

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Факультет інженерії
Кафедра машинобудування та прикладної механіки

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускної кваліфікаційної роботи бакалавра

на тему: Розрахунок та проектування теплообмінного апарату

Студента IV курсу групи ГМ-17ДБ

спеціальності: 133 «Галузеве машинобудування»

Поляков І.А.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник роботи

старш. викл. Табунціков В.Г.

(вчене звання, науковий ступінь,
прізвище та ініціали)

(підпис)

Завідувач кафедри

проф., д.т.н. Соколов В.І.

(вчене звання, науковий ступінь,
прізвище та ініціали)

(підпис)

Сєверодонецьк – 2021

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Факультет інженерії

Кафедра машинобудування та прикладної механіки

Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
д.т.н., проф. Соколов В.І.

« ____ » _____ 2021 року

ЗАВДАННЯ
НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА
студенту

Поляков Ігор Андрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розрахунок та проектування
теплообмінного апарату

керівник роботи Старший викладач Табуншіков Володимир Георгійович
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «__» _____ 2021 року ____

2. Строк подання студентом роботи

3. Вихідні дані роботи

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Реферат. Вступ. Аналітичний огляд. Опис технологічної схеми та конструкції колони, теплообмінника. Конструкційні матеріали для виготовлення теплообмінника. Визначення основних розмірів теплообмінника. Розрахунки на міцність елементів теплообмінника. Технологія виготовлення теплообмінника. Ремонт теплообмінника. Список використаної літератури.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслеників):

1. Загальний вигляд теплообмінника. 2. Трубна решітка. 3. Кришка. 4. Опора ковзна.

5. Трубний пучок. 6. Камера розподільча.

6. Консультанти розділів

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання «___» _____ 2021 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка

Студент

.....
(підпис)

.....
(прізвище та ініціали)

**Керівник бакалавр-
ської роботи**

.....
(підпис)

.....
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота на тему

Установки ректифікації суміші ацетон – бензол продуктивністю 8,8 т/год по вихідній суміші з розробкою дефлегматора

Листів – 64, ілюстрацій – 26, таблиць – 1, додатків – 2, посилань – 0.

Об'єкт розробки та дослідження є основне обладнання установки ректифікації суміші ацетон – бензол спирт.

Мета роботи – розробка дефлегматора.

В роботі визначені основні розміри дефлегматора, виконані розрахунки на міцність елементів конструкції дефлегматора, розглянуті питання технології його виготовлення та ремонту.

Ректифікаційна колона, дефлегматор, теплообмінник, масообмінний контактний пристрій, основні розміри, технологія виготовлення, ремонт.

ВСТУП	4
1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД	6
2. ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ТА КОНСТРУКЦІЇ КОЛОНИ, ДЕФЛЕГМАТОРА	11
3. КОНСТРУКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕФЛЕ- ГМАТОРА	13
4. ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ РОЗМІРІВ ДЕФЛЕГМАТОРА	18
5. РОЗРАХУНКИ НА МІЦНІСТЬ ЕЛЕМЕНТІВ ДЕФЛЕГМАТОРА	20
5.1 Початкові дані	20
5.2 Розрахункова температура	20
5.3 Допустимі напруження	22
5.4 Коефіцієнти міцності зварних швів	24
5.5 Додатки до розрахункових величин	24
5.6 Розрахунок кожуха дефлегматора	25
5.6.1 Розрахунок товщини стінки циліндричної обичайки кожуха дефлегматора	25
5.6.2 Визначення товщини трубної решітки	26
5.6.3 Визначення допоміжних величин	28
5.6.4 Визначення зусиль в елементах апарата	32
5.6.5 Визначення напружин в елементах апарата	34
5.6.6 Розрахунок трубних решіток на міцність та жорсткість	36
5.6.7 Розрахунок кожуха на міцність та стійкість	37
5.6.8 Розрахунок труб на міцність та стійкість	38
5.6.9 Розрахунок кріплення труб в трубній решітці	38
5.6.10 Розрахунок лінзового компенсатора	39
5.6.11 Визначення допоміжних величин	39
5.6.12 Розрахунок компенсатора на міцність	40
5.6.13 Розрахунок компенсатора на малоциклову втомленість	41
6. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ	43
7. РЕМОНТ ДЕФЛЕГМАТОРА	59
ВИСНОВКИ	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	65
ДОДАТОК А	
ДОДАТОК Б	

ВСТУП

Теплообмінниками називаються апарати, в яких відбувається теплообмін між робочими середовищами незалежно від їх технологічного або енергетичного призначення (підігрівачі, випарні апарати, конденсатори, пастеризатори, випарники, деаератори, економайзери та ін.). Технологічне призначення теплообмінників різноманітне. Зазвичай розрізняються власне теплообмінники, в яких передача тепла є основним процесом, і реактори, в яких тепловий процес грає допоміжну роль.

По основному призначенню розрізняються підігрівачі, випарники, холодильники, конденсатори. Залежно від виду робочих середовищ розрізняються теплообмінники: а) рідинно-рідинні - при теплообміні між двома рідкими середовищами; б) парорідинні - при теплообміні між парою і рідиною (парові підігрівачі, конденсатори); в) газорідинні - при теплообміні між газом і рідиною (холодильники для повітря) та ін. По тепловому режиму розрізняються теплообмінники періодичної дії, в яких спостерігається нестационарний тепловий процес, і безперервної дії з процесом, що встановився в часі.

Багатотрубний кожухотрубчатий теплообмінник є пучком трубок, поміщених в циліндричну камеру (кожух); таким чином, внутрішність камери є міжтрубним простором. Трубки ввальцовані в трубні ґрати, що обмежують камеру з усіх боків. До трубних ґрат кріпляться розподільні коробки з патрубками для впускання робочої рідини, що протікає усередині трубок. Камера забезпечена також патрубками для підведення і відведення другого робочого тіла. Трубки латунні, мідні або сталеві застосовуються діаметром від 10 мм і вище; трубки мають великі діаметри при в'язких або забруднених рідинах. Для улаштування в кожух більшої поверхні теплообміну і отримання більшого коефіцієнта тепловіддачі вигідніше застосовувати трубки меншого діаметру.

Трубні ґрати можуть бути наглухо приварені або приклепані до корпусу,

одна з ґрат може бути не сполучена з камерою. В цьому випадку ущільнення досягається гумовим кільцем, що затискає щілину між корпусом і ґратами. Кожух теплообмінника зазвичай сталевий, циліндричний. Іноді для забезпечення свободи температурного розширення кожуха і трубок на кожусі влаштовують компенсатор.

Об'єктом дослідження даного дипломного проекту є дефлегматор.

1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

Перегонка – це технологічний процес, у ході якого пара, що утворюється при кипінні рідкої суміші, відбирається і конденсується. Утворюються щонайменше дві рідини з різним складом:

- дистилят (сконденсовані пари) збагачений компонентом вихідної суміші з більш низькою температурою кипіння – низькокиплячим компонентом (НК);
- залишок (рідина, що не випарувалася) збагачений компонентом з більш високою температурою кипіння (менш летким) – висококиплячим компонентом (ВК).

Перегонка, в свою чергу, підрозділяється на:

- просту перегонку, яка застосовується для розділення сумішей, що складаються з легколетких речовин з домішками нелетких або важко летких;
- перегонку під вакуумом або з водяною парою - застосовується для розділення сумішей, що складаються з важколетких речовин, які містять домішки нелетких;
- сублімацію - застосовується для очищення важколетких речовин від важколетких або нелетких домішок;
- молекулярну перегонку, що застосовується для добування легколетких компонентів, що містяться у вихідній суміші в малих концентраціях. Здійснюється у вакуумі із залишковим тиском 0,0001 – 0,01 мм рт. ст.
- екстрактивну й азеотропну перегонку - застосовуються для розділення компонентів із близькими температурами кипіння та азеотропних сумішей. У вихідну суміш додають розділовий агент (розчинник), що підвищує парціальні тиски парів компонентів суміші, причому тиск пари НК він підвищує більшою мірою

Технологічний апарат призначений для перегонки рідини, розділення

рідких сумішей, складові яких мають різну температуру кипіння називається - ректифікаційною колоною. Ректифікаційні установки широко застосовуються в хімічній, нафтохімічній, спиртовій (отримання ректифікованого етилового спирту) та суміжних галузях промисловості. Найбільше поширення в процесах ректифікації набули тарілчасті та насадкові ректифікаційні колони. Також ректифікаційні установки діляться за принципом дії на періодичні і безперервні. В установках безперервної дії сира суміш, що розділяється, поступає в колону і продукти розділення виводяться з неї безперервно. В установках періодичної дії суміш, що розділяється, завантажують в куб одноразово і ректифікацію проводять до отримання продуктів заданого кінцевого складу.

До переваг безперервної ректифікації порівняно з періодичною можна віднести – більш просте обслуговування; широкі можливості для автоматизації процесу; більш висока продуктивність устаткування; менші витрати тепло, можливе використання тепло залишку на підігрів вихідної суміші.

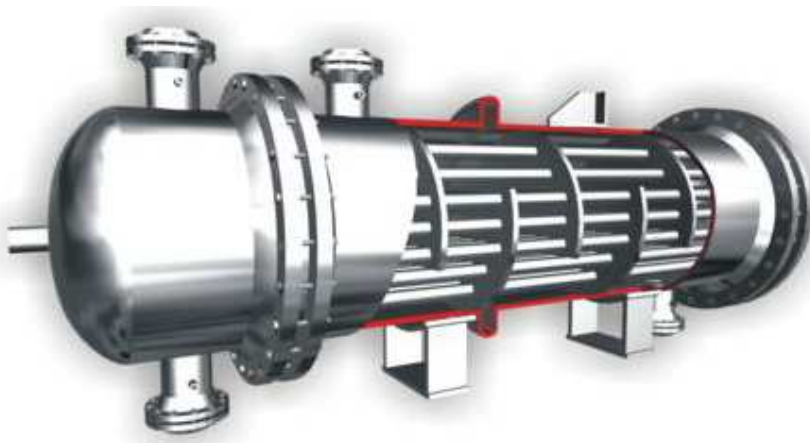
Теплообмінник – апарат, в якому відбувається процес теплообміну між двома середовищами які мають різну температуру.

За принципом дії теплообмінники поділяються на регенератори та рекуператори. У рекуператорах теплоносії розділені стіною. До цього типу відносяться більшість теплообмінників різних конструкцій. В регенеративних теплообмінниках гарячий та холодний теплоносії контактують з однією поверхнею по черзі. Теплота накопичується в стінці при контакті з гарячим теплоносієм і віддається при контакті з холодним.

Застосування теплообмінників не обмежується якоюсь однією сферою індустрії - устаткування використовується всюди (в енергетиці, металургії, харчовій і хімічній промисловості, на теплових пунктах, в системах опалювання, вентиляції і кондиціонування і так далі).

За конструкцією, можна виділити основні види теплообмінників:

- Кожухотрубні;



- Заглибні;



- Типу «труба в трубі»;



- Зрошувальні;



- Графітові;



- Пластинчасті;



- Спіральні;



Переваги кожухотрубних теплообмінників:

- Висока стійкість до гідроударів. Це допомагає їм легко переносити перепади тиску і витримувати серйозні навантаження.
- Не потребують чистого середовища. Вони можуть працювати з неякісною рідиною, що не пройшла попереднього очищення, на відміну від безлічі інших видів теплообмінників, які здатні працювати виключно в не забруднених середовищах.
- Висока ефективність
- Зносостійкість
- Довговічність
- Безпека використання
- Ремонтопридатність
- Робота в агресивному середовищі.

До недоліків можна віднести:

- Габаритність і значна вага : для їх розміщення потрібне приміщення значних розмірів, що не завжди є можливим

- Висока металоємність: що є головною причиною їх високої ціни.

2. ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ТА КОНСТРУКЦІЇ КОЛОНИ, ДЕФЛЕГМАТОРА

Колона ректифікації та дефлегматор є основними складовими частинами апаратурного оформлення процесу ректифікації. Технологічна схема ректифікаційної установки представлена на рисунку 2.1.

До її складу входять:

1. Проміжна ємність
2. Відцентровий насос
3. Підігрівник
4. Ректифікаційна колона
5. Кип'ятильник
6. Дефлегматор

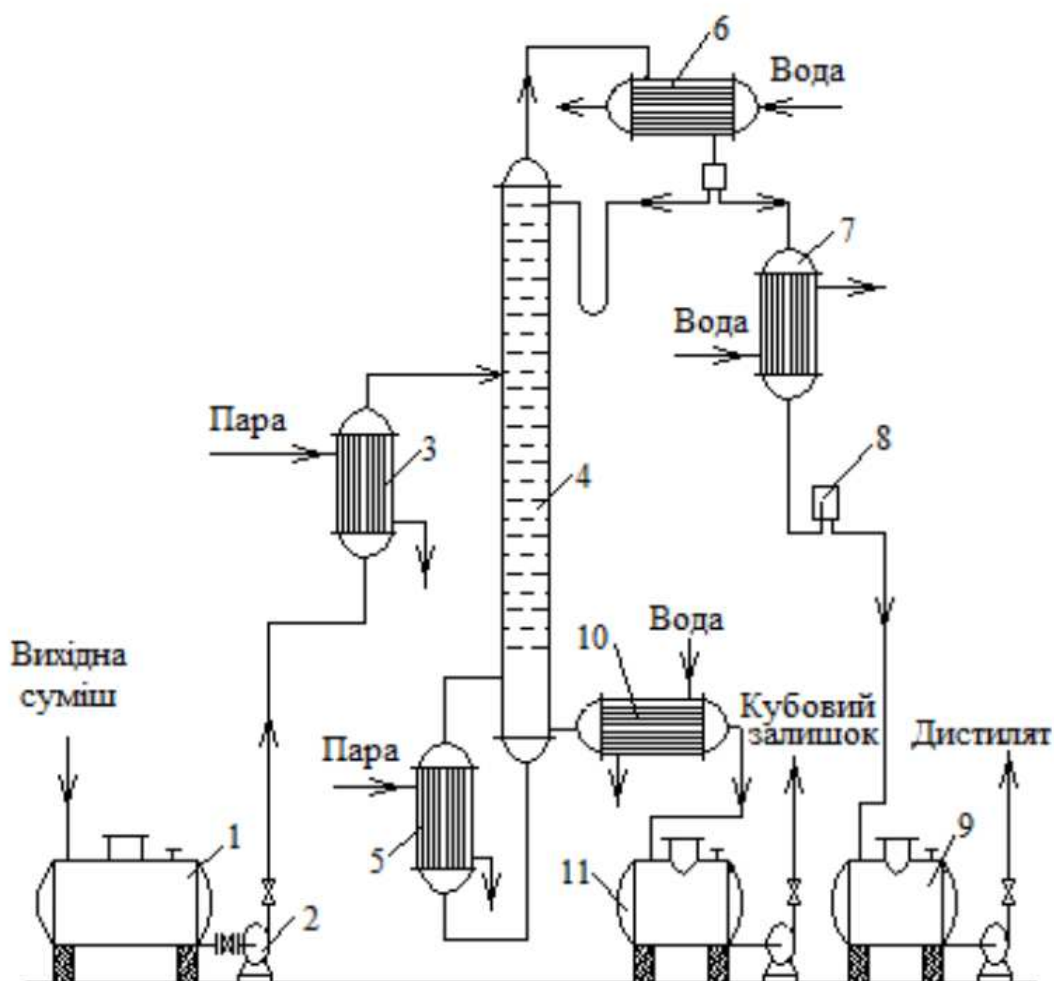


Рис 2.1 - Принципова схема ректифікаційної установки

- 7. Холодильник дистиляту
- 8. Конденсаторвідводчик
- 9. Проміжна ємність дистиляту
- 10. Холодильник кубового залишку
- 11. Проміжна ємність кубового залишку

Вихідну суміш ацетон-бензол із проміжної ємності відцентровим насосом подають у підігрівник, де вона підігрівається за рахунок тепла конденсації пари, що гріє, до температури кипіння. Нагріта суміш поступає на поділ в ректифікаційну колону на тарілку живлення і далі стікає вниз колони, де взаємодіє з паром, яка утворилась при кипінні кубової рідини у кип'ятильнику. Початковий склад пари приблизно рівний складу кубового залишку, який збіднений легколетким компонентом - ацетон. В колоні на тарілках в резуль-

таті масообміну з рідиною пара збагачується ацетоном, так як він є легколетким компонентом. Для більш повного збагачення верхню частину колони зрошують флегмою, яка утворилась у дефлегматорі при конденсації пари у зв'язку з контактом через теплообмінну поверхню з охолоджувальною водою.

