

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра «Хімічної інженерії»

**Кваліфікаційна робота бакалавра
зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»**

Тема роботи: **Ректифікаційна установка для розділення суміші етиловий спирт -вода. Розробити кожухотрубчастий теплообмінник для конденсації етанолу.**

Виконав:
студент групи ХМ-71-9

Звягін І.О
прізвище та ініціали

Залікова книжка
№ _____

Захищений з оцінкою:

Керівник

посада прізвище та ініціали

підпис

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ
ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Кафедра «Хімічної інженерії»

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»

Курс _____ Група _____ Семестр _____

ЗАВДАННЯ
До кваліфікаційної роботи бакалавра

Студенту Звягін. І.О

1. Тема роботи: Кожухотрубчастий теплообмінник для конденсації етанолу у складі ректифікаційної установки.

2. Вихідні дані:

Продуктивність по речовині, яка конденсується – 3000 кг/год

Початкова температура речовини, яка конденсується – 90 °С

Тиск у апараті по трубному простору – 1,2 ата

Холодний теплоносій – вода холодна технічна

Початкова температура холодної води – 15 °С

Кінцева температура нагрітої води – 70 °С

Конструктивне виконання теплообмінника – горизонтальний

3. Перелік обов'язкового графічного матеріалу (аркуші А1)

1. технологічна схема установки. 1 л. А1
2. складальне креслення апарата. 1 л. А1
3. складальне креслення трубчатки 1л. А1
4. складальне креслення розподільної камери 1. А2

4. Рекомендована література

Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию / Под ред. Ю.И. Дытнерского. — М.: Химия, 1983. — 272 с.,ил.

Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра / укладачі: Р. О. Острога, М. С. Скиданенко, Я. Е. Михайловський, А. В. Іванія. — Суми : Сумський державний університет, 2019. – 32 с

5 Етапи виконання кваліфікаційної роботи бакалавра:

Етапи і розділи курсового проектування	ТИЖНІ				
	1, 2	3, 4, 5, 6	7, 8, 9	10, 11, 12, 13	14
1 Вступ	X X				
2 Технологічна частина		X X X X			
3 Розрахункова частина			X X X		
4 Розробка креслень				X X X X	
5 Оформлення записки					X
6 Захист проекту					X

6 Дата видачі завдання _____ 2021 р.

Керівник _____

підпис

посада, прізвище

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 40с., 8 рис., 3табл., 25 джерел.

Графічні матеріали: технологічна схема установки, складальне креслення апарата, складальне креслення вузлів – всього 3,5 аркуша формату А1.

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра «Ректифікаційна установка для розділення суміші етиловий спирт -вода. Розробити кожухотрубчастий теплообмінник для конденсації етанолу».

Наведено теоретичні основи і особливості процесу теплообміну у виробництві конденсату етанолу у складі ректифікаційної установки, виконані розрахунки матеріального і теплового балансів процесу, виконані технологічні і конструктивні розрахунки апарата, визначені його розміри, гідравлічний опір , обґрунтований вибір матеріалу для виготовлення апарату. Також окремим розділом було розглянуто монтаж та ремонт апарата. У розділі охорона праці було розглянуто питання «Характеристика та дія на організм людини шкідливих речовин у повітрі робочої зони. Нормування вмісту шкідливих речовин у повітрі.»

Розрахунками на міцність і герметичність показана надійність роботи спроектованого апарата.

Ключові слова: АПАРАТ, УСТАНОВКА, ЕТАНОЛ, КОНДЕНСАТ ЕТАНОЛУ, КОЖОХОТРУБНИЙ ТЕПЛООБМІННИК, РОЗРАХУНОК, МОНТАЖ, ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ, КОНДЕНСАЦІЯ, РЕМОНТ.

Зміст

Вступ	2
1. Технологічна частина	4
1.1 Опис технологічної схеми виробництва (установки або агрегату)	4
1.2 Теоретичні основи процесу	5
1.3 Опис об'єкта розроблення та вибір основних конструкційних матеріалів	8
2. Технологічні розрахунки процесу і апарата.....	12
2.1 Матеріальний та тепловий баланси процесу, конструктивні та технологічні розрахунки	12
2.1.1 Розрахунок діаметра штуцерів.....	16
2.2 Гідравлічний опір апарату.....	17
2.3 Вибір допоміжного обладнання	19
3. Розрахунки апарата на міцність та герметичність	20
3.1 Визначення товщини стінки апарата, кришки	20
3.1.1 Розрахунок товщини стінки корпусу	20
3.1.2 Розрахунок товщини стінки днища	22
3.2 Розрахунок фланцевого з'єднання.....	23
3.3 Розрахунок опори апарату	31
4. Монтаж та ремонт апарата	32
4.1 Монтаж апарата	32
4.2 Ремонт апарата.....	34
5 Охорона праці	37
Література	39

Додаток А Специфікація до складального креслення теплообмінника

Додаток Б Специфікація до складального креслення трубчатки

Додаток В Специфікація до складального креслення розподільної камери

					ХІ.Т.00.00.00 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Звягін			<i>Кожухотрубчастий теплообмінник для конденсації етанолу</i>	Лит.	Лист	Листов
Провер.		Юхименко					1	40
Реценз.						Хм-71-9		
Н. Контр.		Юхименко						
Утверд.								

