

ВСТУП

Масобмінні процеси - процеси перенесення речовини з фази у фазу. Їх використовують для розподілу гомогенних і гетерогенних систем з метою концентрації речовин, що містяться у фазах. Фаза, перероблена таким чином, може бути кінцевим продуктом або напівпродуктом виробництва. Застосовуючи масобмінні процеси, також видаляють шкідливі домішки з технологічних середовищ, стоків і газових викидів, а також витягують з відходів, стоків і викидів цінні речовини.

Масопередача має місце в процесах перегонки і ректифікації, екстракції і вилуговування, сушки, абсорбції, адсорбції, кристалізації та ін.

При перегонці і ректифікації рідка суміш розділяється на складові компоненти. Відбувається перехід речовин з рідкої фази в парову і з парової в рідку.

При абсорбції відбувається селективне поглинання газів або пари рідкими поглиначами - абсорбентами, т. е. має місце перехід речовини з газової або парової фази в рідку.

При екстракції відбувається витягування одного або декількох речовин з розчинів або твердих речовин за допомогою розчинників. Процес витягування речовин з твердого тіла за допомогою розчинника називають вилуговуванням. При вилуговуванні речовина переходить з твердої фази в рідку.

При адсорбції відбувається виборче поглинання газів, пари або розчинених в рідині речовин твердим поглиначем - адсорбентом, здатним поглинати один або декілька компонентів з їх суміші.

Сушка - це видалення вологи з твердих або рідких вологих матеріалів шляхом її випару.

При кристалізації з рідкої фази виділяється речовина у вигляді кристалів.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Перегонка рідини

Перегонка - процес розподілу гомогенних рідких сумішей, компоненти яких відрізняються температурою кипіння (летючістю), що здійснюється шляхом часткового випарування початкової суміші з наступною конденсацією. При цьому рідкий продукт, що отримується з пари (дистилят), буде збагачений низькокиплячим компонентом (НК), а не випарована рідина (залишок або кубовий залишок), збагачена висококиплячим компонентом (ВК). Це визначення характеризує просту перегонку. Проста перегонка використовується для грубого попереднього розподілу сумішей за умови значної відмінності температур кипіння її компонентів.

Перегонка застосовується в промисловості і лабораторній практиці для розподілу і рафінування складних речовин: для розподілу сумішей органічних речовин (наприклад, розподіл нафти на бензин, газ, дизельне паливо та ін.), отримання запашних речовин в парфюмерії (очищення етилового спирту) і для отримання високочистих неорганічних речовин (наприклад, металів: берилія, свинцю, цинку, магнію, кадмію і ртуті, а також неметалів: сірки, селену та ін.).

Ректифікація є різновидом перегонки. Це процес розподілу гомогенних рідких сумішей (розчинів), компоненти яких відрізняються температурою кипіння, за рахунок багатократної або безперервної взаємодії (тепло- і масообміну) нерівноважних рідкої і парової фаз, компоненти яких є компонентами початкової суміші, що розділяється, здійснюється при протитечійному русі фаз. При цьому рідка фаза збагачується ВК за рахунок його конденсації з парової фази, а парова фаза збагачується НК за рахунок його випарування з рідкої фази. Конденсуючись, ВК виділяє тепло. За рахунок цього тепла з рідкої фази випаровується НК. При проведенні ректифікації на одному кінці апарату отримують рідину, збагачену ВК (кубовий залишок). На іншому кінці апарату отримують пару, збагачений НК. Конденсуючи цю парову фазу,

отримують рідкий дистилят. При проведенні ректифікації може бути досягнутий чіткий розподіл початкової суміші на кубовий залишок, що складається практично з одного ВК, і дистилят, що складається практично з одного НК. Ректифікація в порівнянні з перегонкою при однаковій чіткості розподілу початкової суміші має низьке енергоспоживання.

Цей процес має велике значення в хімічній та нафтопереробній промисловості. Як приклади досить вказати на розподіл природних вуглеводнів нафти і синтетичних вуглеводнів з метою отримання моторних палив, на виділення індивідуальних газів з їх сумішей шляхом попереднього зрідження і наступної ректифікації рідкої суміші (розподіл повітря методом глибокого охолодження).

Можливість розподілу рідкої суміші на складові її компоненти ректифікацією обумовлена тим, що склад пари, що утворюється над рідкою сумішшю, відрізняється від складу рідкої суміші в умовах рівноважного стану пари і рідини. Відомі рівноважні дані для конкретної суміші дозволяють проаналізувати можливість розподілу цієї суміші, знайти граничні концентрації розподілу і розрахувати рушійну силу процесу.

1.2 Апаратурне оформлення процесів ректифікації

Процес ректифікації здійснюють в установці, що включає колону ректифікації, підігрівач початкової суміші, кип'ятильник, дефлегматор, холодильники дистиляту і кубового залишку, ємності. Кип'ятильник, дефлегматор, підігрівач і холодильники є звичайними теплообмінниками. Основним апаратом установки є ректифікаційна колона.

Конструкції ректифікаційних колон

За способом організації контакту парогазової і рідкої фаз колони підрозділяються на тарілчасті, насадкові і роторні.

За типом застосування контактних пристроїв найбільшого поширення набули тарілчасті, а також ректифікаційні колони з насадкою.

Тарілчастими називають колонні апарати, у яких внутрішніми устроями в робочій зоні є тарілки.

Тарілка - це барботажний пристрій, в якому при роботі відбувається масообмінний процес, тобто перехід компонента з однієї фази в іншу в результаті безпосереднього контакту між робочими середовищами.

У хімічній і нафтопереробній промисловості застосовують тарілчасті колони різних розмірів: від невеликих діаметром $300 \div 400$ мм до великотонажних високопродуктивних установок з колонами діаметром $5 \div 12$ м. Висота колони залежить від числа тарілок і відстані між ними. Зазвичай відстань між тарілками приймають $250 \div 500$ мм. З міркувань конструктивного порядку і можливості ремонту і очищення тарілок в колонах великого діаметру відстань між ними збільшують до $500 \div 600$ мм.

Із-за різноманітності масообмінних процесів застосовують тарілки різних типів : ковпачкові, ситчасті, клапанні, струминно-спрямовані, з S -подібними елементами.

До тарілок пред'являють наступні основні вимоги:

- вони повинні мати високий К.К.Д., тобто забезпечувати хороший контакт між рідиною і паром;
- вони повинні мати малий гідравличний опір;
- вони повинні стійко працювати при значному коливанні витрат пари і рідини;
- вони мають бути прості по конструкції;
- вони мають бути зручні в експлуатації;
- вони повинні бути нечутливі до різних осадів і відкладень.

Ковпачкові тарілки складні і металоємні в порівнянні з тарілками інших типів.

Основною частиною колпачкової тарілки є основа - сталевий відбортований диск товщиною $2 \div 4$ мм з отворами для установки парових патрубків і сегментною зливною трубою. Над паровими патрубками

встановлені стандартні ковпачки. Для створення необхідного рівня рідини тарілка забезпечена зливною перегородкою, до якої гвинтами прикріплена регулювальна планка.

Рідина через сегментну зливну трубу заповнює тарілку на рівень, що визначається положенням регулювальної планки. Ковпачки своїми прорізами занурені в рідину. Пара проходить знизу через парові патрубки, щілини ковпачків і барботує крізь шар рідини; при цьому відбувається масообмін. Рідина переливається на нижче розташовану тарілку, а пара йде вгору.

Ковпачки для тарілок виготовляють двох виконань: нерегульовані і регульовані по висоті.

Ковпачки прикріплені до парових патрубків спеціальними болтами, шайбами і гайками. По краю ковпачок має прорізи шириною 4 мм і заввишки 15; 20 або 30 мм.

Ковпачки розташовують на тарілці по вершинах рівносторонніх трикутників або в шаховому порядку. Відстань між краями ковпачків $40 \div 60$ мм.

Ситчаста тарілка - це лист з пробитими в ній круглими, щілиновидними або просіканими трикутними отворами розміром $2 \div 15$ мм. Пара, що проходить в отвори, барботує через шар рідини, яка стікає через патрубки переливів. Швидкість пари в отворах $10 \div 12$ м/с.

Ситчасті тарілки прості в конструкції і ефективні. Їх недолік - необхідність точного регулювання заданого режиму (особливо по витраті газу) і чутливість до осідань і відкладень, що забивають отвори.

Ситчасті тарілки застосовують в основному для колон малого розміру, оскільки при діаметрах більше 2,5 м розподіл рідини на тарілці стає нерівномірним.

Основні елементи клапанної тарілки - підйомні клапани круглої і прямокутної форми, що закривають отвори в тарілці. Конструктивно клапан виконаний так, що підйом можливий тільки на певну величину. При певній

швидкості пари в отворі клапани урівноважуються потоками пари і при подальшому збільшенні навантаження починають підніматися таким чином, що швидкість пари в перерізі між клапаном і полотном тарілки залишається приблизно постійною. Наслідком цього є рівномірний розподіл пари по площі тарілки, зменшення віднесення рідини і менший гідравлічний опір.

Клапани виготовляють штампуванням з листового металу товщиною $2 \div 3$ мм. Діаметр дискових клапанів $50 \div 100$ мм, повна висота підйому $8 \div 15$ мм. В крайньому нижньому положенні між клапаном і площиною тарілки є проміжок $1 \div 1,5$ мм.

Тарілки струминно-спрямовані застосовують для колонних апаратів діаметром $1000 \div 3600$ мм. На штапованих секціях просічено і відігнуто під кутом 30 або 40° напівкруглі "язички" (радіусом 20 ; 25 або 30 мм). Відстань між сусідніми рядами язичків 50 мм. При надходженні пари (газу) знизу створюється його струминно-спрямований рух через шар рідини, що знаходиться на тарілці, і відбувається інтенсивний барботаж.

Тарілка з S-подібними елементами представляють собою ковпачки з одностороннім виходом пари. Пара з них виходить в тому ж напрямі, що і рідина, яка рухається по тарілці. Їх основна перевага - простота конструкції і велика жорсткість штапованих елементів.

Колони з насадкою 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.

До насадок пред'являються наступні основні вимоги: велика питома поверхня, хороша змочуваність рідиною, малий гідравлічний опір, рівномірність розподілу рідких і газових (парових) потоків, високі хімічна стійкість і механічна міцність, низька вартість.

Насадок, що повністю задовольняють усім вказаним вимогам, не існує, оскільки деякі з вимог суперечливі. При нормальній експлуатації колон з

насадкою масообмін відбувається в основному в плівковому режимі на поверхні насадки, змоченій рідиною. Природно, чим більше питома поверхня насадки, тим ефективніший масообмінний процес. Проте насадки з високою питомою поверхнею характеризуються підвищеним гідравлічним опором.

У хімічній промисловості і нафтегазопереробці застосовують різноманітні за формою і розмірам насадки, що виготовляються з різних матеріалів (кераміка, фарфор, сталь, пластмаси та ін.)

1.3 Конструкції теплообмінного обладнання

В прийнятій технічній класифікації використовуються буквені позначення "Н", "К", "П", "У" і "ПК" для різних типів кожухотрубчастих теплообмінників: тип "Н" - з нерухомими трубними решітками, тип "П" - з "плаваючою" голівкою, тип "К" - з температурним компенсатором на кожусі, тип "ПК" - з "плаваючою" голівкою плюс компенсатор на ній, тип "У" - з U-образними трубами.

У теплообміннику з нерухомими трубними решітками типу "Н" теплообмінні труби закріплені протилежними кінцями в трубних решітках і фіксуються в корпусі теплообмінника нерухомо. Труби мають пряму форму; отвори труб виходять в супротивні один одному розподільні камери, закріплені на корпусі фланцевим з'єднанням. Подача і виведення теплоносіїв здійснюються через штуцери на кожусі і розподільних камерах (у разі багатоходових теплообмінників - на передній камері).

До переваг цієї конструкції можна зарахувати передусім її простоту і, як наслідок, невелику вартість. Мала кількість деталей надає теплообміннику додаткову надійність і спрощує технічне обслуговування. Як додаткову перевагу слід зазначити можливість механічного очищення внутрішньої поверхні труб, для здійснення якої досить від'єднати розподільні камери від кожуха.

Зважаючи на відсутність елементів, компенсуючих температурні деформації матеріалу труб і кожуха, теплообмінники типу "Н" розраховані на використання в умовах, коли різниця температур теплоносіїв не перевищує 50°C.

В теплообміннику з плаваючою голівкою типу "П" одна з трубних решіток не закріплюється на кожусі, і може в певних межах рухатися уздовж нього. Таким чином, з'являється деяка свобода для подовження або стиснення труб під впливом нагріву або охолодження. Для забезпечення герметичності системи проходження теплоносія, рухлива решітка забезпечується власною кришкою, що утворює разом з решіткою "плаваючу" голівку, що дала назву цьому типу теплообмінників.

Теплообмінники з плаваючою голівкою розраховані на експлуатацію при різниці в температурах робочих середовищ в 100°C і більше, завдяки чому можуть використовуватися для специфічного круга завдань.

У теплообміннику з компенсатором на кожусі типу "К" при нагріві або охолодженні температурні деформації характерні не лише для внутрішніх елементів теплообмінника, але і для його кожуха. Для їх нівеляції на корпусі теплообмінника передбачені компенсатори різних видів - лінзові, сільфони та ін.

Використання компенсаторів на кожусі значно збільшує температурний діапазон теплообмінників "К" порівняно з теплообмінниками типу "Н". Але, оскільки компенсатори виконуються, як правило, методом вварювання складних фігурних кільцевих елементів в розріз корпусу, збільшується і собівартість таких теплообмінників; наявність зварних швів ускладнює процес виробництва і тестування теплообмінника.

У теплообміннику типу "ПК" компенсатори встановлюються не лише на кожух теплообмінника, але і на плаваючу голівку, точніше - на її вивідний штуцер. Принцип дії таких компенсаторів аналогічний компенсаторам типу "К" з тією різницею, що демпфують вони стискання/розширення не кожуха, а

трубного пучка, діаметральний розмір компенсаторів і товщина їх стінок менші і встановлюються вони послідовно декілька штук.

Перевагою цього типу агрегатів є їх напівжорстка конструкція з можливістю осьового підключення систем подачі/виведення теплоносія. Недоліком - ускладненість і збільшена вартість конструкції. При цьому, менша товщина стінок компенсаторів і наявність зварних швів не чинить вирішального впливу на експлуатаційні характеристики агрегатів типу "ПК", оскільки враховується при первинному розрахунку теплообмінника.

У теплообмінниках типу "У", на відміну від усіх перерахованих вище видів, використовуються не прямі, а U-подібні труби, які за рахунок своєї форми компенсують температурне розширення матеріалу. Трубна решітка одна; розподільна камера також одна, розділена на дві частини - ввідну і випускную.