Друга частина конденсату виводиться з дефлегматора у вигляді готового продукту - дистиляту, який охолоджується в холодильнику дистиляту, проходить конденсатовідводчик та направляється у проміжну ємність дистиляту. З кубової частини колони самопливом безперервно виводиться кубовий залишок, який збагачений бензолом, так як він є важколетючим компонентом. Кубовий залишок охолоджують у холодильнику кубового залишку і направляють у проміжну ємність кубового залишку.

Таким чином, у ректифікаційній колоні здійснюється безперервний нерівноважний процес поділу вихідної суміші ацетон - бензол на дистилят, який в основному містить ацетон, та кубовий залишок, який в основному містить бензол.

Колона (рис 2.2) призначена для проведення розділу суміші ацетон – бензол.

Колона складається з: циліндричної обичайки, еліптичної кришки, днища, опори, тарілок, відбійника, штуцера вводу сировини, штуцерів для рідини та пару, циліндричного переходу.

Принцип роботи полягає в наступному: у ректифікаційну колону подаються пари рідин, що переганяються. Вони піднімаються знизу, а в режимі протитечії назустріч парам йде рідина, яка конденсується нагорі в холодильнику.

У випадку, якщо речовина перегону складається з двох компонентів, кінцевими продуктами є дистилят, що виходить з верхньої частини колони і кубовий залишок (менш летючий компонент у рідкому вигляді, що виходить з нижньої частини колони).

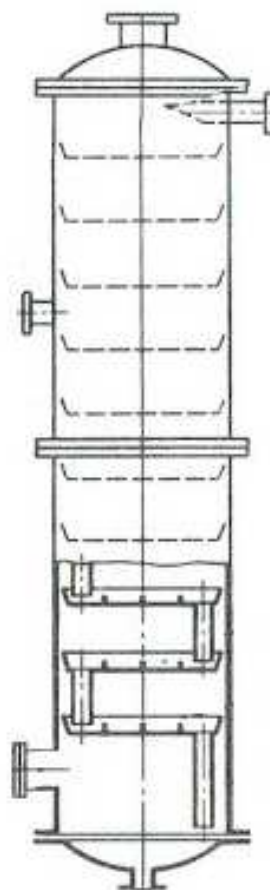


Рисунок 2.2 - Ректифікаційна колона

Дефлегматор (рис 2.3) призначений для конденсації рідини з парів низькокиплячого компонента і складається з: розподільчої камери, нерухомих трубних решіток, кришки розподільчої камери, кожуха, лінзового компенсатора, трубок, перегородок, кришки, опор, штуцерів входу виходу сировин.

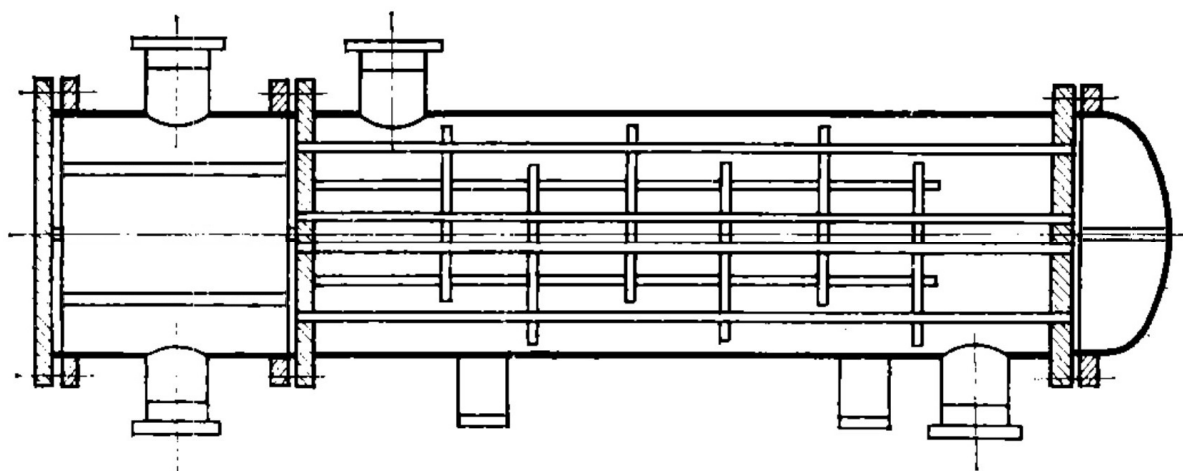


Рисунок 2.3 - Дефлегматор

Він працює наступним чином: трубний простір заповнюється охолодженою водою, а у міжтрубний простір подається пара. Завдяки різниці температур пара, конденсуючись, переходить у рідкий стан.

3. КОНСТРУКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕ-ФЛЕГМАТОРА

Вибір матеріала при проведенні ремонтних робіт залежить від способу виготовлення обладнання, залежить від середовища, яке знаходиться в апараті, від умов експлуатації обладнання. При виборі матеріалів для проведення ремонтних робіт слід знати, які навантаження сприймає обладнання, а також небезпечні перетини в основних деталях і фізичні властивості матеріалів, з яких виготовлене обладнання.

Середовищем цієї установки є – ацетон-бензолова суміш.

Ацетон - безбарвна летка рідина з характерним запахом. Необмежено змішується з водою і полярними органічними розчинниками, також в обме-

жених пропорціях змішується з неполярними розчинниками. Ацетон є цінним промисловим розчинником і завдяки низькій токсичності він отримав широке застосування у виробництві лаків, вибухових речовин, лікарських засобів. Він є початковою сировиною в численних хімічних синтезах. У лабораторній практиці його застосовують в якості полярного апротонного розчинника, для приготування охолоджувальних сумішей разом з сухим льодом і аміаком, а також для миття хімічного посуду.

Ацетон отруйний, але відноситься до малонебезпечних речовин (клас небезпеки IV).

Одна з основних небезпек при роботі з ацетоном - його легка займистість. Температура самозаймання $+465^{\circ}\text{C}$, температура спалаху -20°C . Повітряні суміші, що містять від 2,5 % до 12,8 % (за об'ємом), вибухонебезпечні. З цим необхідно вважатися, оскільки ацетон швидко випаровується, і хмара, що утворюється, може поширитися до місця займання (нагрів або іскра) далеко від місця роботи з ним.

Бензол - органічна хімічна сполука, безбарвна рідина із специфічним солодкуватим запахом. Широко застосовується в промисловості, є початковою сировиною для виробництва ліків, різних пластмас, синтетичної гуми, барвників. Хоча бензол входить до складу сирої нафти, в промислових масштабах він синтезується з інших її компонентів. Токсичний, канцерогенний.

Бензол - небезпечна отрута і є одним з найпоширеніших ксенобіотиків антропогенного походження. У великих концентраціях сильно отруйний. Згідно ГОСТ 12.1.005-88 і ГОСТ 12.1.007-76 він відноситься до II класу небезпеки (речовини високонебезпечного класу).

Враховуючи шкідливість середовища кожух і розподільну камеру теплообмінника пропоную виготовляти з листової сталі 12X18H10T вальцюванням з наступним стиковим зварюванням. Кожух виготовляється із трьох обичайок з урахуванням компенсації напруг виникаючих у місці з'єднання кожуха й трубних решіток.

Днища, трубні решітки й перегородки трубного простору також виготовити з листової сталі 12X18H10T.

Механічні властивості листової сталі 12X18H10T ГОСТ 5520-79:

Межа міцності при розтяганні – $\sigma_B = 510$ МПа.

Межа текучості – $\sigma_T = 196$ МПа.

Відносне подовження при розтяганні - $\delta = 35$ %

Ударна в'язкість – $a_H = 2,86$ МДж/м²

Враховуючи робочий тиск і температуру пропоную використовувати фланці плоскі приварні встик із привалочною поверхнею „шип-паз”.

Фланці штуцерів кожуха виконую зі Сталь 20. Механічні властивості Сталь 20 ГОСТ 4543-61:

Межа міцності при розтяганні – $\sigma_B = 420$ МПа.

Межа текучості – $\sigma_T = 250$ МПа.

Відносне подовження при розтяганні - $\delta = 25$ %

Болти, шпильки й гайки всіх фланців пропоную виготовляти зі сталі 35.

Механічні властивості сортової сталі 35 ГОСТ 4543-61:

Межа міцності при розтяганні – $\sigma_B = 540$ МПа.

Межа текучості – $\sigma_T = 320$ МПа.

Відносне подовження при розтяганні - $\delta = 20$ %

У сталевих кожухотрубних теплообмінниках звичайно використовують металеві або комбіновані прокладки. Враховуючи параметри середовища використовую прокладку – гофровану асбомідну прокладку

Теплообмінні труби кожухотрубних сталевих апаратів - це труби, що випускаються серійно промисловістю, з вуглецевих, корозійностійких сталей. У проекті використовую труби зі сталі 08X18H10T діаметром 20 x 2 мм.

Механічні властивості 08X18H10T:

Межа міцності при розтяганні – $\sigma_B = 510$ МПа.

Межа текучості – $\sigma_T = 210$ МПа.

Відносне подовження при розтяганні - $\delta = 40$ %

4. ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ РОЗМІРІВ ДЕФЛЕГМАТОРА

Продуктивність колони ректифікації за дистилятом визначаю за формулою:

$$G_D = G_F \frac{\bar{X}_F - \bar{X}_W}{\bar{X}_D - \bar{X}_W} = 8800 \frac{0.395 - 0.028}{0.976 - 0.028} = 3406,8 \text{ кг/год} \quad (4.1)$$

Продуктивність колони за кубовим залишком визначаю із рівняння:

$$G_W = G_F - G_D = 8800 - 3406,8 = 5393,2 \text{ кг/год} \quad (4.2)$$

Перевірка:

$$8800 \cdot 0,395 = 3406,8 \cdot 0,976 + 5393,2 \cdot 0,028$$

$$3476 = 3325 + 151$$

$$3476 = 3476$$

Витрата теплоти, що віддається охолоджуючій воді при конденсації па-

ри в дефлегматорі, визначаю із рівняння теплового балансу дефлегматора:

$$Q_D = G_D \cdot (R+1) \cdot r_D = G_B \cdot C_B \cdot (t_k - t_n), \quad (4.3)$$

$$r_D = \bar{x}_D \cdot r_A + (1 - \bar{x}_D) \cdot r_B, \quad (4.4)$$

де питомі теплоти пароутворення ацетону r_A та бензолу r_B при $t_{XD}=56^\circ\text{C}$:

$$r_A=522,95 \text{ кДж/кг}; r_B=411,23 \text{ кДж/кг}.$$

$$r_D = 0.976 \cdot 522,95 + (1 - 0.976) \cdot 411,23 = 520,27 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$Q_D = \frac{3406,8}{3600} \cdot (3,21+1) \cdot 520,27 \cdot 10^3 = 2,07 \cdot 10^6 \text{ Вт}.$$

Приймаю температуру охолоджуючої води на виході з дефлегматора 30°C , тоді витрата охолоджуючої води:

$$G_B = \frac{Q_D}{c_B \cdot (t_k - t_n)} = \frac{1,99 \cdot 10^6}{4190 \cdot (30 - 10)} = 23,74 \text{ кг/с} \quad (4.5)$$

Середня різниця температур при протитечійної схемі руху теплоносіїв:

$$56^\circ\text{C} \longrightarrow 56^\circ\text{C}$$

$$30^\circ\text{C} \longleftarrow 10^\circ\text{C}$$

Більша різниця температур:

$$\Delta t_{\bar{\theta}} = 56 - 10 = 46^\circ\text{C}; \quad (4.6)$$

менша різниця температур:

$$\Delta t_m = 56 - 30 = 26^\circ\text{C}. \quad (4.7)$$

$$\text{Так як } \frac{\Delta t_{\bar{\theta}}}{\Delta t_m} = \frac{46}{26} = 1,77 < 2, \text{ то}$$

$$\Delta t_{\text{сеп}} = \frac{\Delta t_{\bar{\theta}} + \Delta t_m}{2} = \frac{46 + 26}{2} = 36^\circ\text{C} \quad (4.8)$$

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

Поверхня теплообміну дефлегматора:

$$F = \frac{Q_D}{K \cdot \Delta t_{\text{сеп}}} = \frac{2,07 \cdot 10^6}{500 \cdot 36} = 115 \text{ м}^2 \quad (4.9)$$

Вибираю чотирьохходовий кожухотрубчастий теплообмінник із наступними характеристиками:

- діаметр кожуха 600 мм;
- труба $\varnothing 20 \times 2$ мм;
- кількість труб в теплообміннику 334 шт.;
- довжина труб 4 м;
- поверхня теплообміну 125 м^2

5. РОЗРАХУНКИ НА МІЦНІСТЬ ЕЛЕМЕНТІВ ДЕФЛЕГМАТОРА

5.1 Початкові дані

Тип апарата – теплообмінник 600 ТКГ-0,6-0,1-М8/20Г-4-4

Внутрішній діаметр кожуха D , мм	600
Довжина теплообмінних труб l , мм	4000
Зовнішній діаметр теплообмінної труби d_m , мм	20
Товщина стінки труби s_m , мм	2
Число ходів по трубах i	4
Умовний тиск у трубному просторі P_m , МПа	0,6
Умовний тиск у міжтрубному просторі P_k , МПа	0,1
Розрахункова температура труб t_m , °С	30

Розрахункова температура кожуха t_k , °C	56
Матеріал кожуха, матеріал розподільної камери, кришки, теплообмінних труб, трубної решітки та перегородок. сталь марки 12X18H10T.	
Матеріал теплообмінних труб 08X18H10T	
Середовище в трубному просторі – корозійне, пожежовибухонебезпечне, шкідливе, 2 клас небезпеки за ГОСТ 12.1.007-76.	
Середовище в міжтрубному просторі – корозійне, пожежовибухонебезпечне, шкідливе, 4 клас небезпеки за ГОСТ 12.1.007-76.	
Група теплообмінника по трубному простору	1
Група теплообмінника по міжтрубному простору	1
Загальне число циклів навантаження N	1000
Строк служби 10 років.	

5.2 Розрахункова температура

Розрахункову температуру розподільної камери t_k^* , °C, визначаємо за формулою:

$$t_{кам} = 2 t_m - t_k = 2 \cdot 30 - 56 = 4 \text{ °C.} \quad (5.2.1)$$

Розрахункову температуру ізольованих фланців визначаємо за формулою:

$$t_\phi = t \quad (5.2.2)$$

де, t – розрахункова температура апарата, °C.