В даній роботі вирішується задача технологічного розрахунку і конструювання кожухотрубного теплообмінника, в якому відбувається конденсація етанолу водою.

Кваліфікаційну роботу бакалавра виконано у відповідності до методичних вказівок [2]. Зміст і порядок розділів у даній пояснювальній записці також формувався відповідно вимогам.

					ХІ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
						3
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Парова фаза підіймається по всій колоні знизу до верху, взаємодіє з флегмою в укріплюючій частині колони, насичується низькокиплячим компонентом і надходить до дефлегматора 3. Тут частина пари конденсується та, проходячи скрізь дільник 4, повертається до колони, в якій стікає у вигляді флегми зверху до низу. Друга частина пари надходить до холодильника – конденсатора 6, де відбувається її конденсація та охолодження отриманого дистилляту. Охолоджений дистиллят збирається в ємкості 9.

Ректифікаційна установка безперервної дії може працювати з повною або частковою конденсацією пари в дефлегматорі.

1.2 Теоретичні основи процесу

Теоретичні основи процесу були сформовані під час опрацювання джерел [3, 4, 5, 6]

У хімічній, харчовій, газонафтопереробній, гірничо-хімічній, енергетичній та багатьох інших галузях промисловості процеси передачі тепла від нагрітих теплоносіїв до холодних займають провідне місце. Теплові процеси використовуються в промисловості для охолодження нагрітих середовищ, для зрідження повітря та природних газів, для нагрівання холодних теплоносіїв, для проведення процесів випарювання, конденсації, плавлення, кристалізації та ін.

Теоретичною основою теплових процесів є розділ термодинаміки щодо законів перенесення енергії від одного теплоносія до іншого та про механізми такого перенесення.

Перенесення енергії від більш нагрітих середовищ до менш нагрітих відбувається під дією рушійної сили, за яку в теплових процесах використовується різниця температур між теплоносіями. Звичайно при досягненні однакових температур між теплоносіями встановлюється рівноважний стан, але такий стан у природі і в техніці є чисто теоретичним, тому що досягнути його можна лише за тривалий час.

Тіла (робочі середовища), що беруть участь у процесах теплообміну, називаються теплоносіями. Робоче середовище з більш високою початковою температурою називається гарячим теплоносієм, у процесі теплообміну гарячий теплоносій віддає теплову енергію, при цьому температура гарячого теплоносія знижується. Робоче середовище з меншою початковою температурою називається холодним теплоносієм, у процесі теплообміну тепла енергія передається від гарячого до холодного теплоносія і його температура підвищується.

Процеси, пов'язані з передачею тепла від гарячих теплоносіїв до холодних, називаються теплообмінними.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

Апарати та пристрої, в яких проходять процеси теплообміну, називають теплообмінними апаратами або теплообмінниками.

Використовувані в промисловості теплообмінні апарати працюють в умовах глибокого вакууму, під помірним або під високим тиском (до 100 МПа), у діапазоні температур від мінус 250°C до +1000°C. Дуже часто в теплообмінниках проходять корозійно активні середовища, що треба враховувати при вибиранні необхідних конструкційних матеріалів.

Вивчення фізико-хімічних основ процесів теплообміну та уміння використовувати отримані знання в розрахунках процесів і обладнання є головним показником кваліфікації інженерів-механіків хімічних і нафтопереробних виробництв.

Відповідно до законів термодинаміки перенесення тепла від нагрітих середовищ до холодних відбувається мимовільно доти, поки існує позитивна різниця температур між гарячим і холодним теплоносієм.

Локальною рушійною силою процесу теплообміну є різниця температур між нагрітим і холодним тілом або середовищем у даний момент часу (для періодичного процесу) або різниця температур між гарячим і холодним теплоносієм у локальному перетині апарата (для безперервних процесів). Середньою рушійною силою процесу є різниця температур між теплоносіями, що визначена за певний проміжок часу (для нестационарного процесу) або на вхідній та вихідній ділянках апарата (для стаціонарного процесу).