Перевагою такої конструкції є її відносна простота, порівнянна з простотою теплообмінників типу "Н". Недоліками є ускладненість механічного очищення внутрішньої поверхні труб і те, що заміна однієї труби у разі її ушкодження, як правило, вимагає повного демонтажу усіх інших труб пучка, що економічно не виправдане. Крім того, форма труб ускладнює їх щільне взаємне розміщення, що позначається на характеристиках тепловіддачі.

Слід зазначити, що при рівних співвідношеннях площин і однаковому матеріалі труб трубного пучка, усі типи теплообмінників матимуть фактично рівнозначні показники теплообміну. Підбір кожухотрубчастого теплообмінника в даному випадку повинен здійснюватися по інших параметрах: температурній різниці середовищ, принципу підключення до системи подачі/відведення теплоносіїв і граничного розрахункового тиску в системі.

2 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ТА КОНСТРУКЦІЇ КОЛОНИ І ПІДГРІВАЧА

2.1 Технологічна схема

Початкову суміш з ємкості Є1 відцентровим насосом Н2 подають в підігрівач П, де вона підігрівається до температури кипіння. Нагріта суміш поступає на розділення в ректифікаційну колону КР 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 К. Начальний склад пари приблизно дорівнює складу кубового залишку x_W , тобто збіднений легко летким компонентом.

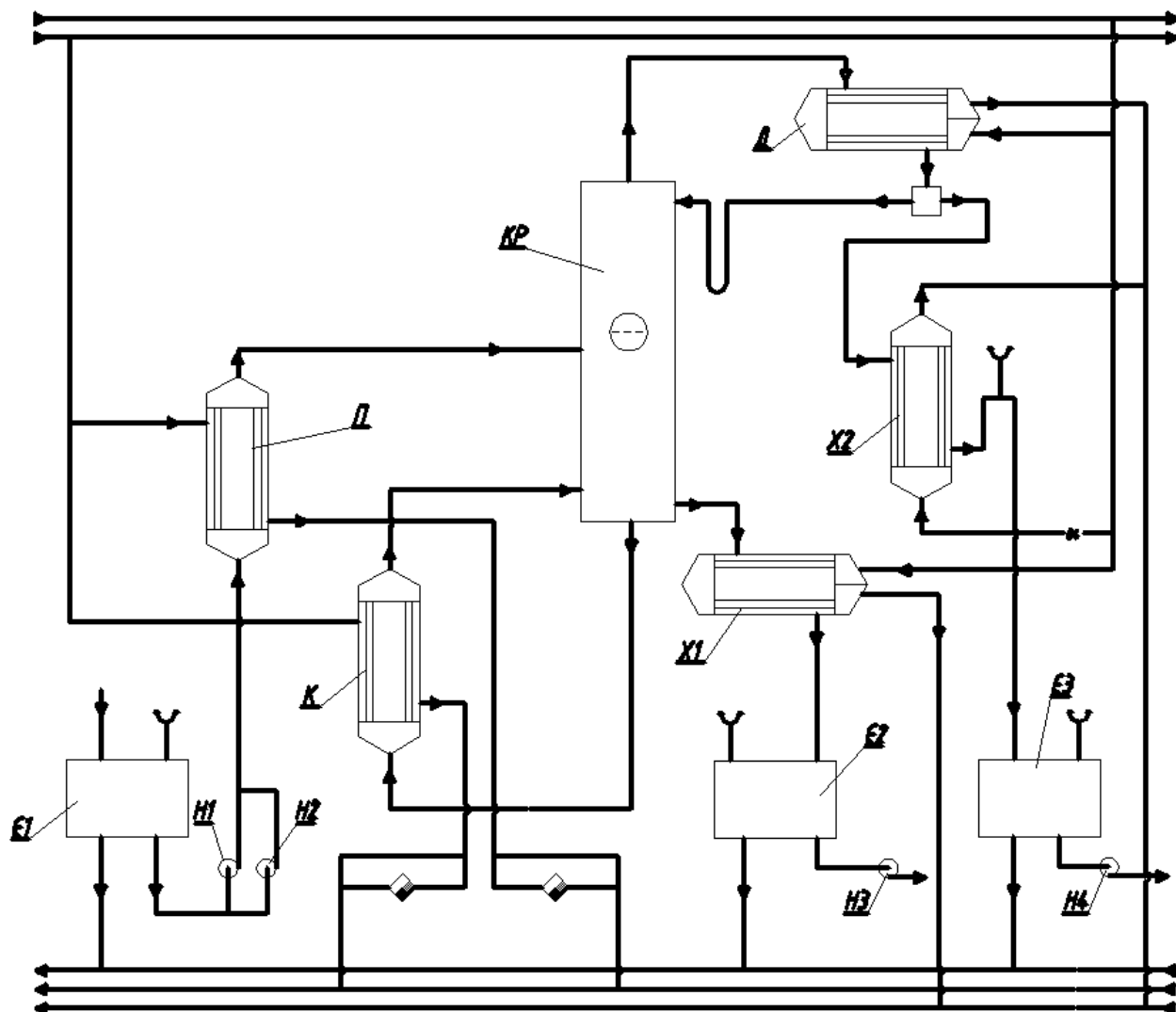


Рисунок 2.1 - Схема безперервно діючої ректифікаційної установки

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 – дистилляту, який охолоджується в холодильнику X2 і прямує в ємність Є3.

З кубової частини колони безперервно виводиться кубова рідина – продукт збагачений труднолетучим компонентом, який охолоджується в холодильнику X1 і прямує в ємність Є2.

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

2.2 Опис конструкції колони з ситчастими тарілками

Ректифікаційна колона з ситчастими тарілками зображена на рисунку 2.2.

Корпус колони являє собою вертикальну циліндричну обичайку 1, до якої з двох сторін приварені еліптичні днища 2. Всередині колони розташовані ситчасті тарілки у кількості 21 штука, тарілка живлення 9-а знизу. Тарілки 3 встановлюються на поперечних і подовжніх балках, кріпляться до опорних кілець, приварених до корпусу. Тарілки розбірні і доступні для огляду, монтажу і демонтажу. У верхній частині колони розташований відбійник 4 для зменшення унесення крапель рідини. Через кожні шість тарілок на корпусі розміщені люки 5 діаметром 500 мм, через які відбувається збирання і розбирання тарілок, а також огляд внутрішньої поверхні апарату, його чищення і ремонт. Кришки люків оснащені поворотними пристроями 6. Колона встановлюється на конічну опору 7 з опорними кільцями. На корпусі і днищах є необхідні штуцери для приєднання трубопроводів входу і виходу потоків, а також для контрольно-вимірювальних приладів (манометрів, термометрів, вимірників рівня та ін.).

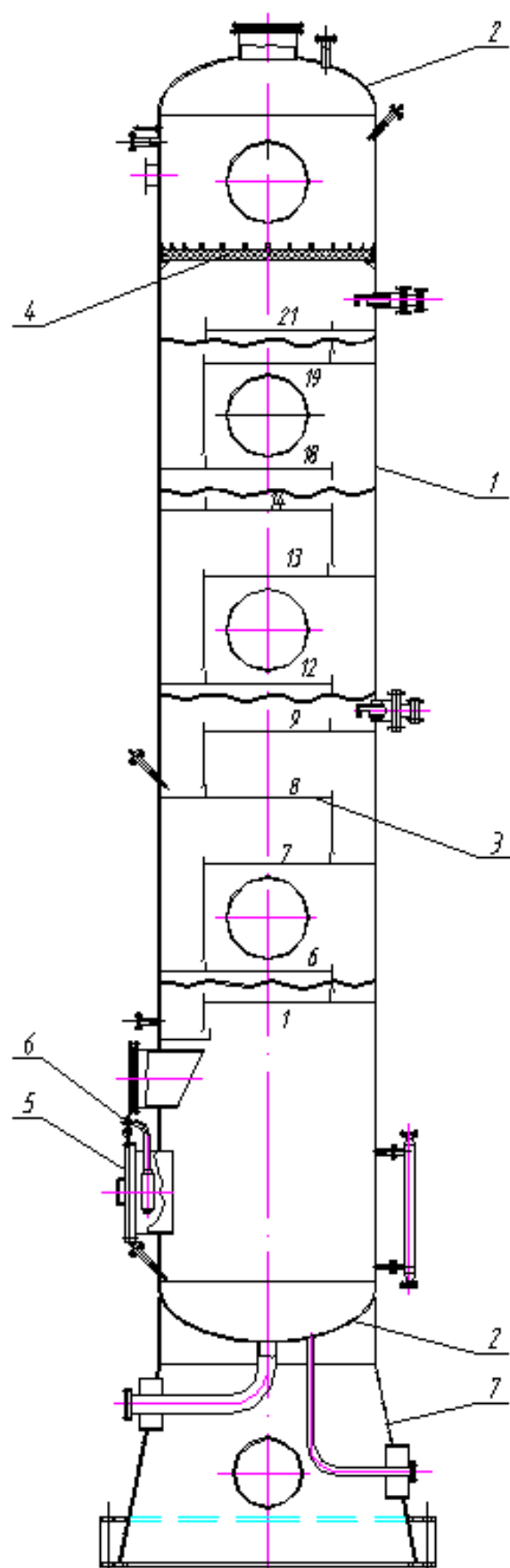


Рисунок 2.2 - Суцільнозварний колонний апарат з ситчастими тарілками

Ситчаста тарілка - це лист з пробитими в ній круглими, щілиновидними або просічними трикутними отворами розміром $2 \div 15$ мм. В колоні, яка розробляється в дипломному проекті, отвори діаметром 5мм розташовані по вершинах трикутника з кроком 15мм. Пара, що проходить в отвори, барботує через шар рідини, яка стікає через переливи. Швидкість пари в отворах $10 \div 12$ м/с.

Ситчасті тарілки прості в конструкції і ефективні. Їх недолік - необхідність точного регулювання заданого режиму (особливо по витраті газу) і чутливість до осіду і відкладень, що забивають отвори. Ситчасті тарілки необхідно встановлювати строго горизонтально для забезпечення проходження пари через усі отвори тарілки, а також щоб уникнути стікання рідини через них.

Ситчасті тарілки застосовують в основному для колон малого розміру, оскільки при діаметрах більше 2,5м розподіл рідини на тарілці стає нерівномірним.

2.3 Опис конструкції підігрівача

Підігрівач представляє собою вертикальний одноходовий після труб кожухотрубчастий теплообмінник з температурним компенсатором на кожусі типу До. Кожух підігрівача 1 є циліндричною обичайкою, виконаною з труби $\varnothing 325 \times 8$ мм. Він забезпечений фланцями, до яких болтами кріпляться кришки 2 і 3. Трубчатка виконана з пучка сталевих безшовних труб діаметром 25×2 мм у кількості 62 штуки, скріплені за допомогою трубних решіток і обмежених кожухом. Довжина трубного пучка 3 м. Трубні решітки служать для закріплення в них труб за допомогою розвальцювання або розвальцювання з обварюванням. Із-за відмінності температур середовища, що гріє і нагрівається, кожух і труби підігрівача також мають різні температури. Для компенсації напруження, що виникає в результаті відмінності температурних розширень труб і кожуха, застосовують лінзові компенсатори.

Трубний і міжтрубний простори в апараті роз'єднані, і міжтрубний простір розділений перегородками на декілька ходів. Перегородки фіксуються за допомогою стяжин і дистанційних труб. Теплоносій рухається між перегородками зигзагоподібно. Розміщення перегородок в міжтрубному просторі підігрівача сприяє збільшенню швидкості теплоносія і підвищенню ефективності теплообміну.

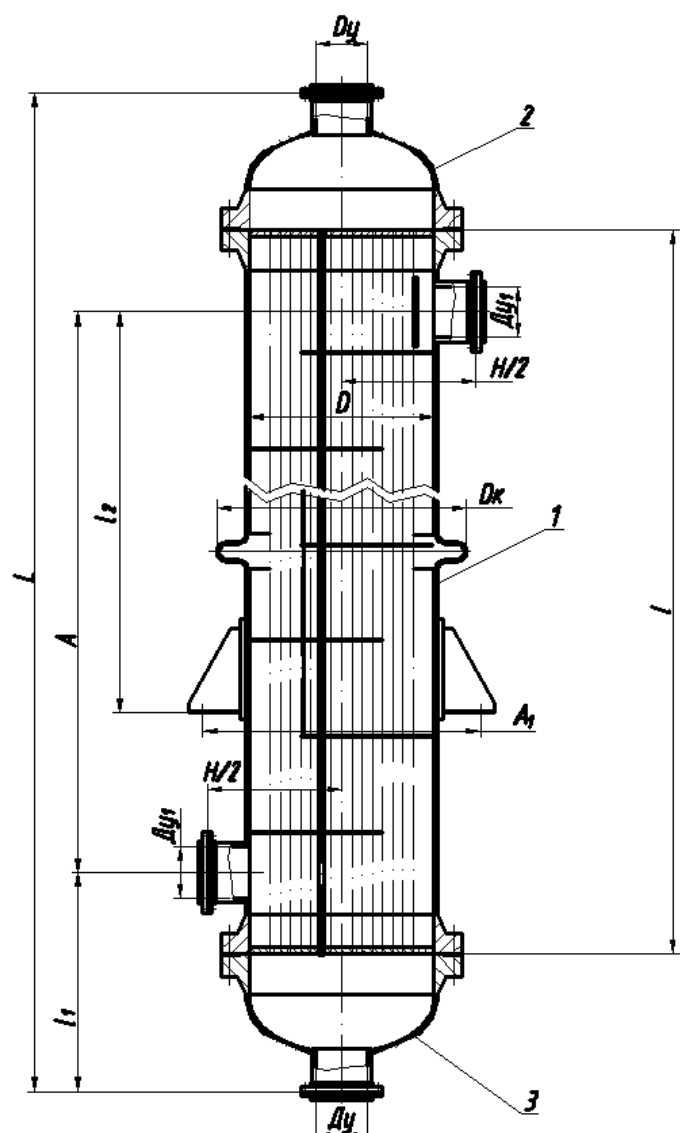


Рисунок 2.3 – Кожухотрубчастий теплообмінний апарат з температурним компенсатором на кожусі вертикальний одноходовий по трубах

. Через штуцер А d_y100 в нижній кришці в трубний простір підводиться вихідна суміш, проходить по трубах, піднімаючись вгору, підігрівається і

виводиться через штуцер Б d_y100 . В міжтрубний простір через штуцер Г d_y100 протитоком подається пара, якою підігрівається вихідна суміш, і виводиться через штуцер В d_y100 . Підігрівач обладнаний нарізними пробками для спорожнення рідини та виходу повітря з трубного і міжтрубного просторів, які встановлюються в нижніх і верхніх точках відповідних порожнин. Підігрівач встановлюється на опорних лапах.

