$t_{\text{eai}} = 2 \cdot t_o - t_e \quad (5.1)$$
$$t_{\text{eai}} = 2 \cdot 100 - 160 = 40 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Розрахункову температуру ізольованих фланців визначаємо за формулою:

$$t_o = t_{\text{eai}}, \quad (5.2)$$

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

$$t_{\delta} = t_{\text{eai}} = 40 \text{ }^{\circ}\text{Ñ}.$$

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

$$t_{\delta} = t_{\text{e}} = 160 \text{ }^{\circ}\text{Ñ}.$$

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

$$t_{\text{a}} = 0,97 \cdot t_{\text{eai}} \quad (5.3)$$

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

$$t_{\text{a}} = 0,97 \cdot t_{\text{eai}}$$

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

Розрахункова температура болтів фланцевих з'єднань штуцерів міжтрубного простору:

$$t_{\text{a}} = 0,97 \cdot t_{\text{e}}$$

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

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	СтЗсп	154	144,4	1,066
Розподільна камера	СтЗсп	154	149	1,0336
Теплообмінні труби	Сталь 10	130	125	1,040
Трубна решітка	Сталь 16ГС	196	169,8	1,154
Перегородки	СтЗсп	154	149	1,0336
Фланці розподільної камери	СтЗсп	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

$$\varphi_p = 1$$

5.2.4 Робочий, розрахунковий і пробний тиск

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

Розрахунковий тиск визначаємо за формулою

$$P = \max \{ |P_{\delta}|; |P_{\epsilon}|; |P_{\delta} - P_{\epsilon}| \}, \quad (5.4)$$

де P_{δ} - розрахунковий тиск в трубному просторі, МПа;

P_{ϵ} - 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, $P_{тр}=1,6$ МПа, $P_{к}=1,6$ 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

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

Гідростатичний тиск при випробуванні трубного простору теплообмінника

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

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

Гідростатичний тиск при випробуванні

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

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

$$P_{\hat{a}\hat{o}} = P_{\hat{i}\hat{o}\hat{o}} = 2,1 \text{ МПа}$$

Умова

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

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

$$P_{\hat{i}\hat{o}\hat{e}} = 1,25 P_{\hat{e}} \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,25 \cdot 1,6 \cdot 1,0336 = 2,1 \text{ МПа} \quad ;$$

Гідростатичний тиск при випробуванні міжтрубного простору

$$P_{\hat{a}\hat{a}\hat{e}} = \rho_{\hat{a}} \cdot g \cdot H_{\hat{e}} \cdot 10^{-6} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 3 \cdot 10^{-6} = 0,03 \text{ МПа} \leq \\ \leq 0,05 P_{\hat{i}\hat{o}\hat{e}} = 0,05 \cdot 2,1 = 0,1 \text{ МПа}$$

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

$$P_{\hat{e}\hat{e}} = P_{\hat{i}\hat{o}\hat{e}} = 2,1 \text{ МПа} \quad ;$$

Умова

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

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:

$$\tilde{N}_p = C_1 + C_2 + C_3, \quad (5.9)$$

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

C_2 – добавка для компенсації мінусового допуску, мм;

Добавка 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 – добавка для компенсації ерозії, $C_3=0$.

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

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

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

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

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

Суму добавки до розрахункової товщини стінки визначаємо за формулою:

$$C_2 = 0,15 \cdot S_1 \tag{5.11}$$

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

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

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

Сума добавок до розрахункової товщини еліптичного днища

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

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

5.3 Розрахунок товщини стінки кожуха

5.3.1 Розрахунок циліндричної обичайки кожуха

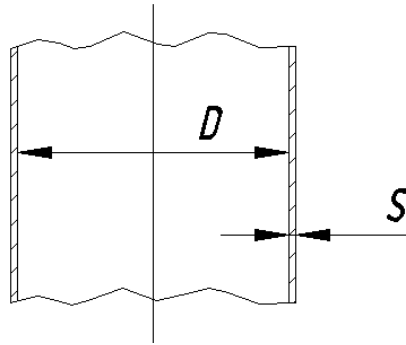


Рис. 5.1 - циліндрична обичайка

Розрахункова товщина стінки апарата визначається за формулою

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

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

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

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

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

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

Виконавча товщина стінки обичайки кожуха визначається за формулою

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

$$S \geq 1,7 + 2,2 = 3,9 \text{ мм}$$

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

Визначення допустимого надлишкового тиску

Для набутого значення S розраховуємо допустимий внутрішній надлишковий тиск за формулою