Кількість тепла, що передана (або прийнята) теплоносієм у процесі теплопередачі за одиницю часу, називається тепловим потоком (теповим навантаженням) та вимірюється в Дж/с = Вт.

Поверхнею теплопередачі називають площу контакту, через яку відбувається передача тепла від гарячого теплоносія до холодного. Окремий частковий процес перенесення тепла в межах однорідної фази з ядра потоку гарячого теплоносія до поверхні теплопередачі або від нагрітої поверхні у ядро потоку холодного теплоносія називається тепловіддачею. Процес перенесення тепла з ядра потоку гарячого теплоносія у ядро потоку холодного теплоносія через розділяючу теплоносії стінку (міжфазну границю) називається теплопередачею.

В основу процесів теплоперенесення покладений основний кінетичний закон, відповідно до якого швидкість теплопередачі прямо пропорційна рушійній силі та обернено пропорційна термічному опору

$$u_{\text{ж}} = \frac{Q_{\text{ж}}}{F\tau} = \frac{\Delta t_c}{R_{\text{ж}}} \quad (1.1)$$

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

- де Q_T - кількість переданого тепла, Дж;
- F - поверхня теплопередачі, m^2 ;
- τ - тривалість процесу, с;
- Δt_c - середня різниця температур між теплоносіями, К;
- R_T - термічний опір процесу теплопередачі.

Для сталого процесу на основі рівняння (1.1) кількість переданого тепла за одиницю часу знаходять за формулою

$$Q = k_m \cdot \Delta t_c \cdot F \quad (1.2)$$

- де Q - тепловий потік, Вт;
- k_T - середній для теплового процесу коефіцієнт теплопередачі, що характеризує швидкість процесу теплопередачі, $k_T=1/R_T$.

Залежність (1.2) називають основним кінетичним рівнянням процесу теплопередачі.

Величину теплового потоку, агрегатний (фазовий) стан, напрямок, режим і характер руху теплоносіїв уздовж поверхні теплопередачі, величину середньої рушійної сили процесу визначають як швидкість (інтенсивність) і ефективність теплообмінних процесів, так і тип використовуваного теплообмінного обладнання, його геометричні розміри, загальну поверхню теплопередачі та конструктивні особливості.

Отже, процес теплопередачі є складним і багатостадійним, що вміщує у себе як стадії перенесення тепла (тепловіддачу) у межах кожного з теплоносіїв, так і стадії перенесення тепла через границю розділення фаз - поверхню теплопередачі.

Найбільш поширені поверхневі теплообмінники, а їх конструкції дуже різноманітні. Конструкція апарата повинна задовольняти певним вимогам, які залежать від конкретних умов перебігу процесу.

Вибираючи апарат необхідно також брати до уваги простоту і компактність конструкції. Зазвичай конструкції не задовольняють повністю всім вимогам і тому знаходять певні компромісні варіанти.

Найпростішим являється одноходовий кожухотрубний теплообмінник, який складається з кожуха та приварених до нього трубних решіток. В трубних решітках закріплені пучок труб. Найбільш поширене розміщення труб в трубних решітках - по вершинам правильних шестикутників. Але використовуються і інші - по вершинам квадратів та по концентричним колам. До трубних решіток кріпляться кришки. Одне з середовищ рухається у трубному просторі, а інше - в міжтрубному просторі. Середовища зазвичай направляють

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
						7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Важливим фактором, що впливає на вибір типу теплообмінника, є вартість його виготовлення та експлуатації.

Теплообмінні апарати всіх типів повинні працювати при оптимальному тепловому режимі, який відповідає поєднанню заданих продуктивності та інших показників технологічних умов з мінімальними витратами теплоти.

Розрахунок кожухотрубного теплообмінника, як і любого іншого теплообмінного апарату, полягає у визначенні площі поверхні теплопередачі. Необхідну поверхню теплопередачі визначають за основним рівнянням теплопередачі:

$$F_p = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{cp}} \quad (1.3)$$

Де

F – поверхня теплопередачі, m^2 ;

Δt_{cp} – середня температура процесу, град.;

K – коефіцієнт теплопередачі,

Вт/($m^2 \cdot K$); Q – теплове навантаження, Вт.

Коефіцієнт теплопередачі для плоскої стінки або при великому радіусі її кривизни ($r > 0,5 \text{ В Н d}$) складе:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_r} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{1}{\alpha_b} + r} \quad (1.4)$$

Де δ_{cm} - товщина стінки теплообмінних труб, λ_{cm} - теплопровідність матеріалу теплообмінних труб

r - загрознєння стінок

Середня різниця температур теплоносіїв розраховується, як:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_m}{2,3 \lg \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}} \quad (1.5)$$

Де Δt_6 і Δt_m – більша і менша різниці температур теплоносіїв на кінцях теплообмінника

1.3 Опис об'єкта розроблення та вибір основних конструкційних матеріалів

Основними елементами кожухотрубних теплообмінників є труби, трубчатка, корпус, кришки, патрубки.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

Оброблюваність різанням - в нормалізованому, відпущеному стані при $\sigma_B = 520$ МПа $K_{V_{TB.CПЛ.}} = 1,6$; $K_{V_{6.CT.}} = 1,0$.