3 ВИБІР ОСНОВНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Конструкційні матеріали в загальному випадку вибирають виходячи з вимог до їх механічних, фізичних і технологічних властивостей, що пред'являються умовам роботи і виготовлення апарату. Механічні і фізичні властивості дозволяють судити про придатність матеріалу.

За технологічними властивостями оцінюється можливість обробки матеріалу при виготовленні апарату. Основні механічні, фізичні і технологічні властивості, що враховуються при виборі матеріалу, приводяться в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Властивості, що враховуються при виборі матеріалу

Механічні	Фізичні	Технологічні
Міцність	Щільність (питома вага)	Оброблюваність матеріалів різанням
Деформативність	Температура плавлення	Ливарні властивості
Пружність	Коефіцієнт теплопровідності	Зварюваність
Пластичність	Коефіцієнт лінійного розширення	Оброблюваність тиском в гарячому і холодному стані
Крихкість	Коефіцієнт тертя	
Твердість		
Опір втоми		

У підігрівачі, що проектується, по міжтрубному простору рухається пара, а по трубному простору рухається вихідна суміш – оцтова кислота-вода тому згідно з [16] для виготовлення підігрівача застосовуємо сталь 10X17H13M2T за ГОСТ 5632. Матеріал теплообмінних труб і труб для виготовлення патрубків - сталь 10X17H13M2T за ГОСТ 9941.

Матеріал болтів та гайок для фланців штуцерів із сталі 10X17H13M2T - сталь 20X13 ГОСТ 5632. Матеріал опори і цапф для стропування – сталь ст3сп по ГОСТ 380. Матеріал прокладок - пароніт ПОН за ГОСТ 481.

Сталь 10X17H13M2T корозійно-стійка звичайна.

Сталь 10X17H13M2T використовується для виготовлення зварних апаратів, які здатні витримувати високий тиск і температуру, а також працювати в середовищах підвищеної агресивності. Зі сталі 10X17H13M2T виготовляють відповідальну апаратуру, її використовують в виробництві синтетичного каучуку, ізопрену і синтетичної оцтової кислоти.

Згідно з ГОСТ 7350-77 сталь 10X17H13M2T піддається контролю на стійкість проти міжкристалевої корозії. За рахунок того, що в склад сталі входить молібден сталь має підвищену стійкість до пітингової корозії в середовищах, що містять іони хлору. Наряду з цим, молібден знижує стійкість сталі до МКК в окислювальних середовищах.

Сталь 10X17H13M2T технологічна для гарячої пластичної деформації; інтервал гарячої деформації сталі $1200 \div 850^{\circ}\text{C}$; рекомендується деяке зниження температури для початку деформації. Сталь допускає найвищі ступені холодної пластичної деформації.

Сталь 10X17H13M2T добре зварюється автоматичною електродуговою, ручною і газоелектричною зваркою.

Сталь ст3сп одна з самих затребуваних видів сталі, оскільки вона має унікальні властивості. Її експлуатаційні і технічні властивості визначаються складом компонентів і їх співвідношенням. Залежно від призначення до сталі пред'являються наступні вимоги: твердість, пластичність, плинність, зварюємість і т. д. Коригування цих параметрів можна здійснювати за допомогою зміни % вмісту вуглецю. Його співвідношення до загального об'єму є однією з основних умов розподілу сталі на види. Їх відмітні якості і особливості описані в нормативних документах: звичайної якості – ГОСТ 380, конструкційна – ГОСТ 380, Інструментальна – ГОСТ 1435 і ГОСТ 5952.

4 ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ РОЗМІРІВ КОЛОНИ ТА ПІДГРІВАЧА

Початкові дані

Продуктивність по вихідній суміші	2,5 т/год;
Концентрація НКК:	
у вхідній суміші	$X_F = 0,33 \% \text{ (масс.)}$,
в дистилляті	$X_D = 0,93 \% \text{ (масс.)}$,
в кубовому залишку	$X_W = 0,03 \% \text{ (масс.)}$.
Температура:	
остудної води	$t_B = 12^\circ\text{C}$
дистилляту після холодильника	$t_D = 24^\circ\text{C}$
кубового залишку після холодильника	$t_W = 24^\circ\text{C}$
вхідної суміші	$t_F = 19^\circ\text{C}$
Тиск насиченої водяної пари	5,5 кгс/см ²

4.1 Визначення продуктивності по дистилляту і кубовому залишку

Продуктивність колони по дистилляту визначаємо за формулою:

$$G_D = G_F \cdot \frac{\bar{O}_F - \bar{O}_W}{\bar{O}_D - \bar{O}_W} = 3750 \cdot \frac{0,33 - 0,03}{0,93 - 0,03} = 1250 \text{ кг/рік}$$

Продуктивність колони по кубовому залишку визначаємо з рівняння:

$$G_W = G_F - G_D$$

$$G_W = G_F - G_D = 3750 - 1250 = 2500 \text{ кг/рік}$$

Перевірка:

$$2500 = 3750 - 1250$$

4.2 Визначення мінімального і дійсного флегмового числа

Перераховуємо масові концентрації в мольні за формулою:

$$X = \frac{\frac{X_A}{M_A}}{\frac{X_A}{M_A} + \frac{1-X_A}{M_B}} \quad (4.2.1)$$

де X – концентрація низькокип'ячого компонента А в бінарній суміші, мол. частки;

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

Молярні маси: води (M_A) - 18 кг/ кмоль. оцтової кислоти (M_B) – 60 кг / кмоль.

Тоді концентрація вхідної суміші:

$$X_F = \frac{\frac{x_F}{M_A}}{\frac{x_F}{M_A} + \frac{1-x_F}{M_B}} = \frac{\frac{0,33}{18}}{\frac{0,33}{18} + \frac{1-0,33}{60}} = 0,6215$$

дистиляту:

$$X_D = \frac{\frac{x_D}{M_A}}{\frac{x_D}{M_B} + \frac{1-x_D}{M_T}} = \frac{\frac{0,93}{18}}{\frac{0,93}{18} + \frac{1-0,93}{60}} = 0,97792$$

кубового залишку:

$$X_W = \frac{\frac{x_W}{M_A}}{\frac{x_W}{M_B} + \frac{1-x_W}{M_T}} = \frac{\frac{0,03}{18}}{\frac{0,03}{18} + \frac{1-0,03}{60}} = 0,093458$$

Мінімальне флегмове число визначаємо графо-аналітичним способом. Для

цього на підставі досвідчених даних, в координатах y - x будуємо криву рівноваги для суміші вода-оцтова кислота при атмосферному тиску (рисунк 4.1) і криву температур кипіння і конденсації (рисунк 4.2)

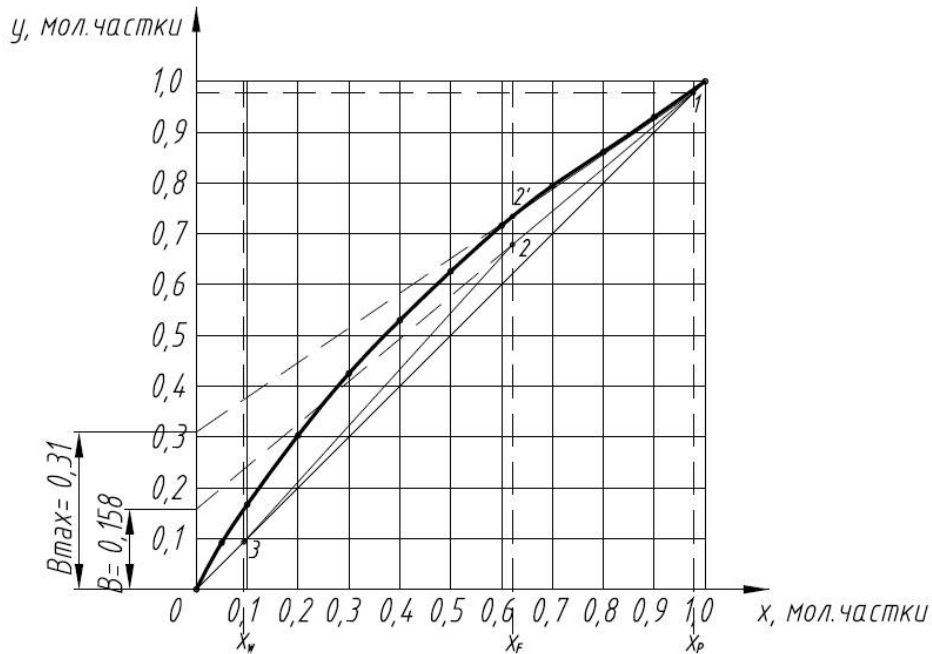


Рисунок 4.1 – До визначення мінімального флегмового числа

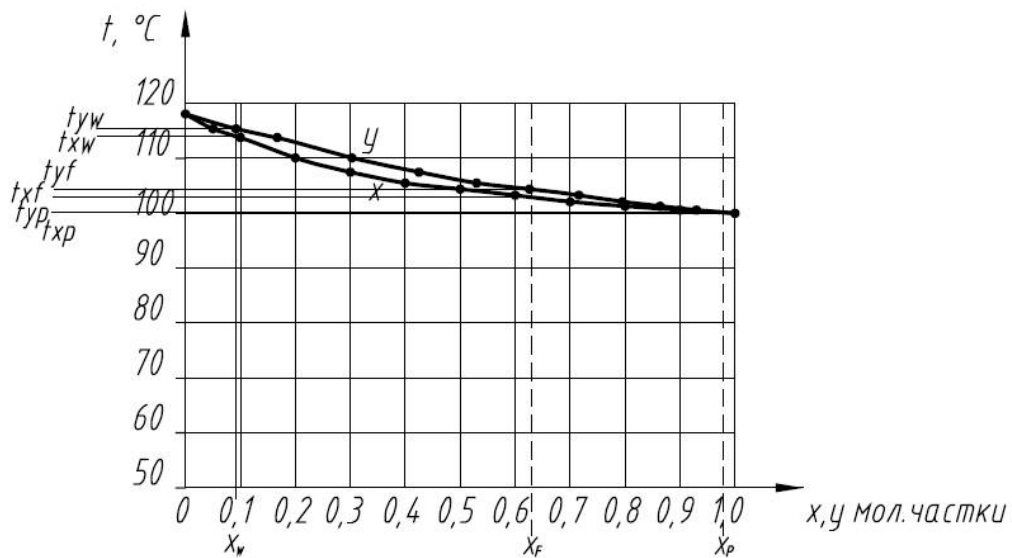


Рисунок 4.2 – Ізобара температур кипіння і конденсації

Таблиця 4.1 – Рівноважні дані для суміші діхлоретан–толуол

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

На діаграмі у-х з точки 1 ($x_p=y_p$) через точку 2' (x_F, y_F^*) проводимо пряму лінію до перетину з віссю у. Відрізок, відсікаємий на осі у, позначимо через $B_{\max}=0,31$. За величиною цього відрізка знаходимо мінімальне флегмове число:

$$R_{\min} = \frac{X_D}{B_{\max}} - 1 = \frac{0,97792}{0,31} - 1 = 2,154581$$

Дійсне флегмове число, використовуючи рівняння:

$$R = K_R \cdot R_{\min}$$

$$R = 2,4 \cdot 2,154581 = 5,171$$

На діаграмі у-х наносимо лінії робочих концентрацій (робочі лінії) для оптимального флегмового числа $R = 5,171$ (рисунок 4.1): для цього на осі у відкладаємо відрізок $B = \frac{x_D}{R+1} = \frac{0,978}{5,171+1} = 0,15847$, кінець якого з'єднуємо прямою з точкою 1 ($x_p = y_p$); точку перетину цієї прямої з вертикальною лінією,

проведеної з абсциси x_F , позначимо точкою 2 (x_F, y_F) і, нарешті, крапку 2 з'єднуємо з точкою 3 ($x_W = y_W$). Лінії 1-2 і 2-3 є робочими лініями для верхньої та 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:

$$X_{cp}^i = \frac{X_W + X_F}{2} = \frac{0,093458 + 0,6215}{2} = 0,357479$$

Середня мольна концентрація у верхній частині колони:

$$X_{cp}^{\hat{a}} = \frac{X_F + X_D}{2} = \frac{0,6215 + 0,97792}{2} = 0,79971$$

Середня мольна концентрація по колоні:

$$X_{cp} = \frac{X_{cp}^i + X_{cp}^{\hat{a}}}{2} = \frac{0,357479 + 0,79971}{2} = 0,5785945$$

Середня масова концентрація по колоні:

$$X_{cp} = \frac{x_{cp} \cdot M_A}{x_{cp} \cdot M_A + (1 - x_{cp}) \cdot M_B} \quad (4.3.1)$$

$$X_{cp} = \frac{0,5785945 \cdot 18}{0,5785945 \cdot 18 + (1 - 0,5785945) \cdot 60} = 0,2917365$$

Середня температура в нижній частині колони:

$$t_{\delta cp}^i = \frac{t_{XW} + t_{XF}}{2} = \frac{113,5 + 103}{2} = 108,25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Середня температура у верхній частині колони:

$$t_{\delta cp}^{\hat{a}} = \frac{t_{XF} + t_{XD}}{2} = \frac{103 + 100,2}{2} = 101,6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Середня температура по колоні:

$$t_{Xcp} = \frac{t_{Xcp}^i + t_{Xcp}^{\hat{a}}}{2} = \frac{108,25 + 101,6}{2} = 104,925 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Значення t_{xw} , t_{xf} , t_{xp} взяті з діаграми $t-x, y$ (рисунок 4.1).