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

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

При цьому повинна виконуватися умова

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

1,6 МПа < 5,3 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)

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

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, $[\sigma]_k = 149$ Їа ;

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

$$S_\delta = \frac{1,6 \cdot 309}{2 \cdot 149 \cdot 1 - 1,6} = 1,7 \text{ и}$$

Виконавча товщина стінки обичайки кожуха визначається за формулою (5.13)

$$S \geq 1,7 + 2,2 = 3,9 \text{ и}$$

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)

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

При цьому повинна виконуватися умова (5.15)

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

Перевірка умов застосування розрахункових формул

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

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

умова виконується, отже, формули застосовуються.

5.4.2 Розрахунок товщини стінки днища камери

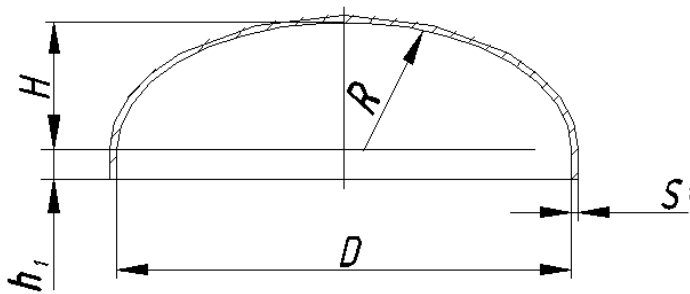


Рис. 5.2 - еліптичне днище

Розрахункова товщина стінки днища камери визначається за формулою

$$S_{1p} = \frac{P_r \cdot R}{2 \cdot [\sigma]_r \cdot \varphi_p - 0,5 \cdot P_r}, \quad (5.17)$$

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

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

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

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

$$S_{10} = \frac{1,6 \cdot 309}{2 \cdot 149 \cdot 1 - 0,5 \cdot 1,6} = 1,7 \text{ и}$$

Виконавча товщина стінки днища визначається за формулою (5.13)

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

Приймаємо товщину стінки днища камери $S_1 = 4 \text{ мм}$.

Визначення допустимого тиску

Для отриманого значення S_1 розраховуємо допустимий внутрішній надлишковий тиск за формулою

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

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

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, $H = 77 \text{ мм}$, [14].

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

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

застосовуються.

5.5 Розрахунок на міцність, жорсткість і стійкість елементів підігрівача

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

$$S_p = 24 \text{ мм}$$

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

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

(5.21)

S_{pp} – розрахункова товщина трубної решітки,

C_p – сума добавок до розрахункової товщини решітки, мм.

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

$$S_{p\delta} = 0,5 D_a \sqrt{E/[\sigma]_\delta}$$

(5.22)

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

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

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

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

$$S_{i\delta} = S_{\delta\delta} \cdot \max \left\{ 1 - \sqrt{\frac{d_0}{b_i} \cdot \left(\frac{t_i}{t_\delta} - 1 \right)}; \sqrt{\varphi_\delta} \right\} \quad (5.23)$$

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

Коефіцієнт ослаблення трубних решіток визначається за формулою:

$$\varphi_p = 1 - \frac{d_o}{t_p}$$

(5.24)

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

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

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

$$S_{i0} = 0,75 \cdot \max \left\{ 1 - \sqrt{\frac{20,35}{8} \cdot \left(\frac{45}{26} - 1 \right)}; \sqrt{0,217} \right\} =$$

$$= 0,75 \cdot \max \{0,36; 0,466\} = 0,35 \text{ ì}$$

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

$$S_i \geq S_{i0} + C_\delta = 0,35 + 1,8 = 2,15 \text{ ì}$$

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

$$S_i = 22 \text{ ì}$$

5.6 Розрахунок лінзового компенсатора

5.6.1 Умови застосування розрахункових формул

Розрахункові формули застосовні, якщо виконуються умови:

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

(5.25)

- де $S_\epsilon = 4 \text{ мм}$ – товщина стінки лінзового компенсатора;
 $d_i = 325 \text{ мм}$ – зовнішній діаметр западини хвилі компенсатора;
 $D_\epsilon = 475 \text{ мм}$ – зовнішній діаметр гребеня хвилі компенсатора;
 $r = 14 \text{ мм}$ – внутрішній радіус тороїдального переходу в верхній та нижній