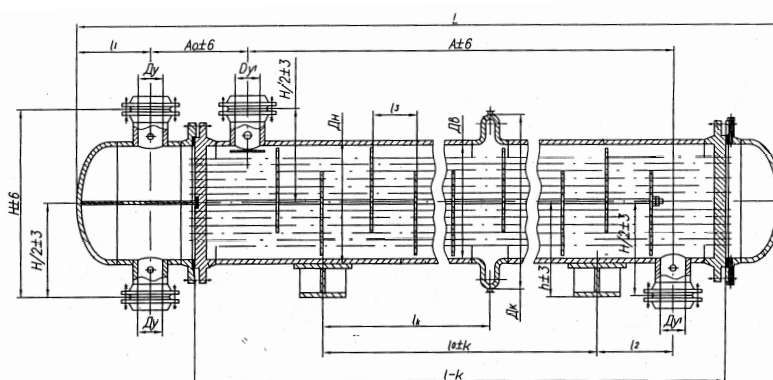


Рисунок 5.1 – Кожухотрубчатий теплообмінник з компенсатором на кожусі

Розрахункову температуру ізолюваних апаратних фланців і фланців штуцерів розподільчої камери теплообмінника приймаємо рівною температурі розподільної камери, тобто:

$$t_{\phi} = t_{\text{кам}} = 4^{\circ}\text{C}. \quad (5.2.3)$$

Розрахункову температуру ізолюваних фланців штуцерів кожуха приймаємо рівною температурі середовища міжтрубного простору, тобто:

$$t_{\phi} = t_{\kappa} = 56^{\circ}\text{C} \quad (5.2.4)$$

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

$$t_{\bar{\sigma}} = 0,97 t \quad (5.2.5)$$

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

$$t_{\bar{\sigma}} = 0,97 t_{\text{кам}} = 0,97 \cdot 4 = 3,9^{\circ}\text{C} \quad (5.2.6)$$

Розрахункова температура болтів фланцевих з'єднань штуцерів міжтрубного простору

$$t_{\bar{\sigma}} = 0,97 t_{\kappa} = 0,97 \cdot 56 = 54,3^{\circ}\text{C} \quad (5.2.7)$$

5.3 Допустимі напружини

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

Таблиця 5.1 – Допустимі напружини матеріалів елементів теплообмінника

Елементи апарата	Матеріал	Допустимі напружини, Мпа		Відношення допустимих напружин $[\sigma]_{20}/[\sigma]$
		при температурі 20°C $[\sigma]_{20}$	при розрахунков. температурі $[\sigma]$	
Кожух	Сталь марки 12Х18Н10Т	184	179,5	1,025
Трубна решітка	Сталь марки 12Х18Н10Т	184	182,75	1,007

Труби	Сталь марки 08Х18Н10Т	168	166,5	1,009
Фланці апаратні	Сталь марки Сталь 20	147	147	1
Фланці штуцерів трубного простору	Сталь марки Сталь 20	147	147	1
Фланці штуцерів кожуха	Сталь марки Сталь 20	147	144.75	1,016
Болти та гайки кріплення апаратних фланців та штуцерів міжтрубного простору	Сталь марки Сталь 35	183,3	183,3	1
Болти фланцевих з'єднань штуцерів трубного простору	Сталь марки Сталь 35	183,3	168,9	1,085
Гайки фланцевих з'єднань штуцерів трубного простору	Сталь марки Сталь 35	183,3	168,9	1,085

Пробний тиск, при якому проводиться випробування апарата, визначаємо за формулою:

$$P_{np} = 1,25 P \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} . \quad (5.3.1)$$

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

Для трубного простору при мінімальному відношенні допустимих напружин $[\sigma]_{20}/[\sigma] = 1,009$ пробний тиск складає:

$$P_{np\ m} = 1,25 P_m \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,25 \cdot 0,6 \cdot 1,009 = 0,76 \text{ МПа}. \quad (5.3.2)$$

Гідростатичний тиск при випробуванні трубного простору теплообмінника складає:

$$P_{г\ mp} = \rho_{\epsilon} \cdot g \cdot H_c \cdot 10^{-6} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 1 \cdot 10^{-6} = 0,01 \text{ МПа}, \quad (5.3.3)$$

де H_c – висота стовпа води у трубному просторі (відстань між фланцями штуцерів у розподільній камері).

Гідростатичний тиск при випробуванні трубного простору:

$$P_{z\,mp} = 0,01 \leq 0,05 P_{np\,m} = 0,05 \cdot 0,76 = 0,038 \text{ МПа} \quad (5.3.4)$$

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

$$P_{i\,m} = P_{np\,m} = 0,76 \text{ МПа}. \quad (5.3.5)$$

Умова

$$P_{i\,m} = 0,76 \text{ МПа} \leq 1,35 P_m \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,35 \cdot 0,6 \cdot 1,009 = 0,82 \text{ МПа} \quad (5.3.6)$$

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

Для міжтрубного простору (кожука) при відношенні допустимих напружин $[\sigma]_{20}/[\sigma] = 1,025$ пробний тиск складає:

$$P_{np\,\kappa} = 1,25 P_\kappa \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,25 \cdot 0,1 \cdot 1,025 = 0,128 \text{ МПа}. \quad (5.3.7)$$

Гідростатичний тиск при випробуванні міжтрубного простору:

$$P_{z\,\kappa} = \rho_\kappa \cdot g \cdot H_\kappa \cdot 10^{-6} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 1 \cdot 10^{-6} = 0,01 > 0,05 P_{np\,\kappa} = 0,05 \cdot 0,128 = 0,0064 \text{ МПа} \quad (5.3.8)$$

складає понад 5% від пробного, тому розрахунковий тиск в умовах випробувань приймаємо за формулою:

$$P_{i\,\kappa} = P_{np\,\kappa} + P_{z\,\kappa} = 0,128 + 0,01 = 0,138 \text{ МПа}. \quad (5.3.9)$$

Умова

$$P_{i\,\kappa} = 0,138 \leq 1,35 P_\kappa \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,35 \cdot 0,1 \cdot 1,025 = 0,1384 \text{ МПа} \quad (5.3.10)$$

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

5.4 Коефіцієнти міцності зварних швів

Трубний та міжтрубний простори теплообмінника за розрахунковим тиском, температурою та характером робочого середовища відноситься до 1 групи посудин, для якої довжина контрольованих швів складає 100 % від їх загальної довжини. Для стикових швів з двостороннім суцільним проваром, виконаних автоматичним зваренням, коефіцієнт міцності зварних швів приймаємо рівним $\varphi_p = 1,0$.

Для стикових (кільцевих) швів, які доступні зваренню лише з одного боку та мають в процесі зварення металеву підкладку з боку кореня шва, котра прилягає по всій довжині шва до основного металу, при контрольованій довжині швів 100 %, коефіцієнт міцності зварних кільцевих швів кожуха приймаємо рівним $\varphi_m = 1,0$.

5.5 Додатки до розрахункових величин

Суми додатків до розрахункових величин визначаємо за формулою:

$$C = C_1 + C_2, \quad (5.5.1)$$

де, C_1 — додаток для компенсації корозії та ерозії, мм;

C_2 — додаток для компенсації мінусового допуску, мм.

Додаток для компенсації корозії та ерозії C_1 розраховуємо за формулою:

$$C_1 = \Pi \cdot \tau + C_3, \text{ мм}, \quad (5.5.2)$$

де, Π — швидкість проникнення корозії, мм/рік;

τ — розрахунковий строк служби теплообмінника, років;

C_3 — додаток для компенсації ерозії, мм.

Додаток для компенсації ерозії не враховуємо, приймаючи, що теплообмінник працює з чистими рідкими середовищами (без твердих або абразивних частинок).

Швидкість проникнення корозії для матеріалу міжтрубного простору приймаємо $\Pi_k = 0$ мм/рік, а трубного — $\Pi_m = 0$ мм/рік.

Додаток для компенсації корозії складає:

– для труб з боку трубного та міжтрубного просторів:

$$C_{1m} = 1 \text{ мм};$$

– для кожуха:

$$C_{1\kappa} = P_{\kappa} \cdot \tau = 0 \cdot 10 = 0 \text{ мм}.$$

Добавку для компенсації мінусового допуску C_2 , мм, приймаємо за стандартом.

5.6 Розрахунок кожуха дефлегматора

5.6.1 Розрахунок товщини стінки циліндричної обичайки кожуха дефлегматора

Розрахункову товщину стінки кожуха від дії внутрішнього тиску визначаємо за формулою:

$$S_{p\kappa} = \frac{P_{\kappa} \cdot D}{2 [\sigma]_{\kappa} \cdot \varphi_p - P_{\kappa}}, \quad (5.6.1.1)$$

де, P_{κ} – розрахунковий тиск у міжтрубному просторі теплообмінника при розрахунковій температурі, МПа;
 D – внутрішній діаметр обичайки кожуха, мм;
 φ_p – коефіцієнт міцності поздовжніх зварних швів.

$$S_{p\kappa} = \frac{0,1 \cdot 600}{2 \cdot 179,5 \cdot 1,0 - 0,1} = 0,167 \text{ мм}. \quad (5.6.1.2)$$

Відповідно до галузевого стандарту виконавчу товщину стінки кожуха приймаємо рівною $S_{\kappa} = 6$ мм. Добавка для компенсації мінусового допуску для сталевих листів товщиною 6 мм складає $C_2 = 0,6$ мм. Добавку

$$C_2 = 0,6 > 0,05 S = 0,05 \cdot 6 = 0,3 \text{ мм} \quad (5.6.1.3)$$

враховуємо, так як вона перевищує 5 % від номінальної товщини листа.

Сума добавок до розрахункової товщини стінки кожуха складає:

$$C_{\kappa} = C_{1\kappa} + C_{2\kappa} = 0,5 + 0,6 = 1,1 \text{ мм}. \quad (5.6.1.4)$$

Виконавчу товщину стінки кожуха визначаємо за формулою:

$$S_k \geq S_{pk} + C_k = 0,167 + 1,1 = 1,267 \text{ мм.} \quad (5.6.1.5)$$

Остаточно приймаємо виконавчу товщину стінки кожуха рівною $S_k = 6 \text{ мм.}$

Допустимий внутрішній надлишковий тиск в кожусі визначаємо за формулою:

$$[P] = \frac{2 [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - C)}{D + (s - C)} = \frac{2 \cdot 179,5 \cdot 1,0 \cdot (6 - 1,1)}{600 + (6 - 1,1)} = 2,91 \text{ МПа.} \quad (5.6.1.6)$$

Умова міцності

$$P_k = 0,1 \leq [P]_k = 2,91 \text{ МПа} \quad (5.6.1.7)$$

виконується.

Умова застосування розрахункових формул

$$\frac{s - C}{D} = \frac{6 - 1,1}{600} = 0,008 \leq 0,1 \quad (5.6.1.8)$$

виконується.

5.6.2 Визначення товщини трубної решітки

Товщину трубної решітки приймаємо рівною 20 мм.

Розрахунковий тиск визначаємо за формулою:

$$P = \max\{|P_m|; |P_k|; |P_m - P_k|\};$$

$$P = \max\{0,6; 0,1; |0,6 - 0,1|\} = 0,6 \text{ МПа.} \quad (5.6.2.1)$$

Розрахункову товщину трубної решітки за умови міцності максимальної без трубної зони визначаємо за формулою:

$$S_{pp} = 0,5 \cdot D_e \cdot \sqrt{\frac{P}{[\sigma]_p}}; \quad (5.6.2.2)$$

де D_e - діаметр окружності, вписаної в максимальну безтрубну зону, визначається конструктивно. $D_e = 51,85 \text{ мм.}$

$$S_{pp} = 0,5 \cdot 51,85 \cdot \sqrt{\frac{0,6}{182,75}} = 1,49 \text{ мм} \quad (5.6.2.3)$$

Виконавчу товщину трубної решітки за умови міцності максимальної без трубної зони визначаємо за формулою:

$$S_p \geq S_{pp} + C_p = 1,49 + 1,1 = 2,59 \text{ мм.} \quad (5.6.2.4)$$

Коефіцієнт ослаблення трубної решітки визначаємо за формулою:

$$\varphi_p = 1 - \frac{d_0}{t_p} = 1 - \frac{20,25}{26} = 0,221 \quad (5.6.2.5)$$

Розрахункову товщину трубної решітки в перерізу канавки під повздо-вжню перегородку визначаємо за формулою:

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

$$S_{np} = 2,59 \cdot \max \left\{ 1 - \sqrt{\frac{20,25}{10} \cdot \left(\frac{45}{26} - 1 \right)}; \sqrt{0,221} \right\} = 2,59 \cdot \max \{-0,216; 0,47\} = 1,22 \quad (5.6.2.6)$$

Товщина трубної решітки в перерізу під повздо-вжню перегородку в розподільній камері має бути не менше:

$$S_n \geq S_{np} + C_p = 1,22 + 1,1 = 2,32 \text{ мм.} \quad (5.6.2.7)$$

З конструктивних міркувань приймаємо товщину трубної решітки в перерізу канавки під повздо-вжню перегородку в розподільній камері рівною 10 мм.

5.6.3 Визначення допоміжних величин

Відстань від осі кожуха до осі найбільш віддаленої труби приблизно визначаємо за формулою

$$a_1 = 0,5 (D_0 - d_m), \quad (5.6.3.1)$$

де D_0 – діаметр окружності, за межу якої не повинні виступати теплообмінні труби

$$a_1 = 0,5 \cdot (590 - 20) = 285 \text{ мм.}$$

Відносну характеристику краю трубної решітки визначаємо за формулою:

$$m_n = 0,5 D/a_1 = 0,5 \cdot 600/285 = 1,05 \quad (5.6.3.2)$$

Коефіцієнти впливу тиску на трубну решітку визначаємо за формулами:

$$\eta_\kappa = 1 - \frac{i d_m^2}{4 a_1^2} = 1 - \frac{334 \cdot 20^2}{4 \cdot 285^2} = 0,59 \quad (5.6.3.3)$$

$$\eta_m = 1 - \frac{i (d_m - 2 S_m)^2}{4 a_1^2} = 1 - \frac{334 \cdot (20 - 2 \cdot 2)^2}{4 \cdot 285^2} = 0,74 \quad (5.6.3.4)$$

Коефіцієнт жорсткості трубної решітки визначаємо за формулою:

$$\psi_0 = \eta_m^{2,33} = 0,74^{2,33} = 0,5. \quad (5.6.3.5)$$

Модуль пружності основи (системи труб) визначаємо за формулою:

$$K_y = \frac{2 E_m (\eta_m - \eta_\kappa)}{l} = \frac{2 \cdot 204 \cdot 10^3 \cdot (0,74 - 0,59)}{4000} = 15,3. \quad (5.6.3.6)$$

Зведене відношення жорсткості труб до жорсткості кожуха розраховуємо за формулою:

$$\rho = \frac{K_y \cdot a_1 \cdot l}{2 E_\kappa \cdot S_\kappa} = \frac{15,3 \cdot 285 \cdot 4000}{2 \cdot 204 \cdot 10^3 \cdot 6} = 7,13. \quad (5.6.3.7)$$

Значення коефіцієнтів лінійного розширення матеріалів кожуха α_κ і труб α_m приймаємо за нормативним документом.

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

$$\begin{aligned} \Delta &= l \cdot |\alpha_\kappa (t_\kappa - t_0) - \alpha_m (t_m - t_0)| = \\ &= 3910 \cdot \left| [16,424 \cdot 10^{-6} \cdot (56 - 20) - 16,4 \cdot 10^{-6} \cdot (30 - 20)] \right| = 1,67 \text{ мм}. \end{aligned} \quad (5.6.3.8)$$

За додатком визначаємо компенсуючу здатність однієї лінзи компенсатора при загальному числі циклів навантаження $N = 10^3$, $\Delta_\lambda = 10,5$ мм.

Необхідне число лінз в компенсаторі розраховуємо за формулою:

$$n_\lambda = \frac{\Delta}{\Delta_\lambda} = \frac{1,67}{10,5} = 0,16. \quad (5.6.3.9)$$

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

Жорсткість компенсатора визначаємо за додатком, $C_a = 57620$ Н.