Середня мольна маса:

$$M_{xcp} = M_A \cdot X_{cp} + M_B \cdot (1 - X_{cp}) \quad (4.3.2)$$

$$M_{xcp} = 18 \cdot 0,5785945 + 60 \cdot (1 - 0,5785945) = 35,6990 \text{ кг/кмоль}$$

Середня щільність визначається за формулою:

$$\rho_{xcp} = \frac{\rho_A \cdot \rho_B}{\rho_B \cdot X_{cp} + \rho_A \cdot (1 - X_{cp})} \quad (4.3.3)$$

де ρ_A і ρ_B – щільність компонентів А (води) і В (оцтової кислоти) при температурі t_{xcp} .

$$\rho_A = 954,306 \text{ кг/м}^3 \text{ при } t_{xcp} = 105 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\rho_B = 949,135 \text{ кг/м}^3.$$

$$\rho_{xcp} = \frac{954,306 \cdot 949,135}{949,135 \cdot 0,29174 + 954,306 \cdot (1 - 0,29174)} = 950,638 \text{ кг/м}^3$$

Середню в'язкість розраховуємо за формулою:

$$\lg \mu_{xcp} = X_{\text{н\ddot{o}}} \cdot \lg \mu_A + (1 - X_{\text{н\ddot{o}}}) \cdot \lg \mu_B \quad (4.3.4)$$

де μ_A і μ_B – динамічні коефіцієнти в'язкості компонентів А (води) і В (оцтової кислоти), Па·с.

$$\mu_A = 0,271 \text{ мПа}\cdot\text{с при } t_{cp} = 105 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\mu_B = 0,4375 \text{ мПа}\cdot\text{с.}$$

$$\lg \mu_{xcp} = 0,5785945 \cdot \lg 0,271 + (1 - 0,5785) \cdot \lg 0,4375 = -0,4793746$$

$$\mu_{xcp} = 0,33 \text{ мПа}\cdot\text{с} = 0,33 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$$

Середній поверхневий натяг визначаємо за рівнянням:

$$\sigma_{xcp} = \sigma_A \cdot X_{cp} + \sigma_B \cdot (1 - X_{cp}) \quad (4.3.5)$$

де σ_A і σ_B – поверхневі натяги компонентів А (води) і В (оцтової кислоти), Н/м.

$$\sigma_A = 57,9 \text{ Н/м при } t_{xcp} = 105 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\sigma_B = 19,35 \text{ Н/м.}$$

$$\sigma_{xcp} = 57,9 \cdot 0,5785945 + 19,35 \cdot (1 - 0,5785945) = 41,6567 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$$

Коефіцієнт дифузії при середній температурі визначаємо за формулою:

$$D_{x(t)} = D_{x(20)} \cdot [1 + b \cdot (t - 20)] \quad (4.3.6)$$

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

$$b = \frac{0,2\sqrt{\mu}}{\sqrt[3]{\rho}} \quad \text{тут } \mu \text{ [мПа}\cdot\text{с]} \text{ и } \rho \text{ [кг/м}^3\text{]} \text{ – в'язкість і щільність розчинника (дихлоретан) при } t = 20 \text{ °С; } t = t_{x \text{ ср.}}$$

Коефіцієнт дифузії при 20 °С розраховуємо по емпіричному рівнянню:

$$D_{x(20)} = \frac{1 \cdot 10^{-6}}{A \cdot B \cdot \sqrt{\mu} (V_A^{1/3} + V_B^{1/3})^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}} \quad (4.3.7)$$

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

А, В – коефіцієнти, що залежать від властивостей компонентів, $A=1$; $B=1$.

$$b = \frac{0,2\sqrt{\mu}}{\sqrt[3]{\rho}} = \frac{0,2\sqrt{1,22}}{\sqrt[3]{1048}} = 0,03876$$

Мольні об'єми компонентів:

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

$$V_B = 59,2 \text{ см}^3/\text{моль}$$

$$D_{x(20)} = \frac{1 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 1 \cdot \sqrt{1,22} (18,9^{1/3} + 59,2^{1/3})^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{18} + \frac{1}{60}} = 5,651 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$$

$$D_{x(t)} = 5,651 \cdot 10^{-9} [1 + 0,03876 \cdot (105 - 20)] = 24,3 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$$

Парова фаза

Середня мольна концентрація в нижній частині колони:

$$y_{cp}^n = \frac{y_W + y_F}{2} = \frac{0,085 + 0,68}{2} = 0,3825$$

Середня мольна концентрація у верхній частині колони:

$$y_{cp}^s = \frac{y_F + y_P}{2} = \frac{0,68 + 0,97}{2} = 0,825$$

Середня мольна концентрація по колоні:

$$y_{cp} = \frac{y_{cp}^n + y_{cp}^s}{2} = \frac{0,3825 + 0,825}{2} = 0,6$$

Середня температура в нижній частині колони:

$$t_{y_{cp}}^H = 108,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Середня температура у верхній частині колони:

$$t_{y_{cp}}^E = 101,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Температури знайдені з діаграми t-x,y (рисунок 4.1).

Середня температура по колоні:

$$t_{y_{cp}} = \frac{t_{y_{cp}}^H + t_{y_{cp}}^E}{2} = \frac{108,5 + 101,5}{2} = 105 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Середня мольна маса:

$$M_{y_{cp}} = M_A \cdot y_{cp} + M_B \cdot (1 - y_{cp}) \quad (4.3.8)$$

$$M_{y_{cp}} = 18 \cdot 0,6 + 60 \cdot (1 - 0,6) = 34,8 \text{ кг/кмоль}$$

Середня щільність:

$$\rho_{y_{cp}} = \frac{M_{y_{cp}}}{22,4} \cdot \frac{P}{P_o} \cdot \frac{T_o}{T} \quad (4.3.9)$$

де $T = 273 + t_{y_{cp}}, \text{ } ^\circ\text{C};$

$P = 1 \text{ кгс/см}^2$ (тиск в колоні атмосферний).

$$\rho_{y_{cp}} = \frac{34,8}{22,4} \cdot \frac{1}{1,033} \cdot \frac{273}{(273 + 105)} = 1,0864 \text{ кг/м}^3$$

Середня в'язкість:

$$\frac{M_{y_{cp}}}{\mu_{y_{cp}}} = \frac{y_{cp} \cdot M_A}{\mu_{yA}} + \frac{(1 - y_{cp}) \cdot M_B}{\mu_{yB}} \quad (4.3.10)$$

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

$$\mu_{yA} = 12,3 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с при } t_{y_{cp}} = 105 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\mu_{yB} = 11,8 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с.}$$

$$\frac{34,8}{\mu_{\text{в\ddot{o}}}} = \frac{0,6 \cdot 18}{12,3 \cdot 10^{-6}} + \frac{(1 - 0,6) \cdot 60}{11,8 \cdot 10^{-6}}$$

$$\mu_{y_{cp}} = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ Па}\cdot\text{с}$$

Коефіцієнт дифузії для парової фази визначаємо за рівнянням:

$$D_y = \frac{4,3 \cdot 10^{-7} \cdot T^{3/2}}{P \cdot (V_A^{1/3} + V_B^{1/3})^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}} \quad (4.3.11)$$

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

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

$$D_y = \frac{4,3 \cdot 10^{-7} \cdot 378^{3/2}}{1 \cdot (18,9^{1/3} + 59,2^{1/3})^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{18} + \frac{1}{60}} = 1,972 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$$

4.4 Визначення діаметра колони

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

$$V_{\dot{o}} = \frac{G_{\dot{o}}}{\rho_{\dot{o} \text{ cp}}} = \frac{G_p \cdot (R+1)}{\rho_{\dot{o} \text{ cp}}} \quad (4.3.12)$$

$$V_y = \frac{1250 \cdot (5,2 + 1)}{3600 \cdot 1,1} = 1,957 \text{ м}^3/\text{с}$$

Швидкість пари в колоні визначаємо по рівнянню. Попередньо приймаємо відстань між тарілками $h=500$ мм. Використовуємо раніше знайдені

$$\rho_{x \text{ cp}} = 950,638 \text{ кг/м}^3 \quad \text{і} \quad \rho_{y \text{ cp}} = 1,0864 \text{ кг/м}^3.$$

Швидкість пари в колоні:

$$W = 1 \text{ і} / \tilde{n} \quad (4.3.13)$$

Тоді діаметр колони:

$$D = \sqrt{\frac{V_y}{0,785 \cdot W}} \quad (4.3.14)$$

$$D = \sqrt{\frac{1,957}{0,785 \cdot 1}} = 1,579 \text{ м}$$

Приймаємо стандартне значення діаметра колони $D=1,6$ м і уточнюємо швидкість пари в колоні:

$$W = \frac{V_y}{0,785 \cdot D^2} \quad (4.3.15)$$

$$W = \frac{1,957}{2,0096} = 0,9738256 \text{ м/с}$$

4.5 Визначення висоти колони

Число дійсних тарілок:

$$n_d = \frac{n_T}{\eta} \quad (4.3.16)$$

де $n_T = 17,5 \text{ шт}$ – визначається за графіком

$$n_d = \frac{17,5}{0,75} = 23$$

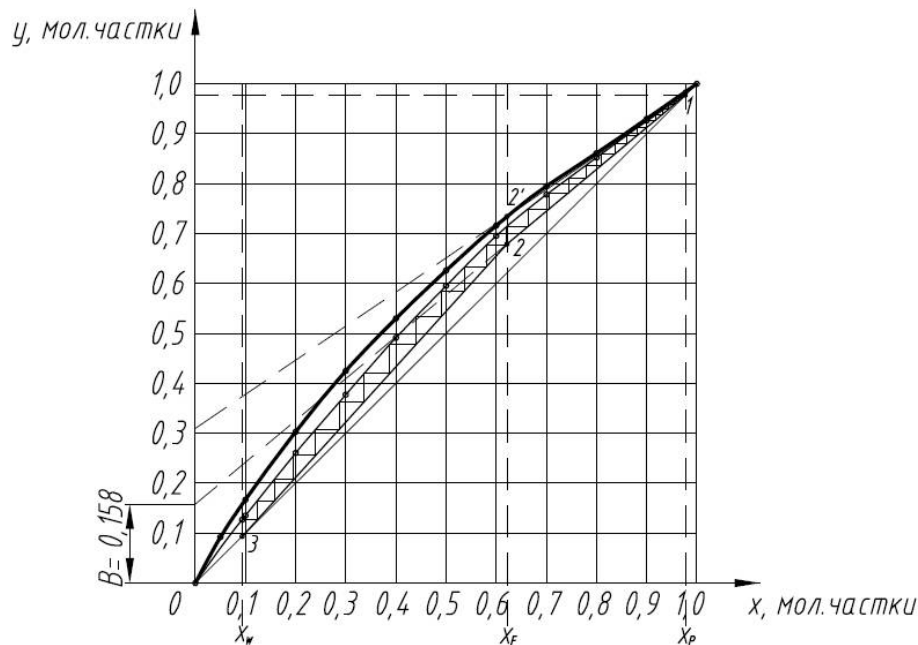


Рисунок 4.3 – Побудова кінетичної кривої і визначення числа дійсних тарілок

Висоту колони визначаємо за рівнянням:

$$H = (n - 1) \cdot h + H_{\text{сен}} + H_{\text{куб}} \quad (4.3.17)$$

$$H = (21 - 1) \cdot 0,5 + 0,8 + 2,0 = 12,8 \text{ м}$$

4.6 Визначення гідравлічного опору колони

Гідравлічний опір колони ректифікації визначаємо за рівнянням

$$\Delta P_K = n \cdot \Delta P_T. \quad (4.3.18)$$

Для сітчастої тарілки приймаємо: діаметр отворів $d_o = 5$ мм, висота переливу $h_{пер} = 30$ мм, вільне перетин тарілки $F_o = 0,08$ (8%).

Гідрравлічний опір сітчастої тарілки визначимо за рівнянням

$$\Delta P_{\text{пox}} = \zeta \frac{W_o^2 \cdot \rho_{ycp}}{2} = 1,82 \frac{12,17^2 \cdot 1,0864}{2} = 146,424 \text{ Па.}$$

Швидкість пара в отворах:

$$W_o = W / F_o = 0,9738 / 0,08 = 12,17 \text{ м/с.}$$

$$\Delta P_{\sigma} = \frac{4\sigma}{1,3d_o + 0,08d_o^2} = \frac{4 \cdot 41,6567 \cdot 10^{-3}}{1,3 \cdot 0,005 + 0,08 \cdot 0,005^2} = 25,55 \text{ Па}$$

Для визначення статичного тиску рідини на тарілці визначаємо витрату рідкої фази у нижній частині колони:

$$L = G_p \cdot R + G_F = 1250 \cdot 5,171 + 3750 = 10213,75 \text{ т/год.}$$

або в об'ємному вираженні $9401,46 \text{ м}^3/\text{год.}$

Для колони $D = 1,6$ м довжина зливного борту $l_{сл} = \Pi = 0,795$ м (див.

Додаток В), тоді інтенсивність потоку $\frac{L}{l_{сл}} = \frac{9,401}{0,795} = 11,825 \frac{\text{м}^3}{\text{год.} \cdot \text{м}}$.

Так як $\frac{L}{l_{сл}} = 11,825 > 5 \frac{\text{м}^3}{\text{год.} \cdot \text{м}}$, то $m = 10000$.

Тоді по рівнянню:

$$\begin{aligned} \Delta P_{ст} &= 1,3 \left[K \cdot h_{пер} + \sqrt[3]{K \left(\frac{L}{m \cdot l_{сл}} \right)^2} \right] \cdot \rho_{xcp} \cdot g = \\ &= 1,3 \left[0,5 \cdot 0,03 + \sqrt[3]{0,5 \left(\frac{9,401}{10000 \cdot 0,795} \right)^2} \right] \cdot 950,638 \cdot 9,81 = 545,56 \text{ Па.} \end{aligned}$$

4.7 Теплові розрахунки. Розрахунок підігрівача

4.7.1 Підігрівач вихідної суміші

Рівняння теплового балансу для підігрівача вихідної суміші:

$$Q = 1,05 \cdot G_F \cdot c_F \cdot (t_{XF} - t_{\Pi}) = G_{г.п} \cdot r_{г.п.}; \quad (4.3.19)$$

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

t_{XF} – температура кипіння вихідної суміші;

$t_{П}$ – початкова температура суміші (задана).

Питома теплоємність вихідної суміші

$$c_F' = \delta \cdot c_A + (1 - \delta_D) \cdot c_B, \quad (4.3.20)$$

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

температурі $t_{XF}^{cp} = \frac{t_{XF} + t_{П}}{2} = \frac{103 + 19}{2} = 61^\circ\text{C}$;

$C_A = 1 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$; $C_B = 0,527 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$, [1, с. 562]; таблиця 8 Додатку А.

$$c_F' = 0,33 \cdot 1 + (1 - 0,33) \cdot 0,527 = 0,6831 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} = 2862 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$

$$Q = 1,05 \cdot G_F \cdot c_F' (t_{XF} - t_{П}) = 1,05 \cdot 3750 \cdot 0,7 \cdot (103 - 19) = 231525 \text{ Вт}.$$

Витрата пари, що гріє:

$$G_{a.г} = \frac{Q}{r} = \frac{231525}{2111 \cdot 10^3} = 0,1097 \text{ кг/с},$$

де $r = 2111 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ $P = 5,5 \text{ кгс/см}^2$ [1, с. 550]; таблиця 9 Додатку А.