частинах хвилі компенсатора

$$\frac{S_{\varepsilon}}{d_i} = \frac{4}{325} = 0,012 < 0,035$$
$$1,08 < \frac{D_{\varepsilon}}{d_i} = \frac{475}{325} = 1,46 < 3,00$$

$$\frac{2 \cdot r}{D_{\varepsilon} - d_i} = \frac{2 \cdot 14}{475 - 325} = 0,187 < 0,4$$

5.6.2 Визначення допоміжних величин

Розрахунковий діаметр западини хвилі компенсатора визначають за формулою

$$d_1 = d_i - S_{\varepsilon}$$

$$(5.26)$$

$$d_1 = 325 - 4 = 321 \text{ мм}$$

Розрахунковий діаметр гребеня хвилі компенсатора визначають за формулою

$$d_2 = D_{\varepsilon} - S_{\varepsilon}$$

$$(5.27)$$

$$d_2 = 475 - 4 = 471 \text{ мм}$$

Середній радіус тороїдального переходу хвилі компенсатора розраховують за формулою

$$r_s = 0,5 (2 r + S_{\varepsilon})$$

$$(5.28)$$

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

Допоміжну величину впливу переходу розраховують за формулою

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

$$(5.29)$$

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

Розрахункову ширину пластинчастої зони хвилі компенсатора розраховують за формулою

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

$$(5.30)$$

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

Радіус закруглення пластинчастої зони хвилі компенсатора визначають за формулою

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

$$R_0 = 0,25 \cdot (471 + 321 - 2 \cdot 74,8) = 160,6 \text{ ì}$$

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

$$d_{\text{н\ddot{o}}} = 0,5 (d_2 + d_1) \quad (5.32)$$

$$d_{\text{н\ddot{o}}} = 0,5 \cdot (471 + 321) = 396 \text{ ì}$$

Характеристики хвилі визначають за формулами:

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

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

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

$$(5.34)$$

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

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

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

$$\lambda = b_{\text{е}} / R_0$$

$$(5.36)$$

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

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

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

5.6.3 Розрахунок компенсатора на міцність

Виконавчу товщину стінки компенсатора $S_{\text{е}}$, мм, розраховують за формулою

$$S_{\text{е}} \geq S_{\text{е\ddot{o}}} + \tilde{N}_{\text{е}} \quad (5.38)$$

де $S_{\text{е\ddot{o}}}$ – розрахункова товщина стінки компенсатора, мм;

$S_{\text{е}}$ – сума добавок до розрахункової товщини стінки компенсатора, мм.

Суму добавок до розрахункової товщини стінки компенсатора при $S_{\text{е}} = 4,0$ мм приймають рівною не більше 0,8 мм.

Розрахункову товщину стінки компенсатора визначають за формулою

$$S_{\text{вб}} = S_4 \cdot \sqrt{0,5 + \sqrt{0,25 + (S_3/S_4)^4}} \quad (5.39)$$

де

$$S_3 = 0,25 (d_2 - d_1 - \gamma \cdot r_s) \cdot \sqrt{P/[\sigma]_{\text{в}}} \quad (5.40)$$

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

$$S_4 = \frac{P \cdot d_{\text{сп}}}{2 [\sigma]_{\text{в}} \cdot \varphi} \cdot \frac{L}{d_2 - d_1 + 2 l_{\text{в}} + 2,3 r_s} \quad (5.41)$$

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

Позначення в формулах (5.37)-(5.39):

де $[\sigma]_{\text{в}}$ – допустима напружина для матеріалу лінзи при розрахунковій температурі, МПа;

L – виконавча довжина компенсатора, мм;

$l_{\text{в}}$ – приєднувальна довжина циліндричної частини компенсатора, мм;

φ – коефіцієнт міцності подовжнього зварного шва компенсатора.