Коефіцієнт жорсткості компенсатора визначаємо за формулою:

$$K_\kappa = \frac{C_a}{n_l \cdot \Delta_l} = \frac{57620}{1 \cdot 10,5} = 5487,6 \text{ Н/мм.} \quad (5.6.3.10)$$

Внутрішній діаметр западини хвилі компенсатора визначаємо за формулою:

$$d_\kappa = d_n - 2 S_\Delta, \quad (5.6.3.11)$$

де d_n – зовнішній діаметр западини хвилі компенсатора, $d_n = 608$ мм.

$$d_\kappa = 608 - 2 \cdot 4 = 600 \text{ мм.}$$

Коефіцієнти K_q^* і K_p^* розраховуємо за формулами:

$$K_q^* = \frac{\pi \cdot D \cdot E_\kappa \cdot S_\kappa}{l \cdot K_\kappa} = \frac{3,14 \cdot 600 \cdot 201,76 \cdot 10^3 \cdot 6}{4000 \cdot 5487,6} = 103,9; \quad (5.6.3.12)$$

$$K_p^* = -\frac{\pi \cdot (D_\Delta^2 - d_\kappa^2) E_\kappa \cdot S_\kappa}{1,2 \cdot l \cdot D \cdot K_\kappa} = -\frac{3,14 \cdot (858^2 - 600^2) \cdot 201,76 \cdot 10^3 \cdot 6}{1,2 \cdot 4000 \cdot 600 \cdot 5487,6} = 90,47. \quad (5.6.3.13)$$

Коефіцієнти змінення жорсткості системи труби-кожух визначаємо за формулами:

$$K_q = 1 + K_q^* = 1 + 103,9 = 104,9; \quad (5.6.3.14)$$

$$K_p = 1 + K_p^* = 1 + 90,47 = 91,47 \quad (5.6.3.15)$$

Безрозмірний коефіцієнт m_{cp} розраховуємо за формулою:

$$m_{cp} = 0,15 \cdot \frac{i \cdot (d_m - S_m)^2}{a_1^2}, \quad (5.6.3.16)$$

де i – число труб в трубній решітці.

$$m_{cp} = 0,15 \cdot \frac{334 \cdot (20 - 2)^2}{285^2} = 0,2.$$

Зведений тиск визначаємо за формулою:

$$\begin{aligned}
P_0 &= 0,5 [\alpha_k \cdot (t_k - t_0) - \alpha_m \cdot (t_m - t_0)] \cdot K_y \cdot l + \\
&+ [\eta_m - l + m_{cp} + m_n \cdot (m_n + 0,5 \cdot \rho \cdot K_q)] \cdot P_m - \\
&- [\eta_k - l + m_{cp} + m_n \cdot (m_n + 0,3 \cdot \rho \cdot K_p)] \cdot P_k = \\
&= 0,5 \cdot [16,424 \cdot 10^{-6} \cdot (56 - 20) - 16,4 \cdot 10^{-6} \cdot (30 - 20)] \cdot 15,3 \cdot 4000 + \\
&+ [0,77 - 1 + 0,2 + 1,05 \cdot (1,05 + 0,5 \cdot 7,13 \cdot 103,9)] \cdot 0,6 - \\
&- [0,59 - 1 + 0,2 + 1,05 \cdot (1,05 + 0,3 \cdot 7,13 \cdot 91,47)] \cdot 0,1 = \\
&= 196,8 \text{ МПа.}
\end{aligned} \tag{5.6.3.17}$$

Коефіцієнт системи решітка-труби розраховуємо за формулою:

$$\beta = \frac{1,82}{S_p} \cdot \sqrt[4]{\frac{K_y \cdot S_p}{\psi_0 \cdot E_p}} = \frac{1,82}{20} \cdot \sqrt[4]{\frac{15,3 \cdot 20}{0,5 \cdot 201,76 \cdot 10^3}} = 0,021. \tag{5.6.3.18}$$

Коефіцієнти системи кожух-решітка і обичайка-фланець камери β_1 і β_2 визначаємо за формулами:

$$\beta_1 = \frac{1,84}{\sqrt{D \cdot S_1}} = \frac{1,84}{\sqrt{600 \cdot 6}} = 0,031; \tag{5.6.3.19}$$

$$\beta_2 = \frac{1,84}{\sqrt{D \cdot S_2}} = \frac{1,84}{\sqrt{600 \cdot 6}} = 0,031. \tag{5.6.3.20}$$

Радіуси центрів ваги тарілок фланців кожуха і розподільної камери розраховуємо за формулою:

$$R_1 = R_2 = 0,25 (D_n + D) = 0,25 \cdot (740 + 600) = 335 \text{ мм}, \tag{5.6.3.21}$$

а ширини фланців – за формулою:

$$b_1 = b_2 = 0,5 \cdot (D_n - D) = 0,5 \cdot (740 - 600) = 70 \text{ мм}, \tag{5.6.3.22}$$

де D_n – зовнішній діаметр фланця, $D_n = 740$ мм.

Коефіцієнти K_1 і K_2 обчислюємо за формулами:

$$K_1 = \frac{\beta_1 \cdot D \cdot E_k \cdot S_1^3}{11 R_1} = \frac{0,031 \cdot 600 \cdot 201,6 \cdot 10^3 \cdot 6^3}{11 \cdot 335} = 2,2 \cdot 10^5; \tag{5.6.3.23}$$

$$K_2 = \frac{\beta_2 \cdot D \cdot E_0 \cdot S_2^3}{11 R_2} = \frac{0,031 \cdot 600 \cdot 196,76 \cdot 10^3 \cdot 6^3}{11 \cdot 335} = 2,15 \cdot 10^5. \tag{5.6.3.24}$$

Товщини фланців трубного пучка і розподільної камери складають відповідно $h_1 = 36$ мм, $h_2 = 32$ мм.

Коефіцієнти жорсткості $K_{\phi 1}$ і $K_{\phi 2}$ розраховуємо за формулами:

$$K_{\phi 1} = \frac{E_1 \cdot h_1^3 \cdot b_1}{12 R_1^2} + K_1 \cdot \left(1 + \frac{\beta_1 \cdot h_1}{2} \right) =$$

$$= \frac{201,76 \cdot 10^3 \cdot 36^3 \cdot 70}{12 \cdot 335^2} + 2,2 \cdot 10^5 \cdot \left(1 + \frac{0,031 \cdot 36}{2} \right) = 0,83 \cdot 10^6$$

Н·мм;

(5.6.3.25)

$$K_{\phi 2} = \frac{E_2 \cdot h_2^3 \cdot b_2}{12 R_2^2} + K_2 \cdot \left(1 + \frac{\beta_2 \cdot h_2}{2} \right) =$$

$$= \frac{201,76 \cdot 10^3 \cdot 32^3 \cdot 70}{12 \cdot 335^2} + 2,15 \cdot 10^5 \cdot \left(1 + \frac{0,031 \cdot 32}{2} \right) = 0,67 \cdot 10^6$$

Н·мм.

(5.6.3.26)

Коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання при згині розраховуємо за формулою:

$$K_{\phi} = K_{\phi 1} + K_{\phi 2} = 0,83 \cdot 10^6 + 0,67 \cdot 10^6 = 1,5 \cdot 10^6 \text{ Н·мм.}$$
(5.6.3.27)

Коефіцієнти впливу тиску на згин фланців розраховуємо за формулами:

$$m_1 = \frac{1 + \beta_1 \cdot h_1}{2 \beta_1^2} = \frac{1 + 0,031 \cdot 36}{2 \cdot 0,031^2} = 1101 \text{ мм}^2;$$
(5.6.3.28)

$$m_2 = \frac{1 + \beta_2 \cdot h_2}{2 \beta_2^2} = \frac{1 + 0,031 \cdot 32}{2 \cdot 0,031^2} = 1036 \text{ мм}^2.$$
(5.6.3.29)

Зведене відношення жорсткості труб до жорсткості фланцевого з'єднання розраховуємо за формулою:

$$\rho_1 = \frac{K_y \cdot D \cdot a_1}{2 \beta^2 \cdot K_{\phi} \cdot R_1} = \frac{15,3 \cdot 600 \cdot 285}{2 \cdot 0,021^2 \cdot 1,5 \cdot 10^6 \cdot 335} = 5,9.$$
(5.6.3.30)

Значення коефіцієнтів ϕ_1 , ϕ_2 , ϕ_3 визначаємо за таблицею залежно від параметра ω , який розраховуємо за формулою:

$$\omega = \beta \cdot a_1 = 0,021 \cdot 285 = 6;$$
(5.6.3.31)

$$\phi_1 = 9,08; \quad \phi_2 = 6,15; \quad \phi_3 = 8,81.$$

Значення коефіцієнтів T_1 , T_2 , T_3 визначаємо за таблицею залежно від параметра ω і відносної характеристики безтрубного краю трубної решітки m_n :

$$T_1 = 15,34; T_2 = 8,72; T_3 = 9,25.$$

5.6.4 Визначення зусиль в елементах апарата

Тиск P_I визначаємо за формулою:

$$\begin{aligned} P_I &= \frac{K_y}{\beta \cdot K_\phi} \cdot (m_1 \cdot P_\kappa - m_2 \cdot P_m) = \\ &= \frac{15,3}{0,021 \cdot 1,5 \cdot 10^6} \cdot (1101 \cdot 0,1 - 1036 \cdot 0,6) = -0,25 \text{ МПа}. \end{aligned} \quad (5.6.4.1)$$

Згинальний момент, розподілений по периметру трубної решітки, обчислюємо за формулою:

$$\begin{aligned} M &= \frac{a_I}{\beta} \cdot \frac{P_I \cdot (T_I + \rho \cdot K_q) - P_o \cdot T_2}{(T_I + \rho \cdot K_q) \cdot (T_3 + \rho_I) - T_2^2} = \\ &= \frac{285}{0,021} \cdot \frac{(-0,25) \cdot (15,34 + 7,13 \cdot 104,9) - 196,8 \cdot 8,72}{(15,34 + 7,13 \cdot 104,9) \cdot (9,25 + 5,9) - 8,72^2} = -2252 \text{ Н} \cdot \text{мм/мм}. \end{aligned} \quad (5.6.3.2)$$

Перерізувальну силу, яка розподілена по периметру трубної решітки, розраховуємо за формулою:

$$\begin{aligned} Q &= \frac{a_I \cdot [P_o \cdot (T_3 + \rho_I) - P_I \cdot T_2]}{(T_I + \rho \cdot K_q) \cdot (T_3 + \rho_I) - T_2^2} = \\ &= \frac{285 \cdot [196,8 \cdot (9,25 + 5,9) + 0,25 \cdot 8,72]}{(15,34 + 7,13 \cdot 104,9) \cdot (9,25 + 5,9) - 8,72^2} = 74 \text{ Н/мм}. \end{aligned} \quad (5.6.4.3)$$

Згинальний момент, розподілений по периметру перфорованої зони трубної решітки, визначаємо за формулою:

$$\begin{aligned} M_a &= M + (0,5 D - a_I) \cdot Q = \\ &= -2252 + (0,5 \cdot 600 - 285) \cdot 74 = -1142 \text{ Н} \cdot \text{мм/мм}. \end{aligned} \quad (5.6.4.4)$$

Перерізувальну силу, яка розподілена по периметру перфорованої зони трубної решітки, розраховуємо за формулою:

$$Q_a = m_n \cdot Q = 1,05 \cdot 74 = 77,7 \text{ Н/мм}. \quad (5.6.4.5)$$

Осьову силу, яка діє на трубу, визначаємо за формулою:

$$\begin{aligned}
N_m &= \frac{\pi \cdot a_I}{i} \cdot [(\eta_\kappa \cdot P_\kappa - \eta_m \cdot P_m) \cdot a_I + \Phi_I \cdot Q_a + \Phi_2 \cdot \beta \cdot M_a] = \\
&= \frac{3,14 \cdot 285}{334} \cdot [(0,59 \cdot 0,1 - 0,74 \cdot 0,6) \cdot 285 + \\
&+ 9,08 \cdot 77,7 + 6,15 \cdot 0,021 \cdot (-1142)] = 1201,5 \text{ Н}.
\end{aligned}
\tag{5.6.4.6}$$

Момент інерції поперечного перерізу труби визначаємо за формулою:

$$\begin{aligned}
I_m &= \frac{\pi}{64} \cdot [(d_m - 2 C_4)^4 - (d_m - 2 S_m + 2 C_5 + 2 C_6)^4] = \\
&= \frac{3,14}{64} \cdot [(20 - 2 \cdot 0)^4 - (20 - 2 \cdot 2 + 2 \cdot 0 + 2 \cdot 0,2)^4] = 4301 \text{ мм}^4.
\end{aligned}
\tag{5.6.4.7}$$

Максимальний проліт між решіткою та перегородкою визначаємо за таблицею, $l_{lp} = 600 \text{ мм}$.

Зведену розрахункову довжину труби теплообмінника визначаємо за формулою:

$$l_{np} = 0,33 l_{lp} = 0,33 \cdot 600 = 198 \text{ мм}, \tag{5.6.4.8}$$

Згинальний момент, що діє на трубу, розраховуємо за формулою:

$$\begin{aligned}
M_m &= \frac{E_m \cdot I_m \cdot \beta}{K_y \cdot a_I \cdot l_{np}} \cdot (\Phi_2 \cdot Q_a + \Phi_3 \cdot \beta \cdot M_a) = \\
&= \frac{204 \cdot 10^3 \cdot 4301 \cdot 0,021}{15,3 \cdot 285 \cdot 198} \cdot (6,15 \cdot 77,7 + 8,81 \cdot 0,021 \cdot (-1142)) = 5688,6 \text{ Н} \cdot \text{мм}.
\end{aligned}
\tag{5.6.4.9}$$

Осьове зусилля, розподілене по периметру кожуха, визначаємо за формулою:

$$Q_\kappa = 0,25 D \cdot P_m - Q = 0,25 \cdot 600 \cdot 0,6 - 74 = 16 \text{ Н/мм}. \tag{5.6.4.10}$$

Згинальний момент, розподілений по периметру кожуха, визначаємо за формулою:

$$\begin{aligned}
M_\kappa &= \frac{K_I}{\rho_I \cdot K_\phi \cdot \beta} \cdot (T_2 \cdot Q + T_3 \cdot \beta \cdot M) - \frac{P_\kappa}{2 \beta_I^2} = \\
&= \frac{2,2 \cdot 10^5}{5,9 \cdot 1,5 \cdot 10^6 \cdot 0,021} \cdot [8,72 \cdot 74 + 9,25 \cdot 0,021 \cdot (-2252)] - \frac{0,1}{2 \cdot 0,031^2} = 194 \text{ Н} \cdot \text{мм/мм}.
\end{aligned}
\tag{5.6.4.11}$$

Осьове зусилля в кожусі обчислюємо за формулою:

$$F = \pi \cdot D \cdot Q_k = 3,14 \cdot 600 \cdot 16 = 30144 \text{ Н.} \quad (5.6.4.12)$$

5.6.5 Визначення напружин в елементах апарата

Напружини в трубній решітці в місці з'єднання з кожухом визначаємо за формулами:

– згинальні

$$\sigma_{p1} = \frac{6 |M|}{(s_{lp} - C_1 - C_2 - C_3)^2} = \frac{6 \cdot 2252}{(20 - 0 - 0 - 0)^2} = 33,78 \text{ МПа;} \quad (5.6.5.1)$$

– дотичні

$$\tau_{p1} = \frac{|Q|}{s_{lp} - C_1 - C_2 - C_3} = \frac{74}{20 - 0 - 0 - 0} = 3,7 \text{ МПа.} \quad (5.6.5.2)$$

Параметр m обчислюємо за формулою:

$$m = \beta \cdot M_a / Q_a = 0,021 \cdot (-1142) / 77,7 = -0,31. \quad (5.6.5.3)$$

Так як $-1,0 \leq m \leq 1,0$, момент M_{max} розраховуємо за формулою:

$$M_{max} = A \cdot |Q_a| / \beta = 0,309 \cdot 77,7 / 0,021 = 1143,3 \text{ Н} \cdot \text{мм/мм.} \quad (5.6.5.4)$$

Напружини в перфорованій частині трубної решітки розраховуємо за формулами :

– згинальні

$$\sigma_{p2} = \frac{6 M_{max}}{\varphi_p \cdot (s_p - C_1 - C_2 - C_3)^2} = \frac{6 \cdot 1143,3}{0,221 \cdot (20 - 0 - 0 - 0)^2} = 77,6 \text{ МПа;} \quad (5.6.5.5)$$

– дотичні

$$\tau_{p2} = \frac{|Q_a|}{\varphi_p \cdot (s_p - C_1 - C_2 - C_3)} = \frac{77,7}{0,221 \cdot (20 - 0 - 0 - 0)} = 17,6 \text{ МПа.} \quad (5.6.5.6)$$

Розрахункові напружини в кожусі в місці приєднання до решітки розраховуємо за формулами:

– у меридіональному напрямку:

– мембранні:

$$\sigma_{mx} = \frac{|Q_k|}{S_I - C_7 - C_8} = \frac{16}{6 - 0 - 0,8} = 3,1 \text{ МПа}; \quad (5.6.5.7)$$

– згинальні:

$$\sigma_{ux} = \frac{6 |M_k|}{(S_I - C_7 - C_8)^2} = \frac{6 \cdot 194}{(6 - 0 - 0)^2} = 32,3 \text{ МПа}; \quad (5.6.5.8)$$

– в окружному напрямку:

– мембранні:

$$\sigma_{m\varphi} = \frac{0,5 |P_k| \cdot D}{S_I - C_7 - C_8} = \frac{0,5 \cdot 0,1 \cdot 600}{6 - 0 - 0} = 5 \text{ МПа}; \quad (5.6.5.9)$$

– згинальні:

$$\sigma_{u\varphi} = 0,3 \sigma_{ux} = 0,3 \cdot 32,3 = 9,69 \text{ МПа}. \quad (5.6.5.10)$$

Розрахункові напружини в трубах визначаємо за формулами:

– в осьовому напрямку:

$$\sigma_{Im} = \frac{|N_m|}{\pi \cdot (d_m - S_m) \cdot S_m} = \frac{1201,5}{3,14 \cdot (20 - 2) \cdot 2} = 10,63 \text{ МПа}; \quad (5.6.5.11)$$

$$\sigma_I = \sigma_{Im} + \frac{0,5 d_m \cdot |M_m|}{I_m} = 10,63 + \frac{0,5 \cdot 20 \cdot 5688,6}{4301} = 23,86 \text{ МПа}; \quad (5.6.5.12)$$

– в окружному напрямку:

$$\sigma_{2m} = 0,5 \cdot (d_m + S_m) \cdot P/2 = 0,5 \cdot (20 + 2) \cdot 0,6/2 = 2,7 \text{ МПа}. \quad (5.6.5.13)$$

5.6.6 Розрахунок трубних решіток на міцність та жорсткість

Умова статичної міцності трубної решітки, що визначається за формулою:

$$\max\{\tau_{p1}; \tau_{p2}\} \leq 0,5[\sigma]_p = \max\{3,7; 17,6\} = 17,6 \text{ МПа} < 0,5 \cdot 182,75 = 91,4 \text{ МПа} \quad (5.6.6.1)$$

виконується.