Середня різниця температур

$$155 \longrightarrow 103$$

$$155 \longrightarrow 19$$

Більша різниця температур:

$$\Delta t_6 = 155 - 19 = 136^\circ\text{C};$$

Менша різниця температур:

$$\Delta t_m = 155 - 103 = 52^\circ\text{C}.$$

Так як $\frac{\Delta t_{\dot{a}}}{\Delta t_i} = \frac{136}{52} = 2,61 > 2$, тоді середню різницю температур визначаємо за

рівнянням:

$$\Delta t_{\dot{a}0} = \frac{\Delta t_{\dot{a}} - \Delta t_i}{\ln \frac{\Delta t_{\dot{a}}}{\Delta t_i}} = \frac{136 - 52}{0,9} = 94^\circ\text{C}.$$

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

[6, с. 47].

Поверхня теплообміну підігрівача вихідної суміші

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{\text{нб}}} = \frac{231525}{250 \cdot 94} = 9,86 \text{ м}^2.$$

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

- Діаметр кожуха 325 мм;
- труба 25x2 мм;
- кількість труб в теплообміннику 62 шт;
- довжина труб 3 м;
- поверхня теплообміну 9,86 м².

5 АНАЛІЗ ВПЛИВУ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ КОНТАКТНИХ ПРИСТРОЇВ НА РОЗМІРИ КОЛОННОГО АПАРАТА

Ця дипломна робота є частиною комплексної розробки ректифікаційної установки розподілу суміші вода-оцтова кислота продуктивністю 2,5 т/год. по кубовому залишку, яка виконана групою студентів. Для оснащення ректифікаційної колони були запропоновані ситчасті тарілки, розмір отворів в яких складав 5, 8, 12, 20 мм.

Розмір отворів ситчастих тарілок впливає на їх пропускну та масообмінну здатність, яка може бути виражена через об'єм тарільчастої частини ректифікаційної колони.

З одного боку малі отвори, формуючи більш розвинену поверхню контакту фаз, забезпечують високу масообмінну здатність тарілки, а з іншого боку, для тарілок з меншими отворами характерне зниження ефективності масообміну спостерігається при менших швидкостях пари по колоні, що, мабуть, є наслідком більш раннього зростання виносу рідини із-за більшої роздробленості паро рідинних струменів.

Результати розрахунку об'єму колони в залежності від діаметру отворів в ситчастих тарілках для суміші вода-оцтова кислота представлені в таблиці 5.1, де використовувався розрахунковий діаметр.

Таблиця 5.1 – Залежність об'єму колони від діаметру отворів в ситчастих тарілках для суміші вода-оцтова кислота

d_0 , мм	5	8	12	20
V , м ³	30,027	26,66	25,08	27,68

Розрахунок об'єму колони проводиться за формулами:

$$V = H \cdot S \quad (5.1)$$

$$H = (n_d - 1) \cdot h \quad (5.2)$$

$$S = \frac{\pi \cdot D_{\text{роз.}}^2}{4} \quad (5.3)$$

Графік залежності об'єму колони від діаметру отворів в ситчастих тарілках (рис. 5.1) виявляє оптимальну величину діаметра отвору, яка дорівнює 12 мм.

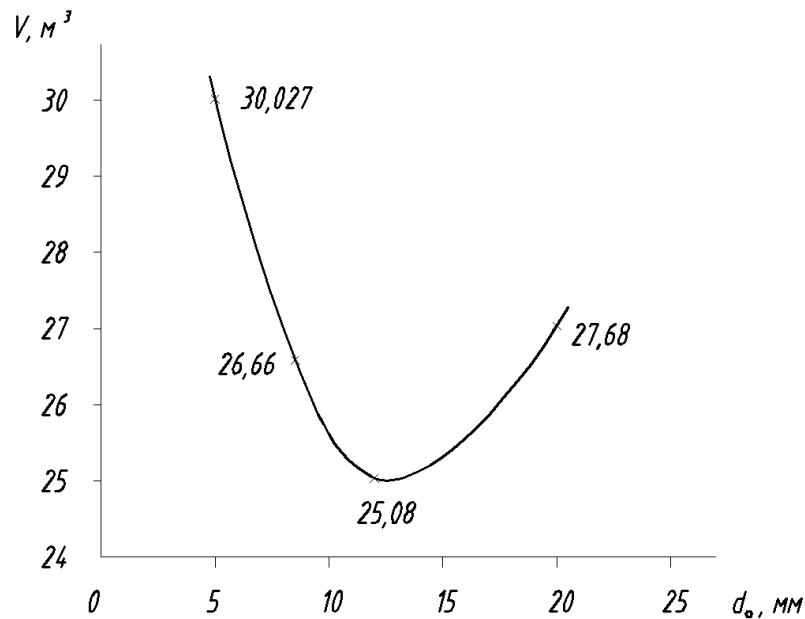


Рисунок 5.1 - Графік залежності об'єму колони від діаметру отворів в ситчастих тарілках

Оптимальний розмір отвору в ситчастій тарілці буде давати мінімальний об'єм тарільчастої частини ректифікаційної колони, який буде виправданий з економічної точки зору. Так, наприклад, відношення об'єму колони з діаметром отворів в ситчастих тарілках 20 мм до об'єму колони з діаметром отворів 12 мм дорівнює 1,1. Отже, можна сказати, що колона з діаметром отворів в ситчастих тарілках 12 мм в 1,1 рази буде дешевшою, ніж колона з діаметром отворів 20 мм.

Таким чином, результати комплексної роботи студентів підтверджують наукові дослідження, зроблені на кафедрі машинознавства та обладнання промислових підприємств та можуть бути застосовані при розробці галузевого Стандарту України.

6 РОЗРАХУНКИ НА МІЦНІСТЬ ПІДГРІВАЧА

6.1 Початкові дані:

Наружний діаметр кожуха D , мм	325
Довжина теплообмінних труб l , мм	3000
Зовнішній діаметр теплообмінної труби d_o , мм	25
Товщина стінки труби S_o , мм	2
Число ходів по трубах	1
Розрахунковий тиск в трубному просторі, МПа	1,6
Розрахунковий тиск в міжтрубному просторі, МПа	1,6
Розрахункова температура труб, °C	200
Розрахункова температура кожуха, °C	200
Матеріал кожуха	10X17H13M2T
Матеріал розподільної камери	10X17H13M2T
Матеріал теплообмінних труб	10X17H13M2T
Матеріал трубної решітки	10X17H13M2T
Матеріал перегородок	10X17H13M2T
Матеріал прокладок розподільної камери	пароніт
Група теплообмінника	1

6.2 Визначення розрахункових параметрів

6.2.1 Розрахункова температура

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

$$t_{кам} = 2 \cdot t_m - t_k \quad (6.1)$$

$$t_{кам} = 2 \cdot 200 - 200 = 200 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Розрахункову температуру ізолюваних фланців визначаємо за формулою:

$$t_{\phi} = t_{кам} \quad (6.2)$$

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

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

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

$$t_{\phi} = t_k = 200 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

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

$$t_{\sigma} = 0,97 \cdot t_{кам} \quad (6.3)$$

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

$$t_{\sigma} = 0,97 \cdot t_{кам}$$

$$t_{\sigma} = 0,97 \cdot 200 = 194 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Розрахункова температура болтів фланцевих з'єднань штуцерів міжтрубного простору:

$$t_{\sigma} = 0,97 \cdot t_k$$

$$t_{\sigma} = 0,97 \cdot 200 = 194 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

6.2.2 Допустимі напружини

Допустимі напружини при розрахунковій температурі $[\sigma]$ і при температурі 20°C $[\sigma]_{20}$, МПа, для елементів апарату приведені в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Допустимі напружини деталей теплообмінника

Елементи апарата	Матеріал	Допустимі напружини, МПа		Відношення допустимих напружин, $[\sigma]_{20}/[\sigma]$
		при температурі 20 °С $[\sigma]_{20}$	при розрахунковій температурі $[\sigma]$	
Кожух	10X17H13M2T	184	160	1,15
Розподільна камера	10X17H13M2T	184	160	1,15
Теплообмінні труби	10X17H13M2T	184	160	1,15
Трубна решітка	10X17H13M2T	184	160	1,15
Перегородки	10X17H13M2T	184	160	1,15
Фланці розподільної камери	10X17H13M2T	184	160	1,15
Фланці кожуха	10X17H13M2T	184	160	1,15
Болти кріплення апаратних фланців і фланців штуцерів трубного і міжтрубного простору	20X13	195	165	1,18
Примітка. Допустимі напружини при температурі 20°С і розрахунковій температурі визначені методом лінійної інтерполяції за [21].				

6.2.3 Коефіцієнти міцності зварних швів

Трубний простір теплообмінника по розрахунковому тиску, температурі і характеру робочого середовища відноситься до 1 групи апаратів [21], 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

$$\varphi_p = 1$$

6.2.4 Робочий, розрахунковий і пробний тиск

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

Розрахунковий тиск визначаємо за формулою

$$P = \max \{ |P_m|; |P_k|; |P_m - P_k| \}, \quad (6.4)$$

де P_o - розрахунковий тиск в трубному просторі, МПа;

P_e - 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

$$P_{np} = 1,25 \cdot P \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]}, \quad (6.5)$$

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

$$P_{т}=1,6 \text{ МПа}, \quad P_{к}=1,6 \text{ МПа};$$

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

Для трубного простору при мінімальному відношенні допустимих напружин $[\sigma]_{20}/[\sigma]=1,15$, пробний тиск складає

$$P_{np\ m} = 1,25 P_m \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,25 \cdot 1,6 \cdot \frac{184}{160} = 2,3 \text{ МПа};$$

Гідростатичний тиск при випробуванні трубного простору теплообмінника

$$P_{z\ m} = \rho_e \cdot g \cdot H_c \cdot 10^{-6} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 3,67 \cdot 10^{-6} = 0,036 \text{ МПа}; \quad (6.6)$$

де H_c - висота стовпа води в трубному просторі, $H_c=3,67$ м;

Гідростатичний тиск при випробуванні

$$P_{z\ m} = 0,036 \text{ МПа} \leq 0,05 P_{np\ m} = 0,05 \cdot 2,3 = 0,11 \text{ МПа}; \quad (6.7)$$

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

$$P_{em} = P_{nrm} = 2,3 \text{ МПа}$$

Умова

$$P_{em} = 2,3 \text{ МПа} \leq 1,35 \cdot P_m \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,35 \cdot 1,6 \cdot \frac{184}{160} = 2,48 \text{ МПа} \quad (6.8)$$

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

Для міжтрубного простору при відношенні допустимих напружин $[\sigma]_{20}/[\sigma]=1,15$ пробний тиск складає

$$P_{nrk} = 1,25 P_k \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,25 \cdot 1,6 \cdot 1,15 = 2,3 \text{ МПа};$$

Гідростатичний тиск при випробуванні міжтрубного простору

$$P_{zrk} = \rho_v \cdot g \cdot H_k \cdot 10^{-6} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 3 \cdot 10^{-6} = 0,03 \text{ МПа} \leq \\ \leq 0,05 P_{nrk} = 0,05 \cdot 2,3 = 0,11 \text{ МПа}$$

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

$$P_{ик} = P_{nrk} = 2,3 \text{ МПа};$$

Умова

$$P_{ик} = 2,3 \text{ МПа} \leq 1,35 P_k \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,35 \cdot 1,6 \cdot 1,15 = 2,48 \text{ МПа}$$

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

6.2.5 Додатки до розрахункової товщини конструктивних елементів

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

$$C_p = C_1 + C_2 + C_3, \quad (6.9)$$

де C_1 – добавка 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

$$C_1 = P \cdot \tau + C_3, \quad (6.10)$$

де P – швидкість проникнення корозії, $P=0,05$ 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 3.4 [21], $C_2=0,8$ 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:

$$C_2 = 0,15 \cdot S_1 \quad (6.11)$$

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

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 3.4 [21], $C_2=0,5$ мм.

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

6.3 Розрахунок товщини стінки кожуха

6.3.1 Розрахунок циліндричної обичайки кожуха

Розрахункова товщина стінки апарата визначається за формулою

$$S_p = \frac{P_k \cdot D}{2 \cdot [\sigma]_k \cdot \varphi_p - P_k}, \quad (6.12)$$

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, $[\sigma]_k = 160$ МПа;

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

$$S_p = \frac{1,6 \cdot 301}{2 \cdot 160 \cdot 1 - 1,6} = 1,51 \text{ мм}$$

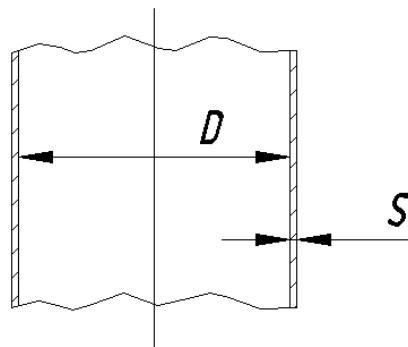


Рисунок 6.1 - Циліндрична обичайка

Виконавча товщина стінки обичайки кожуха визначається за формулою

$$S \geq S_p + C, \quad (6.13)$$

$$S \geq 1,51 + 2,2 = 3,71 \text{ мм}$$

Виконавча товщина стінки обичайки кожуха приймається $S=12$ мм.

Визначення допустимого надлишкового тиску

Для набутого значення S розраховуємо допустимий внутрішній надлишковий тиск за формулою

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (S - C)}{D + (S - C)}, \quad (6.14)$$

$$[P] = \frac{2 \cdot 160 \cdot 1,0 \cdot (12 - 2,2)}{301 + (12 - 2,2)} = 10,1 \text{ МПа}$$

При цьому повинна виконуватися умова

$$P_k \leq [P], \quad (6.15)$$

1,6 МПа < 10,1 МПа, умова виконується.

Перевірка умов застосування розрахункових формул

Розрахункові формули застосовуються при відношенні товщини стінки до діаметру

$$\frac{S - C}{D} \leq 0,1, \quad (6.16)$$

$$\frac{12 - 2,2}{301} = 0,03 < 0,1,$$

умова виконується, отже, формули застосовуються.