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

Виконавчу товщину стінки компенсатора розраховують за формулою

$$S_{\text{в}} \geq S_{\text{вб}} + \tilde{N}_{\text{в}} \quad (5.42)$$

$$S_{\text{в}} = 2,95 + 0,8 = 3,75 \text{ и}$$

Приймаємо:

$$S_{\text{в}} = 4 \text{ и}$$

Допустимий тиск $[\text{Д}]_{\text{в}}$, МПа, визначають за формулою

$$[\text{P}]_{\text{в}} = \frac{[\text{P}]_{\text{л}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[\text{P}]_{\text{л}}}{[\text{P}]_{\text{з}}}\right)^2}} \quad (5.43)$$

де

$$[\text{P}]_{\text{л}} = 16 \left(\frac{S_{\text{в}} - \tilde{N}_{\text{в}}}{d_2 - d_1 - \gamma \cdot r_s} \right)^2 \cdot [\sigma]_{\text{в}} \quad (5.44)$$

$$[\text{Д}]_{\text{л}} = 16 \cdot \left(\frac{4 - 0,8}{471 - 321 - 2,59 \cdot 16} \right)^2 \cdot 144,4 = 2,0 \text{ и}$$

$$[\text{P}]_{\text{з}} = \frac{2 [\sigma]_{\text{в}} \cdot \varphi \cdot (S_{\text{в}} - C_{\text{в}})}{d_{\text{сп}}} \cdot \frac{d_2 - d_1 + 2 l_{\text{в}} + 2,3 r_s}{L} \quad (5.45)$$

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

$$[\mathcal{D}]_k = \frac{2,0}{\sqrt{1 + \left(\frac{2,0}{5,7}\right)^2}} = 1,88 \text{ ППа}$$

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

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

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

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

l – довжина труб, мм $l = 1500$ мм

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

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

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

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

Необхідне число лінз в компенсаторі розраховуємо за формулою

$$n_k = \frac{\Delta}{\Delta_k} = \frac{1,1}{3} = 0,35$$

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

6 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПІДГРІВАЧА

6.1 Виготовлення основних елементів апарата

6.1.1 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 розмітка листових заготівель із метою вказівки границь обробки й раціонального розкрою листа для найбільш повного використання металу. Розмітка виконується на розмічальних столах або плитах. По маркуванню листа перевіряється відповідність марки металу, довжини, товщини й ширини листа вимогам креслення. Лист укладається на розмічальний стіл маркуванням нагору й на ньому розмічається базова ризику уздовж крайки з найменшої серповидністю. На листі розмічаються ризики під відрізок, ризики з непаралельністю не більше 1 мм під строжку й контрольні ризики. Різання листа здійснюють на гильйотинних ножицях. Після різання здійснюють обробку кромки на верстаті. Після цього лист подається до преса для підгибки кромки. Після підгинання кромки лист подається до листозгинальної машини із трьома валками розташованими симетрично. Зборку поздовжнього стику роблять гідравлічними струбцинами. Після приварки на ролікоопорах вхідної й вихідної планок звареним трактором виконується зварювання внутрішнього шва на флюсовій подушці, а після зачищення кореня шва зварюється зовнішній поздовжній шов. Після зварювання зовнішнього шва на стенді шов зачищають, знімають посилення й видаляють вхідну й вихідну планки. Далі обичайка подається до листозгинальної машини на виправлення, зварні шви контролюються

ультразвуковою дефектоскопією. Отвори в обичайці під штуцера обробляють вирізкою газовим різакон з попередньою розміткою.

6.1.2 Виготовлення еліптичних днищ

Розміри й форма днищ повинні відповідати ГОСТ 6533-78.

Виготовлення еліптичного днища виконують по технічних умовах на виготовлення й поставку днищ, які викладені в стандартах на днища. Днища можна виготовляти штампуванням на пресах, методом обкатування роликани, 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 штапованих елементів зварюють стиковими швами із двостороннім проваром.

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

Потім заготівлю встановлюють на протяжне кільце й 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.

6.1.3 Встановлення штуцерів

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

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

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

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

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

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

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

Зварювання штуцерів із плоским фланцем виробляються в такий спосіб: штуцер укладається ущільнювальною поверхнею на складальну плиту, по

внутрішньому діаметрі встановлюються підкладки, по товщині рівні товщині підведення й торця патрубка до сполучної поверхні фланця. Патрубок торцем укладається у фланець на підкладку. Витримується перпендикулярність осі щодо ущільнювальної поверхні фланця.

Патрубок прихоплюється й потім приварюється до фланця.

6.1.4 Збирання й зварювання корпусу

В обичайці кромки під зварювання, що стикуються, завширшки 15-20 мм від кромки й торця зачищаються абразивом або металевою щіткою. Обичайки встановлюють на складальний стенд, збираються й зварюються по кільцевих швах. Поздовжні шви в горизонтальних апаратах повинні розташовуватися поза межами нижньої частини корпусу, якщо ця частина мало доступна для огляду. Потім виконується зварювання спочатку зовнішніх, а потім після зачищення - зварювання внутрішніх кільцевих швів.