Перевірку на міцність трубної решітки при малоциклових навантаженнях проводимо за формулою:

$$\sigma_a = 0,5 K_\sigma \cdot \max \{ |\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_2|; |\Delta\sigma_2 - \Delta\sigma_3|; |\Delta\sigma_3 - \Delta\sigma_1| \} \leq [\sigma_a]. \quad (5.6.6.2)$$

При перевірці трубної решітки на малоциклову втомленість приймаємо:

– в місці з'єднання з кожухом:

$$\Delta\sigma_1 = \sigma_{p1} = 33,78 \text{ МПа}; \quad (5.6.6.3)$$

$$\Delta\sigma_2 = \Delta\sigma_3 = 0, \quad K_\sigma = 1,7;$$

$$\sigma_a = 0,5 \cdot 1,7 \cdot \max \{ |33,78 - 0|; |0 - 0|; |0 - 33,78| \} = 28,7 \text{ МПа}; \quad (5.6.6.4)$$

– у перфорованій частині:

$$\Delta\sigma_1 = \sigma_{p2} = 77,6 \text{ МПа}; \quad (5.6.6.5)$$

$$\Delta\sigma_2 = \Delta\sigma_3 = 0, \quad K_\sigma = 1;$$

$$\sigma_a = 0,5 \cdot 1 \cdot \max \{ |77,6 - 0|; |0 - 0|; |0 - 77,6| \} = 38,8 \text{ МПа}. \quad (5.6.6.6)$$

Допустиму амплітуду напружин розраховуємо за формулою:

$$[\sigma_a] = \frac{2300 - t}{2300} \cdot \frac{A}{\sqrt{n_N \cdot N}} + \frac{B}{n_\sigma} = \frac{2300 - 30}{2300} \cdot \frac{0,6 \cdot 10^5}{\sqrt{10 \cdot 1000}} + \frac{270}{2} = 727 \text{ МПа}. \quad (5.6.6.7)$$

Умови міцності трубної решітки при малоциклових навантаженнях в місці з'єднання з кожухом:

$$\sigma_a = 28,7 < [\sigma_a] = 727 \text{ МПа} \quad (5.6.6.8)$$

і в перфорованій частині:

$$\sigma_a = 38,8 < [\sigma_a] = 727 \text{ МПа} \quad (5.6.6.9)$$

виконуються.

Розрахункову товщину трубної решітки визначаємо за формулою:

$$s_{pp} = 0,5 \cdot (s_p - C_1 - C_2 - C_3) \cdot \frac{\sigma_{p2}}{[\sigma_a]} = 0,5 \cdot (20 - 0 - 0 - 0) \cdot \frac{77,6}{727} = 1,07 \text{ мм}. \quad (5.6.6.10)$$

Виконавчу товщину трубної решітки в перерізу канавки під поздовжню перегородку приймаємо рівною $S_n = 20$ мм.

Попередньо прийнята товщина трубної решітки в перерізу паза під поздовжню перегородку задовольняє умові міцності.

5.6.7 Розрахунок кожуха на міцність та стійкість

Умова статичної міцності кожуха в місці приєднання до решітки:

$$\sigma_{mx} = 3,1 \leq 1,3 [\sigma]_K = 1,3 \cdot 179,5 = 233,35 \text{ МПа} \quad (5.6.7.1)$$

виконується.

Допустиму амплітуду напружин в кожусі в місці приєднання до решітки визначаємо за формулою :

$$[\sigma_{ak}] = \frac{2300 - t}{2300} \cdot \frac{A_1}{\sqrt{n_N \cdot N}} + \frac{B}{n_\sigma} = \frac{2300 - 56}{2300} \cdot \frac{0,6 \cdot 10^5}{\sqrt{10 \cdot 1000}} + \frac{270}{2} = 720,4 \text{ МПа}. \quad (5.6.7.2)$$

Перевірку кожуха в місці приєднання до решітки на малоциклову вто- мленість проводимо за формулою. При цьому приймаємо

$$\Delta\sigma_1 = \sigma_{mx} + \sigma_{ux} = 3,1 + 32,3 = 35,4 \text{ МПа}; \quad (5.6.7.3)$$

$$\Delta\sigma_2 = \sigma_{m\phi} + \sigma_{u\phi} = 5 + 9,69 = 14,69 \text{ МПа}; \quad (5.6.7.4)$$

$$\Delta\sigma_3 = 0. \quad (5.6.7.5)$$

$$\sigma_a = 0,5 K_\sigma \cdot \max \left\{ \begin{array}{l} |\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_2| \\ |\Delta\sigma_2 - \Delta\sigma_3| \\ |\Delta\sigma_3 - \Delta\sigma_1| \end{array} \right\} =$$

$$0,5 \cdot 1,7 \max \left\{ \begin{array}{l} |35,4 - 14,69| = 20,71 \\ |14,69 - 0| = 14,69 \\ |0 - 35,4| = 35,4 \end{array} \right\} = 30,1 \text{ МПа} \leq [\sigma_a] = 720,4 \text{ МПа}. \quad (5.6.7.6)$$

Умова виконується.

5.6.8 Розрахунок труб на міцність та стійкість

Допустиму напружину для матеріалу труб при розрахунковій температурі розраховуємо за стандартом, $[\sigma_m] = 166,5$ МПа.

Умова статичної міцності труб :

$$\max \{ \sigma_{1m}; \sigma_{2m} \} = \max \{ 10,63; 2,7 \} = 10,63 \leq [\sigma_m] = 166,5 \text{ МПа} \quad (5.6.8.1)$$

виконується.

Перевіряємо труби на малоциклову втомленість за формулою. При цьому

$$\Delta \sigma_1 = \sigma_1 = 23,84 \text{ МПа}; \quad \Delta \sigma_2 = \Delta \sigma_3 = 0; \quad K_\sigma = 1. \quad (5.6.8.2)$$

Допустиму амплітуду напружин в трубах розраховуємо за формулою:

$$[\sigma_{am}] = \frac{2300 - 30}{2300} \cdot \frac{0,6 \cdot 10^5}{\sqrt{10 \cdot 1000}} + \frac{270}{2} = 727,2 \text{ МПа}. \quad (5.6.8.3)$$

Умова малоциклової міцності труб :

$$\begin{aligned} \sigma_{am} &= 0,5 K_\sigma \cdot \max \left\{ \begin{array}{l} |\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_2| \\ |\Delta \sigma_2 - \Delta \sigma_3| \\ |\Delta \sigma_3 - \Delta \sigma_1| \end{array} \right\} = 0,5 \cdot 1,7 \max \left\{ \begin{array}{l} |23,84 - 0| \\ |0 - 0| \\ |0 - 23,84| \end{array} \right\} = \\ &= 20,3 \text{ МПа} \leq [\sigma_{am}] = 675 \text{ МПа} \end{aligned} \quad (5.6.8.4)$$

виконується.

5.6.9 Розрахунок кріплення труб в трубній решітці

Безрозмірний коефіцієнт φ_c визначаємо за формулою:

$$\varphi_c = \min \{ 0,5; 0,95 - 0,2 \lg N \} = \min \{ 0,5; 0,95 - 0,2 \lg 1000 \} = 0,4. \quad (5.6.9.1)$$

Умова кріплення труб в решітці зваренням з наступним розвальцюванням

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{|N_m| \cdot d_m + 4 |M_m|}{\pi \cdot d_m^2 \cdot \delta} = \frac{|1201,5| \cdot 20 + 4 \cdot |5688,6|}{3,14 \cdot 20^2 \cdot 2} = 18,6 \leq \\ &\leq \varphi_c \cdot \min \{ [\sigma]_m; [\sigma]_p \} = 0,4 \min \{ [166,5]; [182,75] \} = 66,6 \text{ МПа} \end{aligned} \quad (5.6.9.2)$$

виконується.

5.6.10 Розрахунок лінзового компенсатора

Умови застосування розрахункових формул:

$$\frac{S_{\text{л}}}{d_{\text{н}}} \leq 0,035; \quad 1,08 \leq \frac{D_{\text{л}}}{d_{\text{н}}} \leq 3,00; \quad \frac{2r}{D_{\text{л}} - d_{\text{н}}} \leq 0,4. \quad (5.6.10.1)$$

$$\frac{S_{\text{л}}}{d_{\text{н}}} = \frac{4}{608} = 0,0066 < 0,035; \quad (5.6.10.2)$$

$$1,08 < \frac{D_{\text{л}}}{d_{\text{н}}} = \frac{858}{608} = 1,41 < 3,00; \quad (5.6.10.3)$$

$$\frac{2r}{D_{\text{л}} - d_{\text{н}}} = \frac{2 \cdot 22}{858 - 608} = 0,176 < 0,4. \quad (5.6.10.4)$$

виконуються.

5.6.11 Визначення допоміжних величин

Розрахунковий діаметр западини хвилі компенсатора розраховуємо за формулою:

$$d_1 = d_{\text{н}} - S_{\text{л}} = 608 - 4 = 604 \text{ мм.} \quad (5.6.11.1)$$

Розрахунковий діаметр гребеня хвилі компенсатора визначаємо за формулою:

$$d_2 = D_{\text{л}} - S_{\text{л}} = 858 - 4 = 854 \text{ мм.} \quad (5.6.11.2)$$

Середній радіус тороїдального переходу хвилі компенсатора розраховуємо за формулою:

$$r_s = 0,5(2r + S_{\text{л}}) = 0,5(2 \cdot 22 + 4) = 24 \text{ мм.} \quad (5.6.11.3)$$

Допоміжну величину впливу переходу розраховуємо за формулою:

$$\rho_{\text{л}} = 2 - 100 \cdot \frac{r_s}{d_1 + d_2} = 2 - 100 \cdot \frac{24}{604 + 854} = 0,35 \text{ мм.} \quad (5.6.11.4)$$

Розрахункову ширину пластинчастої зони хвилі компенсатора визначаємо за формулою:

$$b_n = 0,5(d_2 - d_1 + \rho_n \cdot r_s) = 0,5 \cdot (854 - 604 + 0,35 \cdot 24) = 129,2 \text{ мм.} \quad (5.6.11.5)$$

Радіус закруглення пластинчастої зони хвилі компенсатора розраховуємо за формулою:

$$R_o = 0,25(d_2 + d_1 - 2b_n) = 0,25 \cdot (854 + 604 - 2 \cdot 129,2) = 300 \text{ мм.} \quad (5.6.11.6)$$

Середній діаметр хвилі компенсатора визначаємо за формулою :

$$d_{cp} = 0,5(d_2 + d_1) = 0,5 \cdot (854 + 604) = 729 \text{ мм.} \quad (5.6.11.7)$$

Характеристики хвилі обчислюємо за формулами:

$$\xi = \frac{d_2}{d_1} - 1 = \frac{854}{604} - 1 = 0,414; \quad (5.6.11.8)$$

$$\eta = \frac{d_2}{2} \cdot \frac{d_1}{r_s} - 2 = \frac{854 - 604}{2 \cdot 22} - 2 = 3,68; \quad (5.6.11.9)$$

$$\alpha = S_n / d_1 = 4 / 604 = 0,0066; \quad (5.6.11.10)$$

$$\lambda = b_n / R_o = 129,2 / 300 = 0,43; \quad (5.6.11.11)$$

$$\gamma = 1 + 1,25 \cdot \frac{d_2}{d_1} - \frac{3,2 \cdot r_s}{d_2 - d_1} = 1 + 1,25 \cdot \frac{854}{604} - \frac{3,2 \cdot 22}{854 - 604} = 2,24. \quad (5.6.11.12)$$

5.6.12 Розрахунок компенсатора на міцність

Розрахункову товщину s_3 , мм, розраховуємо за формулою:

$$\begin{aligned} s_3 &= 0,25(d_2 - d_1 - \gamma \cdot r_s) \cdot \sqrt{P / [\sigma_n]} = \\ &= 0,25 \cdot (854 - 604 - 2,24 \cdot 22) \cdot \sqrt{0,6 / 179,5} = 3 \text{ мм.} \end{aligned} \quad (5.6.12.1)$$

Розрахункову товщину стінки компенсатора s_4 , мм, визначаємо за формулою:

$$s_4 = \frac{P \cdot d_{cp}}{2[\sigma]_n \cdot \varphi} \cdot \frac{L}{d_2 - d_1 + 2l_k + 2,3r_s} = \frac{0,6 \cdot 729}{2 \cdot 179,5 \cdot 1,0} \cdot \frac{106}{854 - 604 + 2 \cdot 5 + 2,3 \cdot 22} = 0,42 \text{ мм.} \quad (5.6.12.2)$$

Розрахункову товщину стінки компенсатора s_{np} , мм, визначаємо за формулою:

$$s_{np} = s_4 \cdot \sqrt{0,5 + \sqrt{0,25 + (s_3 / s_4)^4}} = 0,42 \cdot \sqrt{0,5 + \sqrt{0,25 + (3 / 0,42)^4}} = 3,01 \text{ мм.} \quad (5.6.12.3)$$

Суму добавок до розрахункової товщини стінки лінзового компенсатора при її товщині $s_n = 4,0$ мм приймаємо рівною 0,6 мм.

Виконавчу товщину стінки лінзового компенсатора розраховуємо за формулою:

$$S_{\text{л}} \geq S_{\text{лр}} + C_{\text{л}} = 3,01 + 0,6 = 3,61 \text{ мм.} \quad (5.6.12.4)$$

Остаточно приймаємо виконавчу товщину стінки компенсатора рівною 4 мм.

Допустимий тиск $[P]_I$ визначаємо за формулою:

$$\begin{aligned} [P]_I &= 16 \left(\frac{S_{\text{л}} - C_{\text{л}}}{d_2 - d_I - \gamma \cdot r_s} \right)^2 \cdot [\sigma]_{\text{л}} = \\ &= 16 \cdot \left(\frac{4 - 0,6}{854 - 604 - 2,24 \cdot 22} \right)^2 \cdot 179,5 = 0,82 \text{ МПа.} \end{aligned} \quad (5.6.12.5)$$

Допустимий тиск $[P]_2$ визначаємо за формулою:

$$\begin{aligned} [P]_2 &= \frac{2[\sigma]_{\text{л}} \cdot \varphi \cdot (S_{\text{л}} - C_{\text{л}})}{d_{\text{ср}}} \cdot \frac{d_2 - d_1 + 2l_{\kappa} + 2,3 \cdot r_s}{L} = \\ &= \frac{2 \cdot 179,5 \cdot 1,0 \cdot (4 - 0,6)}{729} \cdot \frac{854 - 604 + 2 \cdot 5 + 2,3 \cdot 22}{106} = 4,9 \text{ МПа.} \end{aligned} \quad (5.6.12.6)$$

Допустимий тиск визначаємо за формулою:

$$[P]_{\text{л}} = \frac{[P]_I}{\sqrt{1 + \left(\frac{[P]_I}{[P]_2} \right)^2}} = \frac{0,82}{\sqrt{1 + \left(\frac{0,82}{4,9} \right)^2}} = 0,8 \text{ МПа.} \quad (5.6.12.7)$$

5.6.13 Розрахунок компенсатора на малоциклову втомленість

Допустимі величини амплітуди інтенсивності напружень від переміщення при числі циклів деформації N_{ϖ} і амплітуди інтенсивності напружень від тиску при числі циклів N_p визначаємо за формулою.