6.4 Розрахунок розподільної камери

6.4.1 Розрахунок товщини стінки днища камери

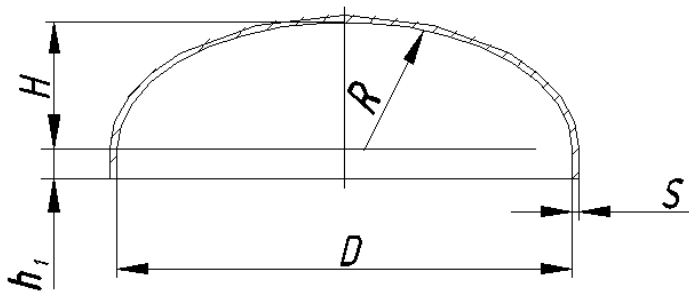


Рисунок 6.2 - Еліптичне днище

Розрахункова товщина стінки днища камери визначається за формулою

$$S_{1p} = \frac{P_m \cdot R}{2 \cdot [\sigma]_m \cdot \varphi_p - 0,5 \cdot P_m}, \quad (6.17)$$

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

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

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

$[\sigma]_m$ - допустима напружина для матеріалу днища при розрахунковій температурі, $[\sigma]_m = 160$ МПа;

$$S_{1p} = \frac{1,6 \cdot 317}{2 \cdot 160 \cdot 1 - 0,5 \cdot 1,6} = 1,59 \text{ мм}$$

Виконавча товщина стінки днища визначається за формулою (6.13)

$$S_1 \geq 1,59 + 1,5 = 3,09 \text{ мм}$$

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

Визначення допустимого тиску

Для отриманого значення S_1 розраховуємо допустимий внутрішній надлишковий тиск за формулою

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma]_{p.k} \cdot \varphi_p \cdot (S_1 - C)}{R + 0,5 \cdot (S_1 - C)}, \quad (6.18)$$

$$[P] = \frac{2 \cdot 160 \cdot 1 \cdot (4 - 1,5)}{317 + 0,5 \cdot (4 - 1,5)} = 2,51 \text{ МПа}$$

При цьому повинна виконуватися умова (6.15)

$$1,6 \text{ МПа} < 2,51 \text{ МПа}, \text{ умова виконується.}$$

Перевірка умов застосування розрахункових формул

Розрахункові формули для еліптичних днищ застосовуються при виконанні умов

$$0,002 \leq \frac{S_1 - C}{D} \leq 0,1, \quad (6.19)$$

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

де H – висота опуклої частини днища, $H=77$ мм, [21].

$$0,002 \leq \frac{4 - 1,5}{317} = 0,008 \leq 0,1,$$

$$0,2 \leq \frac{77}{317} = 0,24 \leq 0,5, \quad \text{умови виконуються, отже, формули}$$

застосовуються.

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

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

$$S_p = 24 \text{ мм}$$

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

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

(6.21)

д 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

$$S_{pp} = 0,5 D_e \sqrt{P/[\sigma]_p} \quad (6.22)$$

$$S_{pp} = 0,5 \cdot 35 \sqrt{1,6/160} = 1,75 \text{ мм}$$

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

$$S_p \geq S_{pp} + C_p \quad 24 \geq 1,75 + 1,8 = 3,55 \text{ мм} - \text{ умова виконується}$$

6.6 Розрахунок лінзового компенсатора

6.6.1 Умови застосування розрахункових формул

Розрахункові формули застосовні, якщо виконуються умови:

$$\frac{S_n}{d_n} \leq 0,035; \quad 1,08 \leq \frac{D_n}{d_n} \leq 3,00; \quad \frac{2r}{D_n - d_n} \leq 0,4 \quad (6.23)$$

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

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

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

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

6.6.2 Визначення допоміжних величин

Розрахунковий діаметр западини хвилі компенсатора визначають за формулою

$$d_1 = d_n - S_n \quad (6.24)$$

$$d_1 = 325 - 4 = 321 \text{ мм}$$

Розрахунковий діаметр гребеня хвилі компенсатора визначають за формулою

$$d_2 = D_n - S_n$$

$$(6.25)$$

$$d_2 = 475 - 4 = 471 \text{ мм}$$

Середній радіус тороїдального переходу хвилі компенсатора розраховують за формулою

$$r_s = 0,5 (2r + S_n) \quad (6.26)$$

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

Допоміжну величину впливу переходу розраховують за формулою

$$\rho_{\varepsilon} = 2 - 100 \frac{r_s}{d_1 + d_2} \quad (6.27)$$

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

Розрахункова ширина пластинчастої зони хвилі компенсатора

$$b_{\varepsilon} = 0,5 (d_2 - d_1 + \rho_{\varepsilon} \cdot r_s) \quad (6.28)$$

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

Радіус закруглення пластинчастої зони хвилі компенсатора

$$R_0 = 0,25 (d_2 + d_1 - 2 b_{\varepsilon}) \quad (6.29)$$

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

Середній діаметр хвилі визначають за формулою

$$d_{cp} = 0,5 (d_2 + d_1) \quad (6.30)$$

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

Характеристики хвилі визначають за формулами:

$$\xi = \frac{d_2}{d_1} - 1 \quad (6.31)$$

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

$$\eta = \frac{d_2 - d_1}{2 r_s} - 2 \quad (6.32)$$

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

$$\alpha = \frac{S_{\varepsilon}}{d_1} \quad (6.33)$$

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

$$\lambda = \frac{b_{\varepsilon}}{R_0} \quad (6.34)$$

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

$$\gamma = 1 + 1,25 \frac{d_2}{d_1} - \frac{3,2 r_s}{d_2 - d_1} \quad (6.35)$$

$$\gamma = 1 + 1,25 \cdot \frac{471}{321} - \frac{3,2 \cdot 16}{471 - 321} = 2,49$$

6.6.3 Розрахунок компенсатора на міцність

Виконавчу товщину стінки компенсатора розраховують за формулою

$$S_n \geq S_{np} + C_n \quad (6.36)$$

де $S_{\text{вб}}$ – розрахункова товщина стінки компенсатора, мм;

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

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

Розрахункову товщину стінки компенсатора визначають за формулою

$$S_{\text{вб}} = S_4 \cdot \sqrt{0,5 + \sqrt{0,25 + (S_3 / S_4)^4}} \quad (6.37)$$

де

$$S_3 = 0,25 (d_2 - d_1 - \gamma \cdot r_s) \cdot \sqrt{P / [\sigma]_r} \quad (6.38)$$

$$S_3 = 0,25 \cdot (471 - 321 - 2,49 \cdot 16) \cdot \sqrt{\frac{1,6}{142}} = 2,9 \text{ мм}$$

$$S_4 = \frac{P \cdot d_{\text{сп}}}{2 [\sigma]_{\text{в}} \cdot \varphi} \cdot \frac{L}{d_2 - d_1 + 2 l_{\text{в}} + 2,3 r_s} \quad (6.39)$$

$$S_4 = \frac{1,6 \cdot 396}{2 \cdot 142 \cdot 1} \cdot \frac{80}{471 - 321 + 2 \cdot 5 + 2,3 \cdot 16} = 0,9 \text{ мм}$$

Позначення в формулах (6.38)-(6.39):

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.

$$S_{np} = 0,9 \cdot \sqrt{0,5 + \sqrt{0,25 + (2,9/0,9)^4}} = 2,97 \text{ мм}$$

Виконавчу товщину стінки компенсатора розраховують за формулою

$$S_n \geq S_{np} + C_n \quad (6.40)$$

$$S_n = 2,97 + 0,8 = 3,77 \text{ мм}$$

Приймаємо:

$$S_n = 4 \text{ мм}$$

Допустимий тиск $[P]_r$ визначають за формулою

$$[P]_r = \frac{[P]_l}{\sqrt{1 + \left(\frac{[P]_l}{[P]_b}\right)^2}} \quad (6.41)$$

де

$$[P]_l = 16 \left(\frac{S_n - C_n}{d_2 - d_1 - \gamma \cdot r_s} \right)^2 \cdot [\sigma]_n \quad (6.42)$$

$$[P]_l = 16 \cdot \left(\frac{4 - 0,8}{471 - 321 - 2,49 \cdot 16} \right)^2 \cdot 142 = 1,91 \text{ МПа}$$

$$[P]_b = \frac{2 [\sigma]_n \cdot \varphi \cdot (S_n - C_n)}{d_{cp}} \cdot \frac{d_2 - d_1 + 2 l_k + 2,3 r_s}{L} \quad (6.43)$$

$$[P]_b = \frac{2 \cdot 142 \cdot 1 \cdot (4 - 0,8)}{396} \cdot \frac{471 - 321 + 2 \cdot 5 + 2,3 \cdot 16}{80} = 5,6 \text{ МПа}$$

$$[P]_r = \frac{1,91}{\sqrt{1 + \left(\frac{1,91}{5,6}\right)^2}} = 1,8 \text{ МПа}$$

При цьому повинна виконуватися умова

$$P_k \leq [P],$$

1,6 МПа < 1,8 МПа, умова виконується.

6.6.4 Розрахунок числа лінз компенсатора

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

$$\Delta = l \cdot |[\alpha_k \cdot (t_k - t_0) - \alpha_m \cdot (t_m - t_0)]| \quad (6.44)$$

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

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

l - довжина труб, мм $l = 3000$ мм

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

$$\alpha_{\delta} = 17 \cdot 10^{-6} 1/^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta = 3000 \cdot \left| \left[12,6 \cdot 10^{-6} \cdot (200 - 20) - 17 \cdot 10^{-6} \cdot (200 - 20) \right] \right| = 2,3 \text{ мм}$$

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

Необхідне число лінз в компенсаторі розраховуємо за формулою

$$n_{\text{л}} = \frac{\Delta}{\Delta_{\text{л}}} = \frac{2,3}{3} = 0,8$$

Отримане число лінз округляємо до найближчого більшого цілого числа,

$$n_{\text{л}} = 1.$$

7 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПІДГРІВАЧА

7.1 Виготовлення основних елементів підігрівача

7.1.1 Виготовлення обичайок

Одним з методів виготовлення обичайок є технологія тимчасової деформації, т. є. згортання (рулонування) плоских полотнищ. Суть цього способу полягає в наступному. З декількох листів металу зварюванням виготовляють полотнище довжиною, рівною розгортці обичайки. Ширина полотнища обмежується довжиною валків гибочного устаткування.

Габаритні розміри листа мають бути такими, щоб після розмітки розгортки обичайки з необхідними припусками на обробку відходи металу були мінімальними.

Механічне прямолінійне і криволінійне різання листів товщиною до 8 мм проводять роликівими ножицями з двома дисковими ножами. Прямолінійне різання листів більшої товщини проводять на ножицях гільйотин або на пресноножницях.

Подовжні і кільцеві кромки обичайок, призначені для накладення зварного шва, обробляють для отримання поверхні необхідного профілю і чистоти. Обробка кромки здійснюється механічним або вогневим способом.

Виготовлення обичайок проводиться на спеціальних листогибочних машинах. Найчастіше на виробництві використовуються такі верстати:

- тривалкові верстати мають три циліндри, які розташовані у вигляді трикутника. Лист металу проходить між ними і набуває необхідної форми;
- чотиривалкові верстати забезпечують підгибку листа, що дозволяє зробити мінімальними прямі ділянки на кінцях листа. Такі машини є найбільш затребуваними на виробництвах, з їх допомогою можна вирішувати різні завдання.

Ручне гнуття металу не застосовується при виготовленні обичайок. Забезпечити рівномірне розтягування заготівлі можуть тільки спеціальні верстати. В результаті виходить виріб з ідеально рівною поверхнею, без тріщин і щербин.

Машини, на яких здійснюється вальцювання металу, можуть бути ручними або мати електропривід. На електричному устаткуванні працювати легше, а використання станків з ЧПУ дозволяє не лише виробляти циліндричну гибку металу, але і виготовляти складніші вироби, що мають змінний радіус.

Вальцюванню можуть піддаватися будь-які види пластичних металів. Для виготовлення обичайок найчастіше використовують сталь різних марок. Перед тим, як приступити до безпосередньо плющення металевого листа, устаткування вимагається настроїти. Вальцювальній машині задається радіус вальцювання і інші параметри. Увесь процес складається з декількох основних етапів:

- установка заготівлі і закріплення її в нерухомому стані;
- здійснення захоплення вальцями заготівлі;
- прокат заготівлі для рівномірної її деформації.

Виконане за цією технологією вальцювання листового металу, дозволяє здійснювати необхідну деформацію металу із збереженням механічної міцності.

Вальцювання металу є найбільш важливим етапом з тих, що входять у виробництво обичайок. Але процес також вимагає проведення інших робіт. Після того, як буде здійснено гнуття металу, проводять зварювання подовжніх швів. Від якості цих робіт залежить надійність готового теплообмінника.

Готові обичайки проходять контроль.

7.1.2 Виготовлення еліптичних днищ

Розміри та форма днищ повинні відповідати ГОСТ 6533-78. Виготовлення еліптичного днища виконується згідно технічних умов на виготовлення та поставку днищ, які викладені в стандартах на днища. Днища виготовляють:

- штампуванням на пресах;
- методом обкатування роликками;
- електрогідравлічним штампуванням;
- електромагнітним штампуванням.

Кругові шви еліптичних днищ, виготовлених з штампованих пелюсток і кульового сегменту, повинні розташовуватися від центру днища на відстані по проекції не більше $1/3$ внутрішнього діаметру днища.

Найменша відстань між меридіональними швами в місці їх примикання до кульового сегменту або штуцера, встановленого у центрі днища замість кульового сегменту, а також між меридіональними швами і швом на кульовому сегменті повинна бути більше триразової товщини днища, але не менше 100 мм по осях швів. Днища зі штампованих елементів зварюють стиковими швами із двостороннім проваром.

Формовку днища методом штампування на пресах проводять у наступному порядку. Заготівля за допомогою транспортера подається в нагрівальну піч для рівномірного нагрівання до необхідної температури. Температурний інтервал штампування $850-950^{\circ}\text{C}$. Нагріта заготівля витягується з печі спеціальними захватами і подається на транспортер, яким переміщується до штампу, що розташований під пресом. Штмп складається із циліндричного пуансону з еліпсоїдною торцевою поверхнею. Пуансон, рухаючись униз під час штампування тягне заготівлю через матрицю.

Далі заготівлю встановлюють на протяжне кільце і штампують, зазвичай, за одну операцію. Заготівля знімається при ході пуансона нагору. Завершальна операція передбачає обробку торця, термообробку, очищення, контроль і таврування.

7.1.3 Виготовлення компенсатора

Лінзові компенсатори виготовляють з листової сталі відповідної товщини шляхом вирізки заготівлі кисневим полум'ям, наступним штампування напівлінз і зварюванням. При масовому виробництві компенсаторів штампування напівлінз виробляється в гарячому стані на пресах. Заготівля для штампування вирізається з листового металу газовим різанням на автоматах. При необхідності виготовлення лінзових компенсаторів в невеликій кількості, коли установка дорогокоштовного пресового устаткування нерентабельна, застосовують різні пристосування. В одному з них заготівля укладається між двома дисками, які стягуються болтами. Виступаючі з пристосування кромки заготівлі нагріваються газовим полум'ям і згинаються ударами молотка.

Виготовлені напівлінзи збираються на прихватках і зварюються автоматичним зварюванням, утворюючи хвилю. Компенсатор збирається з декількох хвиль і зварюється автоматичним зварюванням.