6.1.5 Кріплення труб в трубних решітках

Зовнішня поверхня кінців прямих теплообмінних труб (за винятком труб з корозійностійких сталей) має бути зачищена до чистого металу на довжину, рівну подвоєній товщині трубних ґрат 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 розвальцьованих 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 лушення 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. Для забезпечення цієї вимоги рекомендується конічне розвальцьовування труби перед зварюванням до торкання зовнішньої поверхні труби з краєм трубного отвору (рисунок 6.1).

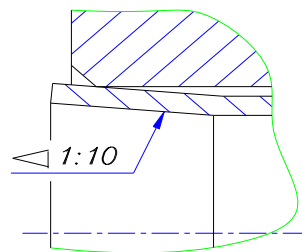


Рисунок 6.1 – Конічне розвальцьовування труби перед зварюванням

6.2 Збирання теплообмінника

Збирання теплообмінника необхідно проводити в такій послідовності:

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

6.3 Випробування після виготовлення

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

Усе теплообмінні труби мають бути піддані гідравлічним випробуванням на підприємстві-виготовнику. При відсутності в сертифікатах даних про гідравлічні випробування підприємство-

виготівник теплообмінних апаратів зобов'язано провести вибіркові гідравлічні випробування відповідно до вимог ГОСТ 3845-75 по 3 % труб від кожної партії, але не менше 5 труб. При отриманні незадовільних результатів хоча б однієї з труб проводять повторні випробування на подвійній кількості труб, взятих із тієї ж партії.

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

Гідровипробування проводиться водою з температурою не нижче +5°C і не вище +40°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 $P_{пр}$ при гідравлічному випробуванні підігрівача, а також трубопроводів в межах теплообмінника приймають:

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

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 ПІДГРІВАЧА

7.1 Методи виконання планово-попереджувальних ремонтів

Постійна працездатність будь-якого устаткування підтримується його правильною експлуатацією та своєчасним якісним ремонтом. По цьому ремонтна служба має величезне значення для нормальної життєдіяльності будь-якого підприємства.

Надійна і безпечна експлуатація устаткування в межах встановлених параметрів роботи може бути забезпечена при суворому виконанні визначених і запланованих заходів щодо нагляду за устаткуванням та проведенні необхідних ремонтів. Комплекс організаційних і технічних заходів щодо обслуговування і ремонту устаткування у хімічній промисловості, проведених із заданою послідовністю і періодичністю, являє собою єдину систему, іменовану системою технічного обслуговування і ремонту (ТОіР).

Система ТОіР включає планування, підготовку, реалізацію технічного обслуговування і ремонту з заданими послідовністю і періодичністю. Для цих цілей у системі ТОіР приведені нормативи тривалості міжремонтних періодів, ремонтних циклів, простоїв і трудомісткості в ремонті (технічному обслуговуванні) обладнання і технологічних агрегатів, зміст ремонтних робіт окремих видів обладнання, дані вказівки по організації його ремонту і технічного обслуговування.

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

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

На основне обладнання поширюється метод планово-періодичного ремонту.

Основне обладнання — це таке обладнання, у якому проводяться основні хіміко-технологічні процеси одержання продукту (проміжного або кінцевого) вихід з ладу якого приводить до зупинки технологічної лінії (установки) або до різкого зниження її продуктивності.

Перелік основного обладнання складається по кожному цеху (виробництву) начальниками технологічних цехів разом із представниками ремонтної служби і затверджується головним інженером підприємства.

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

Перелік обладнання, на яке поширюється метод ремонту за технічним станом (післяосмотровий метод), складається по кожному цеху (виробництву) начальниками технологічних цехів разом із представниками ремонтної служби за формою 10 додатка 1 і затверджується головним інженером підприємства.

Сутність ремонту за технічним станом полягає в тім, що усі види і терміни ремонту встановлюються в залежності від технічного стану обладнання, обумовленого під час проведення періодичного ТО. При цьому повинний бути складений акт за формою 7 додатка 1 на встановлення виду і терміну ремонту, що є основним документом при складанні річного або місячного графіків ремонту.