Так як точні дані про числа циклів N_{ϖ} і N_p відсутні, приймаємо

$$N_{\varpi} = N_p = 0,5 N = 500.$$

Допустиму амплітуду інтенсивності напружин від розмаху тисків розраховуємо за формулою:

$$\begin{aligned}
[\sigma]_{a\varpi} &= [\sigma]_{ap} = \frac{2300-t}{2300} \cdot \frac{A}{\sqrt{n_N \cdot N}} + \frac{B}{n_\sigma} = \\
&= \frac{2300-56}{2300} \cdot \frac{0,6 \cdot 10^5}{\sqrt{10 \cdot 500}} + \frac{270}{2} = 828,14 \text{ МПа}.
\end{aligned}
\tag{5.6.13.1}$$

Напружини від деформації розраховуємо за формулою:

$$\sigma_\omega = \frac{E_\lambda \cdot S_\lambda}{n_\lambda \cdot b_\lambda^2} \cdot (2 + \lambda) \cdot \Delta\varpi = \frac{201,76 \cdot 10^3 \cdot 4}{1 \cdot 132,14^2} \cdot (2 + 0,43) \cdot 10,28 = 1154,59 \text{ МПа}.
\tag{5.6.13.2}$$

Із деяким збільшенням у бік запасу міцності приймаємо $\Delta P = P$.

Напружину від тиску визначаємо за формулою:

$$\sigma_p = 3[\sigma]_\lambda \cdot \frac{\Delta P}{[\Delta P]} = 3 \cdot 179,5 \cdot \frac{0,6}{0,77} = 419,49 \text{ МПа}.
\tag{5.6.13.3}$$

Умова міцності:

$$\frac{\sigma_\omega}{2[\sigma]_{a\varpi}} + \frac{\sigma_p}{2[\sigma]_{ap}} = \frac{1154,59}{2 \cdot 828,14} + \frac{419,49}{2 \cdot 828,14} = 0,95 < 1,0.
\tag{5.6.13.4}$$

виконується.

6. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ

Технологія виготовлення теплообмінного апарату загалом складається з отримання заготовок з наступною механічною обробкою заготовок до розмірів готових деталей, складання деталей вузлів (складальних одиниць) і всього апарату в цілому.

Корпуси багатьох теплообмінних апаратів мають циліндричну форму. Корпус можуть бути виготовлені різними способами. Вибір способу виготовлення обичайки залежить від товщини металу і вимог до міцності готової деталі. Найбільш економічний спосіб виготовлення обичайок - вальцювання, тобто деформація листового матеріалу (рис 6.1) уздовж певного напрямку. Вальцювання може бути холодним або гарячим, залежно від товщини матеріалу. Як правило, тонкостінні обичайки виготовляються методом холодного вальцювання, а товстостінні – гарячим.

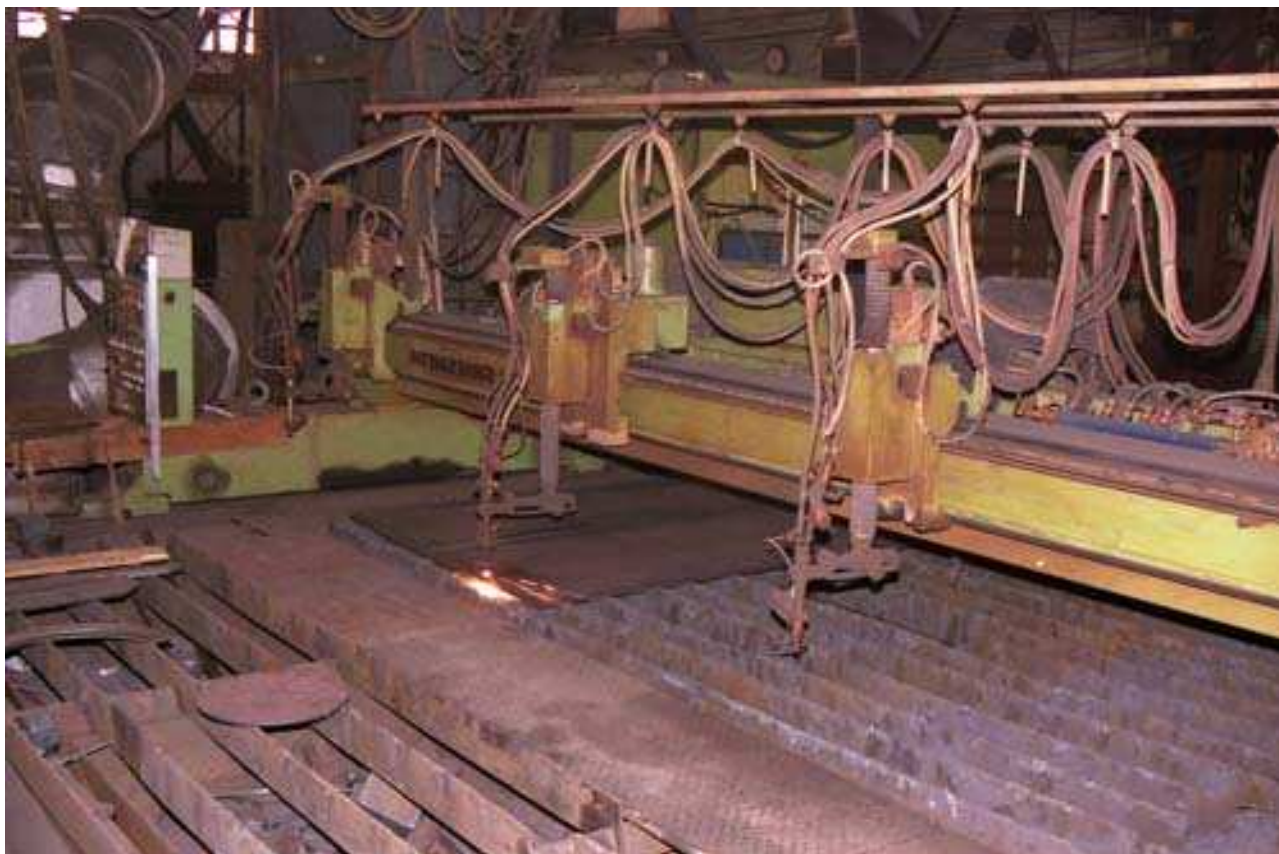


Рисунок 6.1 - Газове різання листової заготівлі

Листи, призначені для вальцювання, не повинні мати розшарувань, тріщин і неметалевих включень. Листи невеликої товщини згинають в холодному стані. Листи товщиною більше $1/40$ внутрішнього діаметра обичайки згинають на вальцях в гарячому стані, а після холодного згинання піддають відпалу для зняття залишкових напруг.

Перед вальцюванням листів в циліндр, корито або конус необхідно провести спеціальну операцію-підводку кромek, так як при вальцюванні листів в циліндр або конус краю їх на довжині 100-150 мм залишаються прямими, і при стикуванні таких кінців поверхня посудини отримує гострий злам на стику (рис 6.2). Залежно від товщини листа підводку кромek виконують на кромкозагинальних верстатах, на згинальних вальцях або вручну.

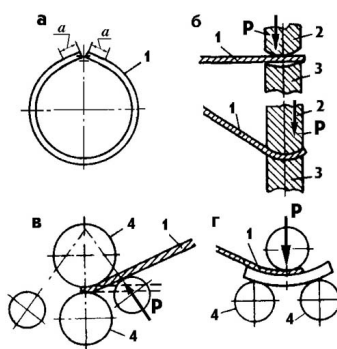


Рисунок 6.2 - Підводка кромки листа перед згинанням

Після підведення кромки листи поступають на вальцювання для надання їм необхідній конфігурації. Вальцювання робиться на трьох- або чотиривалкових горизонтальних вальцях (рис 6.3). Переміщення листу в тривалкових вальцях (рис 6.4) у напрямі обертання нижніх провідних валків відбувається в результаті тертя листу об нижній валок під дією верхнього нажимного валка і викликане пружністю листу. Верхній валок обертається під дією тангенціальної сили від листу. У чотиривалкових вальцях лист переміщується під дією обертання що стискають його великих валков - верхнього і нижнього. Згинається лист під дією малих бічних нажимних валків. Вальцювання обичайки здійснюється в декілька поворотних (вперед-назад) проходів листу у вальцях до зіткнення кромки.

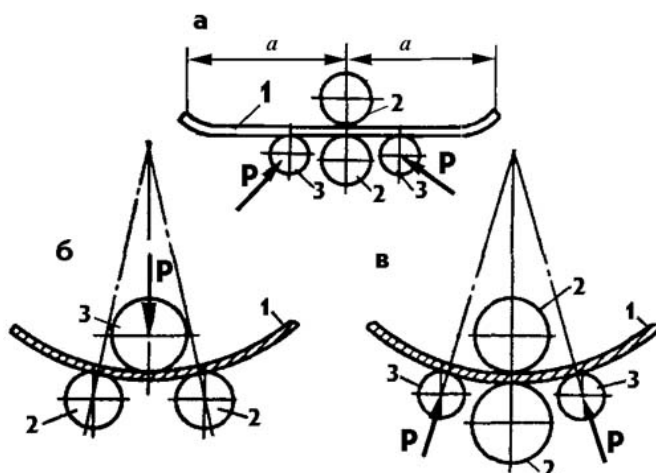


Рисунок 6.3 - Схема згину листів на листозгинальних вальцях



Рисунок 6.4 - Тривалкові вальці

Складання подовжніх стиків після вальцювання листів робиться на спеціальних складальних стендах. Складання циліндричної частини обичайки або корит полягає в поєднанні подовжніх кромek відповідно до технічних вимог до стиків під зварювання і в захваті цих кромek за допомогою зварювання електродуги в декількох місцях (з довжиною шва в 10—40 мм через кожні 200—400 мм). Зазвичай при складанні застосовують натяжні (рис. 6.5) і кантувальні пристосування (рис. 6.6). Зміщення подовжніх кромek листів однакової товщини не повинне перевищувати 10 % товщини стінки, але не більше 3 мм. Овальність підготовленої до зварювання обичайки у будь-якому поперечному перерізі не повинна перевищувати 1 % номінального діаметру.

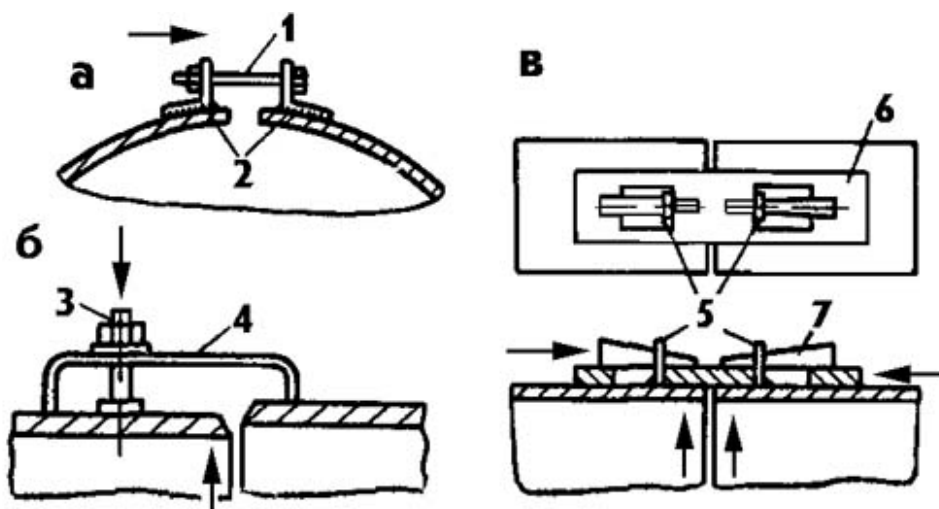


Рисунок 6.5 - Натяжні пристрої для підготовки обичайки під зварювання



Рисунок 6.6 - Роликові кантувальні пристрої для збирання та зварювання циліндричних обичайок

Корпуси багатокутної форми (наприклад, конденсаторів парових турбін) виготовляються зварюванням плоских сталевих листів на рамі з основних поздовжніх несучих балок двотаврового перетину і декількох поперечних балок. Одночасно з виготовленням корпусу в нього вварюють проміжні перегородки та основні трубні решітки. Для додання жорсткості і міцності корпус по зовнішній стороні може бути посилений приварними ребрами з листової або профільної сталі.

Сферичні і еліптичні днища виготовляють, по можливості, з одного листа. Сферичної або еліптичної форми надається, заготовленим для днищ листам, штампуванням в гарячому або в холодному стані (рис 6.7). Лист, приз-

начений для виготовлення днища, заздалегідь розмічають. Заготівля під днище є кругом.

Невеликі днища з листів завтовшки до 4 мм штампуються на пресах в холодному стані. Великі днища з листів завтовшки більше 4 мм штампуються в гарячому стані на гідравлічних пресах потужністю 750—1 000 тонни і більше. Заготівлю нагрівають заздалегідь до 1 050—1 100 °С з таким розрахунком, щоб штампування закінчувалося при 880—900 °С (температура нормалізації) за один подвійний хід пресу. Нагріту заготівлю укладають на протяжне кільце штамп. Пуансон штамп, що має форму днища і укріплений на рухливій траверсі пресу, повільно опускаючись, поступово простягає заготівлю через протяжне кільце, формуючи днище. Після досягнення пуансоном крайнього нижнього положення зкидач знімає з нього готове днище, а звільнений пуансон переміщається в крайнє верхнє положення. Готове днище витягають з-під пресу краном або лебідкою.

Найбільш досконалий спосіб виготовлення опуклих днищ це - обкатка заготівель до необхідної міри кривизни на ротаційних пресах за допомогою обтискових роликів. Нагріта заготівля обертається на вертикальному утримувачі, обтискається верхнім похилим роликком і поступово набуває заданої

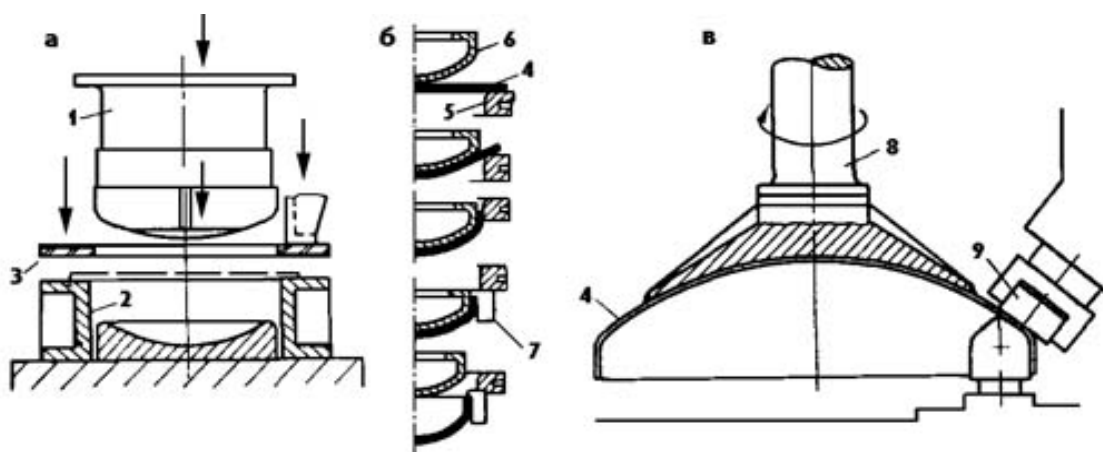


Рисунок 6.7 - Способи виготовлення днищ

форми з плавним переходом від сфери до циліндричної частини. Цим способом можна виготовляти днища діаметром до 5500 мм при товщині листа до

140 мм. Після обміру і технічного приймання виготовлених днищ з них видаляють зайвий припуск по борту і потім піддають механічній обробці. Механічна обробка полягає в проточуванні торцевої циліндричної частини днища і висвердлюванні необхідних отворів (рис. 6.8).



Рисунок 6.8 - Механічна обробка випуклого днища

У теплообмінних апаратах жорсткої конструкції з привареними до корпусу трубними решітками, часто застосовують лінзові компенсатори, що уварюються між трубою решіткою і корпусом або між обичайками, що становлять корпус, для компенсації температурних розширень. Компенсатори можуть бути тарілчастої, тороїдальної або трапецеїдальної форми. Лінза компенсатора виготовляється з двох половин, що сполучаються електрозварюванням. Кільцеподібні заготовки, призначені для виготовлення напівлінз, вирізують із сталевих листів. За наявності пресу достатньої потужності половинки лінз можуть бути виконані із заготівель шляхом холодного штампування. За відсутності пресу штампування може бути замінене відбортовкою (обкаткою) кромки на карусельному верстаті. На рисунку 6.9 показана обробка зварних швів лінзового компенсатора.