Метод виготовлення лінзових компенсаторів шляхом вирізки заготівель, штампування і зварювання є трудомістким і веде до значних відходів металу. На заводі хвилясті компенсатори виготовляють на спеціальних верстатах з нагрівом струмом високої частоти. На заготівлі з труби розмічають по шаблону місця утворення хвиль. Потім заготівлю закріплюють на верстаті в конічних центрах. У місці майбутнього гофра встановлюється індуктор струму високої частоти і ділянка заготівлі нагрівається до $900\div 1000^{\circ}\text{C}$. Індуктор пересувається на місце утворення другої гофри і відключається. Потім гідравлічний привід верстата створює осьовий тиск на заготівлю, внаслідок чого на місці нагріву утворюється кільцева хвиля. Ділянка труби за гофром-хвилею охолоджується до 300°C стислим повітрям із спеціального кільцевого охолоджувача. Процес утворення наступних гофрів триває так само. Верстат дає можливість виконувати одинадцять гофрів без перестановки труби і гідравлічного приводу.

Метод виготовлення хвилястих компенсаторів з нагрівом струмом високої частоти є високопродуктивним і малотрудомістким процесом. Тривалість

виготовлення кільцевої гофри висотою 45 мм на трубі діаметром 325 мм і з товщиною стінки 9 мм складає всього 7 хв.

7.1.4 Зварювання теплообмінника

Елементи теплообмінників зварюють, як правило, електродуговою зваркою (ручною, напівавтоматичною, автоматичною під флюсом, електрошлаковою, аргонодуговою).

Типи зварних швів, зварювальні матеріали (електроди, присадочні матеріали, флюси, захисні гази) і режими зварювання регламентуються стандартами і вибираються при проектуванні теплообмінника і розробці технологічного процесу його виготовлення залежно від марки сталі, з якої виготовляється теплообмінник, товщини зварюваних елементів, місць розташування зварних швів і умов роботи теплообмінника. Зварювальні роботи проводяться на спеціально відведених майданчиках, що мають зварювальне і допоміжне устаткування і зварювальників високої кваліфікації.

Якість зварних швів безпосередньо впливає на надійність теплообмінника а і на безпеку його експлуатації. Згідно з "Правилами" зварні шви посудин, що працюють під тиском, піддаються зовнішньому огляду і вимірюванню, механічним випробуванням на контрольних зразках, вирізаних із зварних з'єднань, просвічуванню гамма променями, ультразвуком, дослідженню макро- і мікроструктури і гідравлічним випробуванням. Результати випробувань заносяться в паспорт теплообмінника.

Зовнішньому огляду і вимірюванню піддають усі зварні шви. При зовнішньому огляді звертають увагу на тріщини в шві і в околшовній зоні, які можуть з'явитися із-за нерівномірної усадки металу шва при його твердінні. У зварному шві не повинно бути напливів, підрізів і пористості, а також відступів від форми і розмірів, заданих в кресленні.

Механічним випробуванням піддають зразки, вирізані при зварюванні листів з контрольних пластин, а при зварюванні труб - з контрольних стиків.

Механічні випробування включають випробування на розтягування, на вигин або сплющення, а в деяких випадках - на ударну в'язкість. Результати випробувань вважаються незадовільними, якщо показники властивостей хоч одного із зразків виходять більш ніж на 10 % за межі, що допускаються.

Металографічні дослідження проводять у випадках, коли апарат призначений для роботи при температурі вище 450°C або при тиску більше 5 МПа. Їх проводять також в тих випадках, коли теплообмінник виготовляється з легованої сталі, схильної до підгартування. В процесі металографічного дослідження виявляють макро- і мікроскопічні дефекти зварного шва: непровари, тріщини, пори і шлакові включення, а також визначають макро- і мікроструктуру металу шва і зони термічного впливу зварювання. Зразок для металографічного дослідження вирізають з контрольної пластини або з контрольного стику упоперек вісі шва. Якщо металографічне дослідження дало незадовільні результати, апарат до експлуатації не допускається.

Контроль рентгено- або гама-просвічуванням повинні проходити зварні шви усіх апаратів, що працюють під тиском. Залежно від тиску, під яким буде працювати апарат, і температури робочого середовища "Правила" встановлюють відсоток довжини зварних швів, що підлягають просвічуванню. Довжина ділянок швів, що підлягають просвічуванню, коливається в межах від 10 до 100% повної довжини шва. Невеликі тріщини і непровари просвічуванням не виявляються, тому для їх виявлення краще перевіряти шов ультразвуком.

Усі дефекти зварних швів, що виходять за допустимі межі, вирубують, а місця вирубання заварюють. Після заварки дефектних місць зварний шов повторно просвічують, або піддають контролю за допомогою проникаючих рідин або магнітопорошковим методом.

7.1.5 Кріплення труб в трубних решітках

Развальцювання називають процес кріплення труб в отворах трубних решіток за рахунок пластичних деформацій стінок, що виникають в результаті тиску, створюваного з боку внутрішньої поверхні труб.

Технологічний процес розвальцювання складається з підготовки труб і отворів в решітці під розвальцювання, установки труб і їх кріплення в решітках.

Кінці труб, призначених для розвальцювання, піддають відпалу, обрізують з торця, знімають задири і зачищають зовнішню поверхню до металевого блиску на довжині, рівній 2-2,5 товщині трубних решіток. Обрізання і зачистку найдоцільніше проводити на токарних або револьверних верстатах. Для обдирання поверхонь застосовують просте пристосування, яке дозволяє швидко і безпечно очищати кінці труб під час їх обертання.

В якості обладнання для розвальцювання труб можуть використовуватися машини з електричними або пневматичними реверсируючими двигунами. У склад розвальцювального обладнання входить пристрій обмеження крутного моменту, який забезпечує автоматичну зупинку обертання розвальцювального інструмента при досягненні заданої величини крутного моменту. При виборі розвальцювального обладнання слід керуватися необхідною величиною і точністю обмеження крутного моменту.

Розвальцювочний інструмент, що охолоджується, використовується при роботі з електричними розвальцювочними машинами. Охолодження і змащення збільшують стійкість інструмента і стабільність ступеню розвальцювання. Крім того, застосування цього інструмента збільшує продуктивність праці, так як відпадає необхідність замінювати інструмент через кожні декілька труб, щоб запобігти його перегріву.

Розвальцювочний інструмент, що не охолоджується, з нерегулюємою глибиною розвальцювання використовується з пневматичними машинами.

Роликове розвальцювання вводять в трубу і її обертанням і осьовим переміщенням забезпечують деформацію труби до отримання з'єднання. Така

схема призводить до об'ємного напруженого стану, в радіальному напрямі виникає напруження стиснення, в двох інших напрямках - розтягування.

7.1.6 Вирізка отворів

Для установки на теплообміннику штуцерів, бобишок і гільз, в готових зварних обичайках вирізають отвори по розмітці, виконаній на розгортці обичайки. Отвори невеликого діаметру виконують на повний діаметр свердлом або фрезою. Отвори великих діаметрів розсвердлюють з попереднім centruванням малого діаметру (14—16 мм). При неможливості вирізки отворів свердлами і фрезами застосовують пристосування із закріпленням в ньому двох різців, встановлених на відстані, рівному діаметру отвору один від одного. Великі отвори в листах вирізають газовим або плазмено-дуговим різанням з наступним очищенням кромки абразивним кругом.

Після свердління і обробки отвір в обичайці очищають від задирок із зовнішньої і внутрішньої сторін за допомогою пневматичних шлифувально-зачистних інструментів.

7.2 Збирання трубчаткі

Найбільш трудомісткою операцією при виготовленні кожухотрубчастих теплообмінників є збирання трубчаток. Збирання проводять в спеціальних пристосуваннях, які строго фіксують положення трубних решіток. Якщо трубчатка складається з великого числа труб, під час збирання пристосування встановлюють вертикально, при малому числі труб - горизонтально. В трубних решітках при вертикальному положенні трубчаткі співвісність отворів, що протилежать один одному, перевіряють схилом. Під нижні решітки на відстані, рівній довжині виступаючих з решіток кінців труб, підкладають плоску плиту. Цим забезпечують рівне розташування труб над поверхнею нижніх решіток. Набір трубок ведуть від центру до периферії.

У тих випадках, коли конструкція теплообмінника передбачає з'єднання трубних решіток з кожухом до установки трубок, збирання ускладнюється внаслідок введення трубок в другі решітки з внутрішньої порожнини теплообмінника. Набір трубок таких теплообмінників проводять в горизонтальному положенні із застосуванням попередньо встановлених шомполів.

Для правильного розподілу теплообмінних труб між трубними решітками встановлюють поперечні перегородки. Установку поперечних перегородок проводять до набору трубок.

Замість перегородок можуть бути використані кільцеві прокладки, які встановлюють і кріплять на трубках по концентричних колах по мірі набору трубчаток.

7.3 Випробування після виготовлення

Мінімальна величина пробного тиску при гідравлічному випробуванні теплообмінника дорівнює:

$$P_{\text{пр}} = 1,25 \cdot P \frac{[\sigma]^{20}}{[\sigma]^t} \quad (7.3.1)$$

де P – розрахунковий тиск, МПа

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

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

Гідравлічне випробування теплообмінника проводиться після всіх видів контролю, а також виправлення виявлених дефектів.

Гідравлічне випробування проводиться водою з температурою не нижче плюс 5 і не вище плюс 40 °С.

Різниця температур металу і оточуючого повітря під час випробування не повинна викликати утворення вологи на поверхнях об'єкта випробувань.

При заповненні теплообмінника водою повинно бути вилучене повітря із внутрішніх порожнин. Тиск слід піднімати рівномірно до досягнення пробного.

Загальний час підняття тиску вказується в інструкції з монтажу і експлуатації теплообмінника; якщо такої вказівки в інструкції немає, то час підняття тиску повинен бути не менше 10 хвилин.

Тиск води при випробуванні повинен контролюватись двома манометрами, із яких один повинен бути класу точності не нижче 1,5.

Після утримання під пробним тиском тиск знижують до розрахункового, при якому проводять огляд зовнішньої поверхні теплообмінника, його зварних з'єднань.

Використання стиснутого повітря або газу для підняття тиску не допускається.

Теплообмінник вважається таким, що витримав випробування, якщо не буде виявлено видимих залишкових деформацій, тріщин або ознак розриву, протікання в зварних, роз'ємних з'єднаннях і в основному металі.

У вальцьованих і роз'ємних з'єднаннях допускається поява окремих крапель, які з витримкою часу не збільшуються за розмірами.

Після проведення гідравлічного випробування необхідно забезпечити видалення води.

Теплообмінник та його елементи, в яких під час випробування виявлено дефекти, після їх виправлення підлягають випробуванню пробним тиском.

Приймання теплообмінника в експлуатацію проводиться після виконання всіх робіт, передбачених дефектною відомістю та проведення всіх видів випробування з

позитивними результатами

8 РЕМОНТ ПІДГРІВАЧА

8.1 Методи виконання планово-попереджувальних ремонтів

Підтримка устаткування в робочому стані ефективно досягається за допомогою Єдиної системи планово-запобіжного ремонту. Ця система передбачає проведення по заздалегідь складеному графіку сукупності організаційних і технічних заходів профілактичного характеру по догляду і нагляду за устаткуванням, його обслуговуванню і ремонту, мета яких запобігти зносу устаткування, попереджати аварії і підтримувати верстатний парк підприємства в постійній експлуатаційній готовності.

Єдина система планово-запобіжного ремонту покликана збільшити міжремонтні терміни роботи устаткування, знизити витрати на виконання ремонтних операцій і підвищити якість ремонтних робіт. Вона включає:

- міжремонтне (поточне) обслуговування;
- профілактичні ремонтні операції;
- планові ремонти.

Міжремонтне обслуговування - повсякденний догляд і нагляд за роботою устаткування. Він включає заміну мастила і чищення устаткування, регулювання механізмів і усунення всіляких дрібних несправностей без заміни деталей і вузлів. Ця робота виконується або самим робітником-верстатником, або спеціальним черговим ремонтним персоналом без порушення основного виробничого процесу.

У системі міжремонтного обслуговування устаткування особливе місце належить організації і проведенню мастильних робіт, оскільки в машинобудуванні, наприклад, найбільша доля аварійних ремонтів верстатного парку відбувається внаслідок несвоєчасного або неякісного мастила. Ця робота особливо ефективна, якщо виконується централізовано, спеціальним робітником-мастильником. Профілактичні ремонтні операції включають:

- промивання устаткування, що працює в умовах забрудненості;

- зміну масел для устаткування із спеціальною системою мастила;
- перевірку на точність устаткування, зайнятого на обробних операціях;
- огляди по виявленню дефектів, що усуваються у момент проведення планових оглядів.

Ці операції виконуються періодично, по заздалегідь складеному графіку робітниками ремонтної служби в неробочі зміни.

Планові ремонти полягають в проведенні оглядів, малого, середнього і капітального ремонтів устаткування по заздалегідь складеному плану для кожних видів устаткування. Огляди дозволяють здійснювати стеження (моніторинг) за станом устаткування і вносити коригування по мірі необхідності в усі види ремонту.

Малий ремонт включає роботи по заміні вузлів і деталей, що швидко зношуються, заміні масел в системах місткостей. Він носить короткочасний характер, виконується в неробочі зміни, витрати на його проведення включаються в собівартість продукції.

Середній ремонт включає часткове розбирання устаткування, діагностику, заміну зношених вузлів і деталей, вивіряння точності, потужності і продуктивності устаткування з метою відновлення його первинних координат. Він пов'язаний із зупинкою виробничого процесу на нетривалій час.

Капітальний ремонт передбачає повне розбирання устаткування, зняття з фундаменту, діагностику, заміну і ремонт базових деталей, заміну усіх зношених вузлів, збирання, регулювання і вивіряння відремонтованого верстата. Капітальний ремонт зазвичай поєднують за часом з модернізацією устаткування, яка дозволяє при порівняно невеликих витратах поліпшити технічний рівень і економічні характеристики устаткування, усунути повністю або частково моральний знос.

Для скорочення часу простоїв устаткування в ремонті на підприємствах використовують швидкісні методи ремонтів - вузловий і стендовий. При вузловому методі ремонту вузли і деталі, що підлягають ремонту, негайно

замінюються новими або заздалегідь відремонтованими. Зняті вузли і деталі вирушають в ремонт, а потім в запас. Тривалість ремонту в цьому випадку дорівнює часу демонтажу і монтажу устаткування. При стендовому методі ремонту устаткування, що виводиться в ремонт, знімається з фундаменту і замінюється новим або заздалегідь відремонтованим. Такий метод ремонту економічно доцільний лише у великих промислових організаціях при великій кількості однотипного устаткування.