Все обладнання, технологічні спорудження, установки і комунікації, змонтовані в цехах, перебувають у підпорядкуванні начальників цехів, що несуть повну відповідальність за їх нормальний робочий стан, експлуатацію і ремонт, відповідно до правил техніки безпеки і правил технічної експлуатації.

Обладнання необхідно використовувати у відповідності до його призначення і згідно його виробничо-технічним характеристикам.

Експлуатаційний персонал зобов'язаний строго дотримуватися нормального технологічного режиму роботи обладнання, тримати його в чистоті, постійно стежити за технічним станом обладнання, вчасно виявляти й усувати несправності в роботі обладнання.

Резервом для удосконалення системи ремонтів і підвищення продуктивності праці робітників-ремонтників є централізація ремонтних робіт у межах великого заводу, комбінату і навіть декількох заводів, комбінатів, розташованих близько друг від друга.

Централізація дозволяє ефективно використовувати трудові і матеріальні ресурси, а також застосувати мобільні засоби механізації й індустріалізації з високим коефіцієнтом їх використання. Централізоване виготовлення запасних частин і створення на цій основі баз обмінного фонду устаткування, вузлів і деталей дозволяє значно скоротити витрати, зв'язані з подетальним ремонтом на місці та виготовленням одиничних деталей і вузлів.

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. По плануванню ремонтів в часі:

- ремонт устаткування підприємства, рівномірно розосереджений протягом року. Забезпечує найвигідніше завантаження ремонтних цехів і бригад;

- ремонт виконується в період зупинки спільний для всіх або більшості одиниць устаткування цеху (виробництва). Цей варіант характерний для виробництв, що безперервно діють;

- ремонти плануються на час року (сезон) найбільш сприятливий для виробництва ремонтних робіт, або протягом якого має місце недовантаження виробництва (ТЕЦ, холодильні станції, установки, устаткування яких розміщене поза будівлями).

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

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

- *середній* ремонт за об'ємом робіт, тривалості і повторюваності займає проміжне 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, затвердженому головним інженером.

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

При ремонті внутрішні поверхні очищають від бруду й інших відкладень.

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

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

Не дозволяється знімати гайки зі шпильок або болтів доти, поки працюючий не переконається в тім, що апарат або ділянка трубопроводу

не має тиску. Затягування гайок при ремонті повинна бути рівномірної щоб уникнути перенапруги в окремих болтах.

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

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

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

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

Дефектні днища при неможливості їхнього ремонту на місці замінюють новими.

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

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

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

Порушення герметичності може бути викликане розгерметизацією труби і вузла кріплення. У першому випадку 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 т. п. В цих випадках застосовують развальцьовочний інструмент з ручним приводом.

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

Трьохролковий развальцьовочний інструмент з регульованою глибиною розвальцьовування набув в даний час найбільшого поширення як у нас, так і за рубежом. У пазах корпусу, що розташовані під кутом 120° один до іншого і під кутом ϕ (де $\phi=1^\circ30'—4^\circ30'$) до подовжньої осі інструменту, обертаються ролики, що утримуються від випадання завальцьованими краями пазів. Усередині корпусу обертається і переміщається в осьовому напрямі веретено з фіксуючою гайкою. Гвинт фіксує в корпусі положення підшипникового упору, що складається з нерухомої обойми, підшипника, стопорного кільця і різьбового упору, що обертається разом з корпусом. Глибину розвальцьовування регулюють перекриттям підшипниковим упором частини довжини роликів переміщенням по різьбленню упору.

7.3 Ремонт вузла кріплення труб до трубної решітки

Основними способами кріплення труб до трубної решітки в трубчастих теплообмінних апаратах є розвальцьовування роликами і зварка у поєднанні з розвальцьовуванням. Аналіз виходу з ладу теплообмінників, виконаний ВНППТхімнафтоапаратури, показав, що від 14 до 25% відмов викликано порушенням герметичності вальцювальних з'єднань. Повзучість і релаксація при високих температурах порушують

герметичність з'єднання, у зв'язку з чим при робочих температурах понад 450 °С для сталевих труб і понад 250 °С для труб з кольорових металів і сплавів необхідно застосовувати комбіноване кріплення (розвальцьовування і зварку). При деформації труби роликми виникає вельми високий місцевий контактний тиск, що викликає у ряді середовищ зниження корозійної стійкості в зоні вальцювального поясу в порівнянні з недеформованим металом труби, відшаровування і лушення металу труб (у цих випадках, якщо дозволяє робоча температура, успішно застосовують клеєвальцьовочні з'єднання), руйнування захисного покриття (для труб оцинкованих, алюмінованих і ін.), що призводить до необхідності розвальцьовування через тонкостінні проміжні втулки.