У більшості випадків, заготівлі під майбутні фланці отримують методом лиття або штампування. Іноді для цих цілей застосовують звичайний листовий прокат (пруток, лист). Заготівлю вирізують газовим пальником або



Рисунок 6.9 - Обробка зварних швів лінзового компенсатора плазовим різаком, а остаточна обробка здійснюється на металорізальному верстаті. В окремих випадках (украї рідко) заготівлі виконуються методом кування. Сучасною промисловістю найширше застосовуються методи виготовлення фланців (рис 6.10) шляхом :

- гарячого штампування;
- газового різання;
- відцентрового електрошлакового лиття.

Гаряче штампування: сталь (заздалегідь вибраної марки) розігрівають, потім потужний прес, здатний видавати зусилля до 4500 кН, видавлює заготівлю заданого розміру. За допомогою металорізального верстата здійснюється чистова обробка(доведення). Останній етап - висвердлювання отворів під кріпильні шпильки/болти.

Газова вирізка відбувається за допомогою устаткування електрозварю-

вання. Заготівлі ріжуться з листової сталі потрібної товщини. Подальша обробка(надання потрібних розмірів і форм) виконується на металорізальних верстатах.

Відцентрове електрошлакове лиття складається з наступних етапів. Сировину (сталь) розігрівають до потрібної температури і зливають в спеціальні відцентрові машини. Відцентрові сили, впливаючи на метал, ущільнюють його за усім обсягом форми (витісняючи повітря і сприяючи кращій однорідності) яка заздалегідь обробляється флюсом (спеціальним складом). Флюс виконує роль мастила, захисту від проникнення в метал повітря і перешкоджає прилипанню майбутньої заготівлі до стінок форми. Після цього виконується додаткова термічна обробка. Відцентрове литво дає можливість виготовити заготівлю, що має мінімальний припуск, а значить знижує витрати на остаточне доведення механічним способом.



Рисунок 6.10 – Плоскі приварні фланці

Патрубки виготовляють з труб або вальцюють з листа (як обичайки). Патрубки складної форми (зігнуті) отримують литтям, гнучкою з труб або зварюють з частин. В деяких випадках патрубки виконують разом з корпусом -литими. При необхідності на патрубках виконують отвори і приварюють бобишки з різьбленням для приєднання контрольно-вимірювальних приладів. Поверхню патрубка, що примикає до корпусу, ретельно приганяють до корпусу апарату і виконують оброблення кромки під зварний шов. Місця розташування зварних швів зачищають. Фланці до штуцерів приєднуються зварюванням або на різьбленні, виконаному на поверхнях, що сполучаються, залежно від типу апарату і параметрів теплоносіїв. Патрубки діаметром більше

200 мм приварюють до корпусу апарату за допомогою зміцнюючих кілець, а при діаметрі до 200 мм - без них. Товщина кільця має бути не менше товщини обичайки.

Гільзи призначаються для установки в них термометрів або термопар. Їх виготовляють, як правило, з шматка труби із завареним наглухо кінцем і приєднують до корпусу апарату за допомогою фланців (рис 6.11) або приварюванням. Іноді застосовують латунні гільзи, що вкручуються в приварений патрубок. Довгі гільзи виконують з товстих труб, а тонкостінні посилюють ребрами жорсткості.

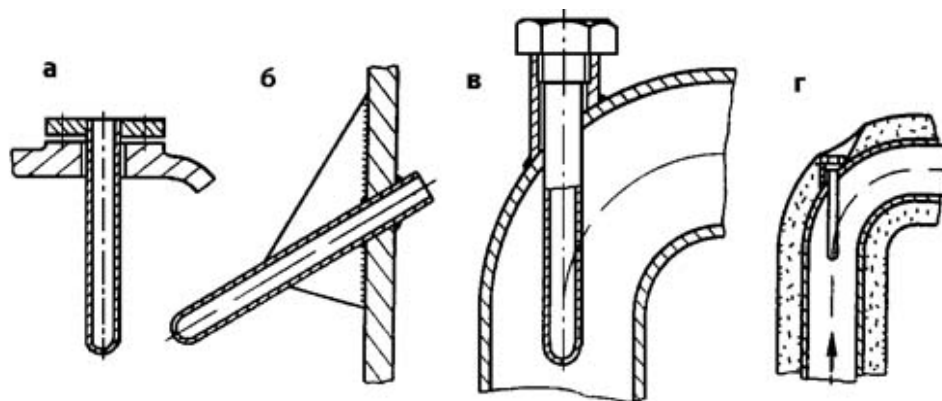


Рисунок 6.11 – Способи встановлення та конструкція гільз

Залежно від конструкції апарату опори або лапи (рис 6.12), можуть бути різних типів і розмірів, маси і габаритів апарату. Деталі опор виготовляють з фасонного прокату і сполучають між собою зварюванням або болтами. В деяких випадках опори виготовляють литими із сталі або чавуну. Підшви лап і опор обробляють для отримання поверхні необхідної площини і чистоти, потім в них виконують отвори під кріпильні болти. Опори або лапи кріпляться до апарату зварюванням або болтами, як правило, через підкладні листи, приварені до корпусу.



Рисунок 6.12 – Горизонтальний теплообмінник на сідлових опорах
Виготовлення трубних решіток (рис. 6.13) полягає в наступному:

1. Правка листової заготівлі.
2. Розмітка.
3. Різання(плазмова, гідроабразивна та ін.).
4. Обробка торців і по діаметру на карусельному верстаті.
5. Розмітка.
6. Свердління отворів на радіально-свердлувальному верстаті ЧПУ.
Для кращого збігу отворів в ґратах їх свердлять попарно в зібраному виді, в робочому стані при обов'язковому поєднанні центрових ліній. При свердлінні отворів торцеві поверхні ґрат мають бути перпендикулярні до осі шпинделя. Неперпендикулярність допускається не більше 0,3: 500 і перевіряється за свідченнями осьового переміщення шпинделя радіально-свердлувального верстата при торканнях торця шпинделя з поверхнею ґрат в чотирьох точках по осях.
7. Зенкерування отворів. Робиться за потребою.

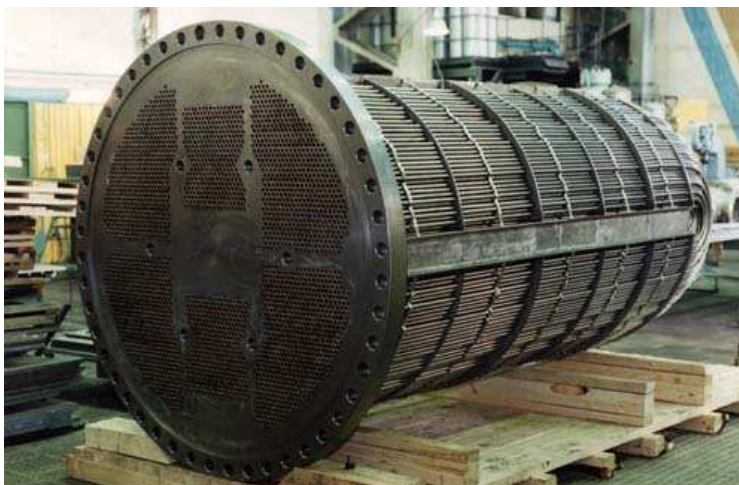


Рисунок 6.13 – Трубна решітка теплообмінного апарату

Закріплення трубок в трубних решітках теплообмінних апаратів найчастіше реалізується за рахунок розвальцьовування їх кінців, оскільки при цьому способі закріплення можна замінювати трубки у разі появи в них дефектів. Приварювання трубок застосовується в тих випадках, коли в теплообмінному апараті встановлюють сталеві трубки і необхідна підвищена герметичність (рис 6.14).

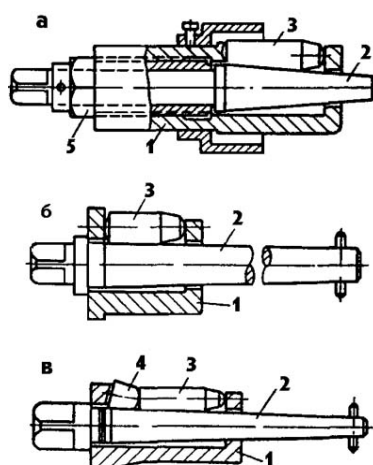


Рисунок 6.14 – Конструктивні схеми вальцьовок

Ефективнішим, ніж звичайне вальцювання, являється спосіб, заснований на застосуванні кільцевих рельєфів в отворах трубної решітки (рис 6.15). Для формування мікрорельєфів методом ротаційного викочування застосовують спеціальний інструмент, основними конструктивними елементами якого є конічне веретено, сепаратор, напологлива муфта і кульки. Інструмент встановлюється у свердлувальний верстат або в ручну машину з пнев-

мо- або електроприводом. Момент завершення процесу формоутворення контролюється по осьовому переміщенню конічного веретена.

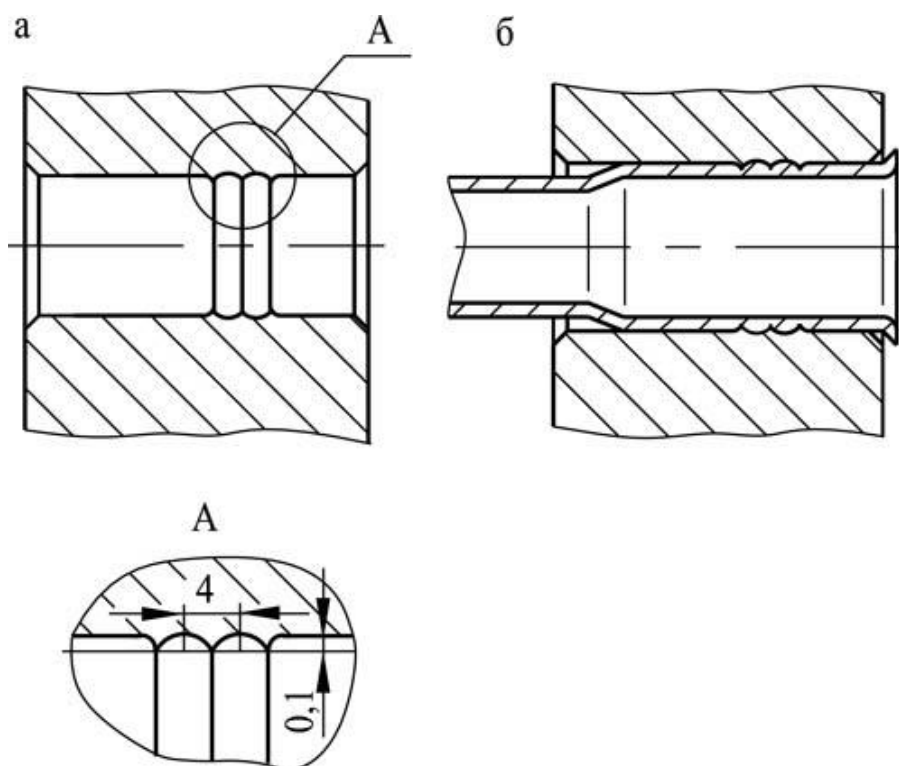


Рисунок 6.16 – Застосування кільцевих рельєфів у трубних решітках

Збирання апарата полягає в наступному: після зачистки кромки обичайки (корпуса) до металевого блиску робиться складання її з трубними решітками, які прихоплюються до корпусу в декількох точках електрозварювання. Збираються перегородки зі штирями під зварювання по розмітці і з 5-6 контрольними трубами із зачисткою місць під зварювання. Прихоплюються і приварюються перегородки до штирів. У корпусі встановлюється комплект перегородок з контрольними трубами, кінці яких заводяться в отвори решіток. Через перегородки і решітки вставляються труби. Збирається з корпусом і прихоплюється друга решітка; кінці труб вставляються в другу решітку, вирівнюються з одного боку і розвальцьовують з двох сторін, після чого робиться торцювання труб з іншого боку. Решітки приварюються до корпусу з двох сторін. Після цього заглушаються штуцери і здійснюється гідралічне випробування міжтрубного простору. На апарат встановлюються дві

кришки і здійснюється випробування трубного простору. Після проведення випробування апарат просушується стислим повітрям і піддається консервації і упаковці.

Випробування для перевірки на міцність і герметичність апаратів, працюючих під тиском понад 0,07 МПа або під вакуумом, роблять одним з наступних способів : гідравлічне випробування; пневматичне випробування; випробування гасом; випробування на герметичність течешукачем; випробування флуоресцеїном.

Гідравлічне випробування. В процесі складання апарату або усієї установки здійснюють окремо гідравлічне випробування корпусів, трубної системи(якщо вона витягається з апарату) і зібраного апарату, а також апарату з допоміжним устаткуванням на місці експлуатації. У усіх випадках проведення гідравлічних випробувань посудини або апарату разом з ними випробовуються ті, що відносяться до них арматура, трубопроводи і допоміжне устаткування. Кожному теплообмінному апарату має бути присвоєний порядковий номер, який має бути чітко позначений на видному місці корпусу.

У апараті створюють випробувальний тиск, підтримуваний впродовж 5 хв; за цей час свідчення манометра не повинне помітно змінитися. Через 5 хв тиск в апараті знижують за допомогою триходового крану до робочого тиску, який підтримують впродовж усього періоду технічного приймання апарату, але не менше 2 год. При цьому роблять зовнішній огляд апарату з метою виявлення порушень міцності або герметичності : спучень в корпусі, розривів, тріщин в швах або біля отворів, течі і запотівань в зварних швах і в різьбових з'єднаннях. Область шва обстукують молотком. При випробуваннях корпусу зі вставленою трубною системою або з жорстко закріпленими трубками перевіряють герметичність з'єднань трубок і трубних решіток. Місця з недостатньою герметичністю або міцністю відмічають крейдою.

Для зручності виявлення місць протікань в зварних з'єднаннях зварні

шви перед випробуваннями забарвлюють крейдою, розлученою на воді, а потім просушують. У разі дефекту в місцях пропусків води при гідравлічному випробуванні утворюються вологі плями, добре видимі на крейдяному покритті. Дефектні місця в зварних швах вирубують на усю глибину і знову заварюють ручним дуговим зварюванням. Трубки з ознаками протікань в місці закріплення (теча, сльозинки, запотівання) підвальцьовують, підварюють, заглушають або замінюють новими. Підвальцьовування дає позитивний результат тільки у тому випадку, коли деформація трубок і трубної решітки відбувається в межах пружної області. Після усунення виявлених дефектів обов'язково проводять повторне гідравлічне випробування в колишньому порядку. Результати гідравлічного випробування визнають задовільними, якщо впродовж 2 годин зниження тиску по манометру не перевищує 5% випробувального тиску. Результати гідравлічного випробування заносять в паспорт апарату

Пневматичне випробування. Якщо гідравлічне випробування неможливо здійснити, наприклад, із-за великої ваги води або важкості видалення води, то дозволяється замінювати його пневматичним випробуванням за допомогою повітря або інертного газу на такий же випробувальний тиск, як при гідравлічному способі. Пневматичні випробування роблять з особливими запобіжними заходами у присутності осіб, відповідальних за їх проведення і за техніку безпеки.

Випробування гасом. Виявлення течії в апаратах з трубками, привареними до трубних решіток, представляє великі труднощі. Гідравлічне випробування водою не дає, як правило, добрих результатів, оскільки мікроскопічні тріщини в зварних швах виявляються тільки при випробувальному тиску і при робочій температурі. Створення робочих умов під час випробувань не завжди може бути здійснено. У таких випадках добрі результати дає гідравлічне випробування трубної системи або усього апарату гасом. Для виявлення протікання гасу поверхні трубних решіток і зварних швів із зовнішнього

боку забарвлюють крейдяним розчином і просушують. Наповнений гасом апарат витримують впродовж 30—50 хв. Якщо після закінчення цього часу на забарвлених місцях не з'являться жовті плями, герметичність швів визнається задовільною.

Випробування течешукачем. Установки і апарати, працюючі під розрідженням, повинні задовольняти вимогам високої герметичності. Вакуумні випробування апаратів і установок здійснюють за допомогою течешукачів. Перед випробуванням отвору змонтованого апарату або установки герметично закривають пробками або заглушками. Після цього здійснюють попереднє випробування на герметичність повітрям або інертним газом під тиском. Потім усувають дефекти в швах і в роз'ємних з'єднаннях, виявлені обмилюванням. Переконавшись у відсутності видимих витоків, приступають до відкачування з апарату або установки повітря вакуум-насосом. Після досягнення постійного робочого вакууму подальше визначення місць проникнення повітря роблять течешукачем.