Скороченню тривалості ремонтних робіт сприяє також підвищення рівня механізації їх проведення. Ремонтні цехи багатьох підприємств оснащені підйомно-транспортними механізмами, такелажними пристосуваннями і постійними комунікаціями, що забезпечують підведення таких енергоресурсів, як газ, кисень, стисле повітря і тому подібне, які потрібні для якісного проведення ремонтів.

8.2 Виявлення і усунення дефектів

В процесі тривалої роботи відбувається ерозійний і корозійний знос труб і стінок корпусу: поверхні, що передають тепло, забруднюються і ефективність теплопередачі падає. Характерними дефектами є зменшення товщини стінки труби, днища, корпусу, свищі в зварних швах, ушкодження ущільнювальних поверхонь, тріщини на корпусних деталях і трубах, вм'ятини, нещільність і пропуски у вальцюванні труб в трубних решітках, збільшення діаметру отворів в трубних решітках, виразкова, міжкристалева і інші види корозії, ушкодження опор, різьблення на кріпильних деталях, зволоження або ушкодження теплоізоляції.

Структура ремонтного циклу устаткування різна і залежить від характеру виробництва, типу апарату. Усе теплообмінне устаткування експлуатують з проведенням через кожні три місяці профілактичного огляду, щорічного поточного ремонту, середнього ремонту (через 3 року) і капітального ремонту через 12 років. У ряді випадків обмежуються двома видами ремонту - поточним і

капітальним. При профілактичних оглядах перевіряють затягування фланцевих з'єднань, усувають нещільність, виконують підтяжку або перебивання сальників замочної арматури, оглядають прилади контролю, запобіжні пристрої, очищають жолоби в зрошувальних конденсаторах.

При поточному ремонті проводять додатковий об'єм робіт: часткове розбирання і демонтаж замочної арматури, перебивання усіх сальників, заміну прокладок, перевірку герметичності арматури, ремонт запобіжних і зворотних клапанів, в зрошувальних конденсаторах - демонтаж і очищення відбійних щитів і труб, очищення і регулювання водорозподільних пристроїв.

При середньому ремонті додатково до об'єму поточного ремонту проводять знімання кришок теплообмінників з очищенням труб і порожнин від мулу, накипу, продуктів корозії, випробування на щільність для виявлення можливої течії труб в трубних решітках, підвальцювання, зачеканку або підварку свищів і течії, глушення дефектних труб, вибірково перевірку труб випарників (типу ІА або ІП) і зрошувальних конденсаторів на корозію, ремонт теплоізоляції, огляд посудин технічною адміністрацією підприємства.

При капітальному ремонті додатково до об'єму середнього ремонту виконують роботи по заміні усіх раніше заглушених трубок (при глушенні більше 15% трубок), заміну труб і секцій, що мають течію, заміну труб зі зносом більше 25% по товщині стінки, ремонт і заміну замочної арматури, огляд посудин інспектором Держгірпромнагляду України.

Порядок ремонтних операцій після підготовки відключеного від схеми апарату і здачі його в ремонт наступний: демонтаж арматури і трубопровідного обв'язування, розбирання різьбових з'єднань, знімання кришок, виїмка трубних решіток, якщо це дозволяє конструкція апаратів, перевірка щільності і міцності труб і їх кріплення в трубних решітках шляхом пневматичних або гідравлічних випробувань, глушення і розвальцювання (обварювання) труб в трубних решітках, витягування труб з корпусу при їх заміні, встановлення нових труб з попереднім очищенням отворів в решітках і зачисткою кінців труб, ремонт

корпусних деталей, вирубубання і вирізка прокладок, підготовка кріплення, зборка апарату, випробування на щільність і міцність, здача в експлуатацію.

Ремонт теплообмінних апаратів починається з перевірки їх на щільність. Течія в теплообмінних апаратах виявляється при їх випробуванні тиском води (опресовування). При випробуванні нероз'ємних кожухотрубчастих апаратів воду подають в міжтрубний простір і, піднімають тиск до тиску випробування, перевіряють апарат на відсутність течії в трубних решітках і з порожнини трубок. У разі затруднення у видаленні води з апаратів течію в теплообмінних апаратах визначають тиском сухого повітря або азоту (пневматичне опресовування) з перевіркою обмилуванням або течношукачами. Виявлені труби з течією можуть бути відглушені тимчасовими пробками для продовження випробувань.

При ремонті теплообмінних апаратів, як вказувалося вище, допускається глушення не більше 15% трубок. Правку пом'ятих трубок здійснюють на гвинтових пристосуваннях шляхом протягування пробки-оправляння на штанзі. Труби глушать з двох сторін конусними пробками.

При заміні вальцьовані труби підрізують за трубними решітками спеціальним різцем або розсвердлюють для зменшення товщину стінки і наступної виїмки. Усі ці операції проводять так, щоб не пошкодити поверхні отворів в решітках. Розсвердлювання ведуть ступінчастим свердлом з центруючим гладким кінцем, рівним внутрішньому діаметру труби і різальною частиною, рівною $3/4$ зовнішнього діаметру труб. Зменшення товщини труб різко знижує напруження у вальцьованому з'єднанні, і труба легко виймається. Щоб не впустити трубу в міжтрубний простір, в неї вставляють з іншої трубної решітки металеву лозину або використовують пристосування.

Труби, закріплені в трубних решітках за допомогою зварювання, видаляють з апарату вирубубанням вручну кільцевого шва або зрізають з торця труби зварний шов фрезою з приводом від гнучкого валу. До заміни вибитих дефектних трубок новими отвори в трубних решітках зачищають, продувають і

досуха протирають. Подовжні риски на поверхнях отворів зачищають шабером. Шорсткість поверхні в отворах під вальцювання має бути не нижче Ra 0,80 мкм.

Кінці труб зачищають, протирають, труби вставляють в трубні решітки, проміжки продувають повітрям. Величина проміжку не має бути менше 0,5 і більше 1,5% діаметру труби. При малих проміжках важко заводити труби в трубні решітки, а при великих з'являється небезпека втрати міцності труби і щільності з'єднання. Розвальцювання починають з привальцьовки-роздачі кінця труби для його закріплення в отворі. Привальцьовку виконують вальцюванням з довжиною роликів на 10- 12 мм більше товщини трубних решіток. Після привальцьовки усіх труб проводять остаточне розвальцювання з розрахунку 15-20% товщини стінки вальцьованої труби і відбортовують кінці труб під кутом 15° до осі труби. Привальцьовку виконують кріпильним вальцюванням, остаточну привальцьовку і відбортовку - бортовочним вальцюванням (з бортовочними роликами).

Спочатку розвальцьовують усі трубки в одній решітці, а потім в іншій. При великій кількості замінюваних трубок порядок вальцювання наступний. Вальцюють спочатку чотири трубки навхрест, а потім усі трубки по периметру, після чого усі інші.

Якість роботи перевіряють оглядом на відсутність тріщин і розривів, підрізу труб по кромці гнізда, а також переконуються у відсутності яскраво вираженого переходу між вальцьованою і невальцьованою частиною.

Свищі і тріщини в корпусних деталях і обичайках заварюють. Після усіх робіт по зварюванню корпусних деталей теплообмінник, що підлягає контролю Держгірпромнагляду України, піддають гідравлічному випробуванню на міцність. Опресовування кожухотрубчастих апаратів жорсткої конструкції і з компенсатором на кожусі проводять зі знятими кришками і з перевіркою якості вальцювання в решітках. Під час заповнення апаратів водою перед випробуваннями необхідно забезпечити при будь-якій конструкції вихід повітря з порожнини, яка випробується.

9 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

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

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

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

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

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

4 Хімічні опіки при попаданні агресивних речовин на шкіру.

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

6 Обмороження при зіткненні із зрідженими газами.

7 Поразка електричним струмом при несправності електроустаткування.

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

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

10 Шкідливі викиди в робочу зону та водоймища.

Ремонтно – монтажні роботи

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

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

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

Якість підготовчих робіт визначається виконанням аналізу на вміст паливних, 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.

Основні правила при роботі всередині апаратів, ємностей, колодязях

Проведення такого роду робіт вимагає письмового дозволу головного інженера, узгодження з органами пожежного нагляду, наявність акту огляду ємності й дотримання особливих заходів безпеки у відповідності зі спеціальною інструкцією, а саме:

- повністю відкриті лази й люки, забезпечення максимального повітрообміну;
- обов'язкове заземлення посудини;
- цілісність ізоляції токопроводів;
- неможливість зміни електродів при включеному струмі;

- наявність повного комплекту захисного одягу у зварника;
- після закінчення робіт перед закриттям посудини перевірити її

порожнечу й відсутність усередині сторонніх предметів.

Вогневі роботи дозволяється проводити тільки після виконання всіх підготовчих робіт і заходів, передбачених нарядом-допуском.

Напередодні для проведення вогневих робіт в пожежну частину прямує письмове сповіщення з вказівкою найменування цеху, номери корпусу, місця і характеру вогневих робіт.

Перед початком і періодично в процесі проведення робіт необхідно проводити аналізи стану повітряного середовища на місці робіт.

В разі підвищення змісту горючих речовин в небезпечній зоні, усередині апарату або трубопроводу вогневі роботи негайно припиняються. Ці роботи можуть бути відновлені тільки після виявлення і усунення причини загазованості і відновлення нормальної повітряної середовища.

Під час проведення вогневих робіт технологічним персоналом цеху мають бути прийняті заходи, що виключають виділення в повітряну середовищу вибухонебезпечних речовин.

При виконанні газонебезпечних робіт з вибухонебезпечними газами необхідно користуватися інструментами, що не дають іскр при ударі, а для освітлення застосовувати переносні електролампи з напругою 12 вольт у вибухозахищеному виконанні, мати засоби індивідуального захисту: протигази ПШ-1, ПШ-2.

Проведення робіт на висоті

Роботи на висоті більш 1,3 м повинні виконуватися із застосуванням приставних сходів, драбин, риштовання й лісів, що мають огороження або при обов'язковому застосуванні перевірених і випробуваних запобіжних поясів, якщо робота проводиться з необгороджених поверхонь.

Ліси й підмости допускаються до експлуатації тільки після технічного приймання їх по актах.

Підйом і спуск людей на ліси допускається тільки по сходах, закріпленим верхнім кінцем до поперечок лісів, що виключають можливість їх зсуву.

Скупчення на настилах людей в одному місці не допускається.

Одночасне провадження робіт на дві й більш ярусах по одній вертикалі без відповідних захисних козирків забороняється;

Під час грози й при вітрі силою 6 балів і більш роботу на лісах, а також їх монтаж і демонтаж слід припинити.

Для роботи на висоті застосовуються переносні сходи й драбини. Нижні кінці переносних сходів і драбин повинні мати обкуття з гострими наконечниками, а при користуванні ними на асфальтних, бетонних підлогах повинні мати черевики з гуми або іншого нековзного матеріалу.

Переносні дерев'яні сходи й розсувні сходи-драбини довжиною більш 3м повинні мати не менш 2-х металевих стяжних болтів, установлених під щаблями. Загальна довжина сходів не повинна перевищувати 5м і забезпечувати робітникові можливість робити роботу стоячи на щаблі, що перебуває на відстані не менш 1м від верхнього кінця сходів.

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.

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 виконуваний 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 мерів 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, заземлення ємності, цілісність ізоляції токопроводов, наявність повного комплекту захисного одягу, 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 вірвовок, 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.

Основні правила з електробезпеки

Експлуатація електроустаткування повинна проводитися відповідно до "Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів" і "Правил улаштування електроустановок" (ПУЕ).

Не дозволяється включати електродвигуни і агрегати без попередньої перевірки наявності надійного заземлення.

Включення і відключення електродвигунів здійснюється в діелектричних рукавичках, стоячи на ізолюючій підставі.

Заміну згорілих запобіжників робити при знятій напрузі в діелектричних рукавичках, стоячи на ізолюючій підставі і в окулярах.

Забороняється робити заміну ламп і освітлювальної арматур під напругою.

Електротехнічні роботи в цеху можуть проводитися тільки з дозволу начальника цеху, майстра зміни, енергетика цеху і під спостереженням останнього.

Всі металеві частини електроустаткування і електроустановок, які можуть опинитися під напругою внаслідок напруги ізоляції, мають бути заземлені.

Включення електрозварювального апарата в мережу і його відключення, повинно впровадитися тільки черговим електриком після ретельного огляду агрегату, проводів і заземлення.

Кожен робітник повинен пам'ятати, що електричний струм небезпечний для життя. Сила струму 0,1 А - смертельна для людини.

Для забезпечення електробезпечності застосовують окремо або в поєднанні наступні технічні способи і засоби: захисне заземлення, занулення, захисне відключення, вирівнювання потенціалів, мала напруга, ізоляція струмоведучих частин, електричний поділ мереж, огорожувальні пристрої, блокування,

попереджувальна сигналізація, знаки безпеки, попереджувальні плакати, електрозахисні засоби.

ВИСНОВКИ

В даному дипломному проекті розглянуто установку ректифікації суміші вода-уксусна кислота продуктивністю 2,5 т/год. по кубовому залишку з розробкою підігрівача:

- 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 підігрівача 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.

Перелік джерел посилання

- 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.
- 8 Чернышев А.К., Коптелов В.Г., Листов В.В., Заичко Н.Д. Основные теплофизические свойства газов и жидкостей. Номографический справочник. – Кемеровское изд-во, 1971. – 225 с.
- 9 Дытнерский Ю.И. и др. Колонные аппараты. Каталог/ Под ред. Дытнерского Ю.И., 2-е изд-во. – М.: ЦИНИНЕФТЕХИММАШ, 1978. – С. 220.
- 10 Ермаков В.И., Шеин В.С. Ремонт и монтаж химического оборудования: Учебное пособие для вузов. – Л.: Химия, 1981. – 368 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 Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Мельников О.В. Основи охорони праці. -Вид.5-е, доп.-Львів:Афіша, 2002.-350с.
- 13 Лацинский А. А., Толчинский А. Р. Основы конструирования и расчета

химической аппаратуры. – М.: Машиностроение, 1970. –752с.

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 Методические указания к выбору конструкционных материалов для стальных сварных сосудов и аппаратов для студентов специальности 7.090220/ Сост. А.И. Барвин, И.М. Генкина, В.В. Иванченко, Д.А. Куликов, В.Г. Табунщиков, Ю.Н. Штонда. – Северодонецк, СТИ, 2003. – 41 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 О.І. Барвін та ін. Конструювання і розрахунок сталевих зварних посудин та апаратів. Обичайки та днища. – Луганськ: Вид-во Східноукр. нац. ун-ту імені Володимира Даля. 2005. – 310 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 В. В. Иванченко, О.І Барвін, Ю. М Штонда. Конструювання та розрахунок кожухотрубчатих теплообмінних апаратів: – Луганськ: Вид-во СЛУ ім. В. Даля. – 2006. – 208 с.