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

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

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

Труби видаляють найчастіше вручну з використанням облямівування. Для цього висвердлюють трубу приблизно на три довжини розвальцьованої частини, зменшуючи при цьому товщину її стінки. Для тонких труб висвердлювання не обов'язкове. Після цього між трубою і

внутрішньою поверхнею отвору решітки забивають спеціальне облямювання, яке деформує стінку труби. Ретельність в установці і роботі цим інструментом запобігає пошкодженню отвору трубних решіток. Потім облямюванням трубу вибивають з трубних решіток.

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

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

У якості привіда використовують пневмо- і електродвигуни, а також (значно рідше) гідромотори. Передача зазвичай складається із знижуючого редуктора або коробки швидкостей, механізму реверсу (при використанні нереверсивного двигуна) і пристрою для фіксації развальцьовочного інструменту.

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 недовліку 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 огороджувальних;
- 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 протипожежною і техніці 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 робіт на висоті

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

Роботи, які виконуються на висоті більш 5м від поверхні землі, перекриття або робочого настилу, безпосередньо з конструкції,

устаткування, машин і механізмів при їх монтажі і ремонті мають проводитися із застосуванням запобіжного поясу (поясу верхолаза).

До роботи на висоті допускаються особи не молодше 18 років, що пройшли медичний огляд, ввідний і первинний інструктаж по техніці безпеки і перевірку знань інструкції згідно переліку обов'язкових інструкцій для даної професії.

Ліси, підмости, і інші пристосування для виконання будівельно – монтажних і ремонтних робіт на висоті мають бути інвентарними, виготовлятися по типових проектах і відповідати ГОСТ 12.2.003 – 74.

Навантаження на настили лісів, подмостей і вантажопідйомних майданчиків не повинні перевищувати встановлених проектом величин. Скупчення на настилах людей в одному місці не допускається.

При проведенні ремонтно – монтажних робіт робітник зобов'язаний бути одягнений в спецодяг, мати при собі сумку для інструментів і працювати з надією на голову каскою.

При роботі на висоті більш 5м, працівник повинен користуватися ременем безпеки, а так само не допускається розміщення працівників на різних відмітках по одній вертикалі.

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 виконуваній роботі, наявність посвідчень і талонів – попереджень;
- проводити інструктаж виконавців про правила безпечного ведення робіт;
- забезпечити місце проведення робіт первинними засобами пожежогасінні.

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. До таких заходів відносять забезпечення максимального повітрообміну, якщо потрібно – примусового, обов'язкове заземлення ємності, цілісність ізоляції токопроводів, наявність повного комплекту захисного одягу (діелектричні рукавички, калоші, шлем або каска), неможливість зміни електродів при включеній напрузі.

Для проведення робіт усередині ємкостей повинна призначатися бригада в складі не менш 2-х чоловік (працівник, спостережник). Газонебезпечні роботи усередині ємкостей проводяться при постійній присутності газорятівного. Перебування усередині ємкостей допускається, як правило, одній людині. При необхідності перебування в ємності більшого числа працівників мають бути розроблені, внесені до наряду-

допуску і додатково здійснені заходи безпеки, що передбачають призначення що не менш одного спостерігаючого персонально на того, що одного працює в апараті, порядок входу і евакуації працівників, порядок розміщення шлангів, забірних патрубків протигазів, сигнально-рятувальних вірьовок, наявність засобів зв'язку і сигналізації на місці проведення робіт.

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

Експлуатація технологічного обладнання

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

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

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

Апарат повинен бути зупинений у наступних аварійних випадках:

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

ВИСНОВКИ

В даній дипломній роботі розглянуто колону та підігрівач установки ректифікації суміші ацетон – вода продуктивністю 6,5 т/год.:

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

ЛІТЕРАТУРА

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

Машиностроение, 1989. – 368 с.

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

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

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

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

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

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

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

20 СОУ МПП 71.120-217:2009. Посудини та апарати сталеві 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.

24. В.В. Іванченко, О.І Барвін, Ю.М Штонда Конструювання та розрахунок кожухотрубчастих теплообмінних апаратів: – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Даля. – 2006. – 208 с.