Випробування флуоресцеїном. Одним з найнадійніших і швидших методів виявлення порушення герметичності в апаратах, призначених для роботи під вакуумом, являється люмінесцентний метод з використанням флуоресцеїну (диоксифлуорана) $C_{20}H_{12}O_{15}$ - органічного з'єднання у вигляді червоного кристалічного порошку, слабо розчинного у воді. Флуоресцеїн легко змивається водою, нетоксичний, корозійний не активний, в лужних розчинах сильно флуоресціює. Паровий простір конденсатора заповнюють конденсатом. Через люк або штуцер в конденсатор заливають розчин флуоресцеїну. Найбільш сприятлива концентрація флуоресцеїну у воді - 7—10 мг/л. Після заповнення парового простору конденсатора розчином флуоресцеїну трубні дошки і інші місця можливих протікань опромінюють переносною ультрафіолетовою лампою. Вода, що містить флуоресцеїн, світиться під дією ультрафіолетового опромінення яскравим жовто-зеленим світлом, виразно виявля-

ючи щонайменші протікання на обстежуваній поверхні. Під час опромінення поверхні ультрафіолетовими променями зблизька не повинно бути білого світла, оскільки при цьому ефект світіння флуоресцеїну різко знижується. Якість контролю підвищується при збільшенні тиску води в апараті до 0,1—0,2 МПа.

7. РЕМОНТ ДЕФЛЕГМАТОРА

Системою ППР називається комплекс організаційних і технічних заходів по "обслуговуванню і ремонту обладнання", що проводяться профілактично по заздалегідь складеному плану для забезпечення безвідмовної роботи устаткування. Цілі технічного обслуговування і ремонту :

- 1) запобігання аварій устаткування;
- 2) можливість виконання ремонтних робіт за планом. погодженому з планом виробництва;
- 3) своєчасна підготовка запчастин, матеріалів і робочої сили і мінімальний простій устаткування в ремонті. В цілому система ППР служить для підтримки устаткування у справному стані, тобто шляхом планових ремонтів вона повинна забезпечити працездатність устаткування при збереженні його високої продуктивності. Планове проведення ремонтів дозволяє також створити рівномірне завантаження ремонтних бригад, підвищити якість ремонтів і понизити витрати на ремонт.

Планово-запобіжні ремонти проводиться по методу планово-періодичних примусових ремонтів для основного устаткування і по методу післяоглядових ремонтів для допоміжного устаткування. Наприклад, метод післяоглядових ремонтів застосовується при ремонті трубопроводів і арматури. Підприємствам, що досягли високого рівні організації і якості ремонту, вищестояща організація може дозволити застосування методу післяоглядових ремонтів і для конкретних видів основного устаткування, поширюючи його переважно на капітальні ремонти.

Метод післяоглядових ремонтів припускає виконання ремонту по терміну і об'єму тільки після передування йому періодичного огляду. Періодичність оглядів встановлюється по орієнтовних термінах служби деталей машин. Метод післяоглядових ремонтів дозволяє збільшити міжремонтний пробіг допоміжного устаткування і понизити вартість ремонту устаткування. Віднесення устаткування до основного або допоміжного залежить від міри впливу відмови цього устаткування на роботу технологічної лінії. Якщо відмова устаткування веде до зупинки технологічної лінії(установки). те воно відноситься до основного і його ремонт проводиться в примусовому порядку по методу планово-періодичних ремонтів.

Планово-запобіжний ремонт здійснюється періодично в плановому по-

рядку через певну кількість годин безперервної роботи. Зміст і об'єм кожного ремонту встановлюються остаточно в процесі його виконання з урахуванням виявленого стану агрегатів. При складанні плану ремонту враховується міжремонтний цикл для цього виду устаткування.

При підготовці теплообмінника до ремонтних робіт слід: надлишковий тиск знизити до атмосферного, видалити з апарату продукт та встановити заглушки на всіх комунікаціях. Продути апарат азотом або водяною парою з подальшою промивкою водою та продувкою повітрям до отримання задовільних аналізів на вміст отруйних і вибухонебезпечних речовин.

Основні дефекти які виникають в теплообмінних апаратах наступні:

- зменшення товщини стінки корпусу, днища, трубних решіток;
- випучини та вм'ятини на корпусі та днищах;
- свищі, тріщини, прогари на корпусі, трубках та фланцях;
- збільшення діаметру отворів для труб в трубній решітці;
- прогин трубних решіток і деформація трубок;
- заклинювання плаваючих головок та пошкодження їх струбцин;
- пошкодження лінзових компенсаторів;
- пошкодження сальникових пристроїв, каткових та пружинних опор;
- порушення гідро- і термоізоляції.

Очищення трубок від відкладень вбирає в себе обробку як внутрішніх поверхонь, так и зовнішніх. Використовуються наступні методи очищення: хімічний, абразивний та спеціальний.

Хімічне очищення проводиться без розтину та розбірки теплообмінника. Для очищення від накипу використовують 5-15% розчин соляної кислоти з додаванням інгібіторів. Для очищення від органічних відкладень використовують вуглеводні розчинники. Очищення від твердих відкладень є ефективним при заповненні теплообмінника на добу 5% розчином соляної кислоти з

добавкою рідкого скла. Твердий осад розпушується в цьому розчині і потім легко змивається водою.

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

Механічне очищення проводиться за допомогою шомполів, свердел, щіток, шарошек, різців, бурів з поданням води або повітря для видалення продуктів очищення. Простим пристосуванням є сталевий пруток з йоржем із сталевого дроту, привареним до прутку.

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

Правка вм'ятин в трубах здійснюється за допомогою штанги, яка протягується через трубу до упору оправляння у вм'ятину. Після цього на штангу надіваються шайба і гайка. При загвинчуванні гайки оправляння випрямляє вм'ятину ділянку.

Завальцьовані трубки, що не виступають над ґратами, при заміні відрізають ножівкою або спеціальним пристосуванням за трубними ґратами. Трубки, що виступають над трубними ґратами, відрізують голівкою з різцем. Кінці трубок, що залишилися в ґніздах ґрат, сплющують і вибивають.

Видалення дефектних приварених труб здійснюється вирубуванням зварного кільцевого шва вручну або зрізуванням торця труби і шва валика спеціальною фрезою з приводом від гнучкого валу або переносного дреля.

Нові трубки, що вставляються, відрізують по довжині трубного пучка з надбавкою 8-10 мм довжини. Кінці трубок зачищають до металевого блиску на довжину, рівну товщині решіток з надбавкою 10 мм на сторону. У трубних

решітках усі отвори зачищають від задирок, іржі і бруду. Наявність подовжніх рисок в отворах трубних решіток не допускається. Перед установкою трубок отвору в решітках продувають повітрям і досуха протирають. Проміжок між зовнішнім діаметром трубки і отвором в решітках не повинен перевищувати 1,5% діаметру трубки.

У трубних решітках кінці трубок кріпляться розвальцьовуванням. При цьому отвори під розвальцьовування обробляються не нижче сьомого класу шорсткості. Кінці трубок повинні виступати на 3-5 мм у зовнішнього торця кожних решіток і бути відбортованими. З огляду на те, що трубки при розвальцьовуванні подовжуються, спочатку розвальцьовують усі кінці трубок в одній решітці, а потім в іншій. При цьому вальцюють чотири трубки хрест-навхрест, потім усі трубки по периметру і далі інші.

Корпус апарату, що має різні випучини і вм'ятини, виправляється ударами кувалди по мідній підкладці. Усунення невеликих вм'ятин при товщині стінки корпусу або кришці, виконаних з вуглецевої сталі, не більше 3-4 мм здійснюється нагрівом. Якщо неможливо усунути вказані вище дефекти ударами і нагрівом, то пошкоджені частини або видаляються, або на них ставляться накладки. Дефектні штуцера і трубні решітки які досягли максимальних величин зносу і прогину замінюються. Свищі і тріщини усуваються шляхом заварки або постановкою накладок з попереднім видаленням дефектної ділянки.

За допомогою кольорової дефектоскопії визначають протяжність і положення кінців тріщин, виявлених в корпусі. Ці кінці до заварки засвердлюють свердлами діаметром 3-4 мм. Ненаскрізні тріщини глибиною не більше 0,4 товщини стінки обробляються під заварку одностороннім вирубуванням на максимальну глибину тріщини зі зняттям кромки під кутом 50-60°. При тріщині більше 100 мм зварювання проводять зворотньоуступчастим методом. Наскрізні і ненаскрізні тріщини глибиною більше 0,4 товщини стінки обробляють на усю товщину вирубуванням зубилом чи газорізкою.

При появі гніздоподібних тріщин пошкоджені місця вирізуються і закриваються латками без гострих кутів. Латки уварюються урівень з основним металом. Площа латки не повинна перевищувати $1/3$ площі листа апарату.

ВИСНОВКИ

У даній дипломній роботі був проведений огляд технологічної схеми ректифікаційної установки, розрахований та спроектований дефлегматор для поділу бінарної суміші ацетон – бензол.

Також були розглянуті питання щодо виготовлення та ремонту елементів дефлегматора.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. РД 26-14-88. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Элементы теплообменных аппаратов.
2. РД 26-15-88. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность и

герметичность фланцевых соединений.

3. ГОСТ 14249-89. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность.

4. ГОСТ 28759.2-90. Фланцы сосудов и аппаратов стальные плоские приварные. Конструкция и размеры. М.: 26 с.

5. ГСТУ 3-17-191-2000. Посудини та апарати сталні зварні. Загальні технічні вимоги.

6. Кожухотрубчатые теплообменные аппараты общего и специального назначения.

Каталог. М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1991.— 106 с.

7. ГОСТ 25859-83. Сосуды и аппараты стальные. Нормы и методы расчета при малоцикловых нагрузках. М.: Изд-во стандартов, 1983. —30 с.

8. ГОСТ 28759.2-90. Фланцы сосудов и аппаратов стальные плоские приварные.

Конструкция и размеры. М.: Изд-во стандартов. 1990. 26 с.

9. ОСТ 26-02-1015-85. Крепление труб в трубных решетках

ДОДАТОК А

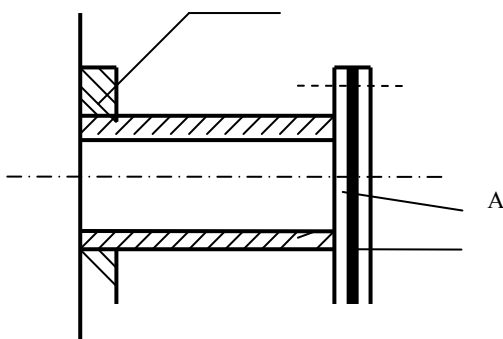
Таблиця 1 – Дефектна відомість на капітальний ремонт теплообмінника

Назва вузлів та деталей..	№ крес.	Кільк.	Характеристика дефекту	Засоби по усуненню.	Необхідні матеріали		Виконавці, розряд
					Назва.	Кіл.	
1.Корпус		1	Щілина в зварному шві	Заварити	Електрод ЦЛ11	2кг.	Зварювальник 5 розр.
		1	Гофри	Вставити заплату	Сталь 12Х18Н10Т Електрод ЦЛ11	80кг. 12 кг.	Зварювальник 5 розр.
2. Штуцер Ду150		2	Пропуск продукту	Замінити прокладку	Гофрована асбомідна прокладка	1кг.	Слюсар 3 розр.
3. Штуцер Ду150		1	Щілина в зварному шві	Заварити	Електрод АНО-4	2кг.	Зварювальник 5 розр.
4. Міжтрубна перегородка		3	Ерозія перегородки	Заміна	Сталь 12Х18Н10Т	130кг.	Слюсар 4 розр.
5 Перегородка розподільчої камери		2	Ерозія полотна	Заміна	Сталь 12Х18Н10Т	85кг.	Слюсар 4 розр.
6.Штуцер Ду150		4	Зриврізьби на кріпильних деталях	Заміна кріпильних деталей	Болт М16-6g 90.58	20 шт.	Слюсар 3 розр.
7. Штуцер Ду150		1	Щілина	Заміна штуцера	Штуцер Ду150	1шт.	Зварювальник 5 розр.
		4	Деформація прокладки	Заміна прокладки	Гофрована асбомідна прокладка	1 кг.	Слюсар 3 розр.
8. Днище		1	Щілина	Заварити	Електрод ЦЛ11	20 кг.	Зварювальник 5 розр

Продовження таблиці 1

9. Труби трубного пучка		30	Корозія	Заміна	Труба 20х2 08X18H10T	30 шт.	Слюсар 3 розр
10.Трубна решітка		1	Корозійний знос	Заміна	Сталь 12X18H10T	40кг.	Слюсар 3 розр
11. Опора рухома		1	Тріщина	Заварити	Електрод Е42	1 кг.	Зварювальник 5 розр.

ДОДАТОК Б



Таблиця 2 - Карта дефектації та відновлення

Картка №1

Найменування обладнання: Теплообмінник.

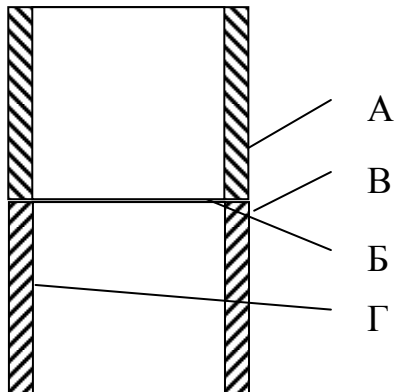
Найменування деталі: штуцер

Матеріал: - Сталь 20

Поз	Дефект	Спосіб визначення	Розміри			Спряжена деталь	Відновлення
			ном.	доп.	рем.		
А	Руйнування прокладки	Гідровипробування	-	-	-	фланець	Заміна
Б	Тріщина у зварному з'єднанні	Візуально, або при гідровипробуванні	-	-	-	стінка корпусу	Установка накладного кільця.

Картка № 1а

Поз	Дефект	Розміри			Відновлення	Коротка технологія	Інструмент
		ном.	доп.	рем.			
А	Руйнування прокладки	-	-	-	Заміна	Розбирання фланцевого з'єднання. Видалення залишків старої прокладки. Установка нової.	Клини, гвинтові пристосування, шабери, гайкові ключі.
Б	Тріщина у зварному з'єднанні	-	-	-	Установка накладного кільця	Вирізати штуцер, розсвердли отвір, вварити штуцер, установити накладне кільце.	Газове різання, дрель, свердли.



Карта № 2

Найменування обладнання: Теплообмінник Т-102

Матеріал: Сталь 12Х18Н10Т

Найменування деталі: Корпус

Поз	Дефект	Спосіб визначення	Розміри, мм			Спряжена деталь	Відновлення
			ном.	доп.	рем.		
А	Зменшення товщини стінки корпусу в наслідок корозійного зносу	Ультразвуковий товщиномір	-	-	-	-	Встановлення латки
Б	Щілини в зварних швах	Візуально, ультразвукова дефекація	-	-	-	-	Встановлення латки
В	Поява випучин на поверхні корпусу	Візуально	-	-	-	-	Встановлення латки
Г	Відкладення осаду на внутрішній поверхні корпусу	Візуально	-	-	-	-	Вилучають

Карта 2а

Поз	Дефект	Розміри, мм			Відновлення	Коротка технологія	Інструмент
		ном.	доп.	рем.			
А	Зменшення товщини стінки	-	-	-	Встановлення латки	Виготовляється відповідних розмірів латка яка вальцюється для прийняття необхідної форми і приварюються в стик.	Прес, електрозварювальний апарат ,електрод.
Б	Щілини в зварних швах	-	-	-	Встановлення латки	Дефектне місце вирізається. Вальцюється латка для прийняття необхідної форми і приварюється в стик.	Зварювальний апарат, електрод, гідропрес.
В	Поява випучин на поверхні корпусу	-	-	-	Встановлення латки	Дефектне місце вирізається. Вальцюється латка для прийняття необхідної форми і приварюється в стик.	Зварювальний апарат, електрод, гідропрес.
Г	Відкладення осаду на внутрішній поверхні корпусу	-	-	-	Вилучають	Після вилучення трубного пучку чистити корпус	Гаєчний ключ, дерев'яний скребок.