Найчастіше прокат з даної марки сталі використовується для різноманітних будівельних конструкцій завдяки високій механічній міцності, що дозволяє використовувати більш тонкі елементи ніж при використанні інших сталей. Стійкість властивостей в широкому температурному діапазоні дозволяє застосовувати деталі з цієї марки в діапазоні температур від -70 до +450 С. Також легка зварюваність дозволяє виготовляти з листового прокату цієї марки складні конструкції для хімічної, нафтової, будівельної, суднобудівної та інших галузей. Застосовуючи загартування і відпустку виготовляють якісну трубопровідну арматуру. Висока механічна стійкість до низьких температур також дозволяє з успіхом застосовувати труби з 09Г2С на півночі країни (не актуально для України).

Також марка широко використовується для зварних конструкцій. Зварювання може виконуватися як без підігріву, так і з попереднім підігрівом до 100-120 С. Так як вуглецю в сталі мало, то зварювання її досить просте, причому сталь не гартується і не перегрівається в процесі зварювання, завдяки чому не відбувається зниження пластичних властивостей або збільшення її зернистості. До плюсів застосування цієї сталі можна віднести також те що вона не схильна до відпускнуї крихкості і її в'язкість не знижується після відпуску. Вищенаведеними властивостями пояснюється зручність використання 09Г2С від інших сталей з великим вмістом вуглецю або присадок, які гірше варяться і змінюють властивості після термообробки. Для зварювання 09Г2С можна застосовувати будь-які електроди, призначені для низьколегованих і маловуглецевих сталей, наприклад Е42А і Е50А. Якщо зварюються листи товщиною до 40 мм, то зварювання проводиться без оброблення кромки. При використанні багат шарового зварювання застосовують каскадне зварювання з струмом силою 40-50 Ампер на 1 мм електрода, щоб запобігти перегріву місця зварювання. Після зварювання рекомендується прогріти виріб до 650 °С, далі протримати при цій же температурі 1 годину на кожні 25 мм товщини прокату, після чого виріб охолоджують на повітрі або в гарячій воді - завдяки цьому в звареному виробі підвищується твердість шва і усуваються зони напруженості.

А для решти металевих елементів використовуємо конструкційну вуглецеву сталь звичайної якості марки Ст3 ГОСТ 380-94.

Для виготовлення ущільнювальних прокладок фланцевих з'єднань використовуємо пароніт маслобензотривкий ПМБ ГОСТ 481-80.

Для виготовлення кріпильних елементів використовуємо конструкційну вуглецеву сталь підвищеної якості марки Сталь 35 ГОСТ 1050-88

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

Враховуючи втрати теплоти 3,5 % через зовнішню поверхню теплообмінника отримаємо:

$$Q = Q_{\text{конд}} = 1,035Q_c = 0,965 \cdot 7,98 \cdot 10^5 = 7,7 \cdot 10^5 \text{ Вт}$$

Витрати охолоджувальної води.

$$G_B = \frac{Q}{c(t_{\text{КХ}} - t_{\text{ПХ}})} \quad (2.3)$$

$$G_B = \frac{Q}{c(t_{\text{КХ}} - t_{\text{ПХ}})} = \frac{7,7 \cdot 10^5}{4178 \cdot (70 - 15)} = 3,35 \text{ Кг/с}$$

де $c = 4178 \frac{\text{Дж}}{\text{Кг} \cdot \text{К}}$ - питома теплоємність води при $t_{\text{ср. в}}$ [11].

Розрахункове число труб в одному ході знаходиться із рівняння об'ємної витрати потоку в трубному просторі

$$n' = \frac{V_B}{w_B \cdot 0,785 \cdot d_B^2} \quad (2.4)$$

$$n' = \frac{V_B}{w_B \cdot 0,785 \cdot d_B^2} = \frac{0,035}{1 \cdot 0,758 \cdot 0,021^2} = 101,1$$

Де d_B – внутрішній діаметр теплообмінних труб, $d_B = 0,021 \text{ м}$

w_B – приймаємо приблизно 1 м/с

V_B – об'ємна витрата ($V_B = \frac{G_B}{\rho_B} = 3,35 / 1000 = 0,035$)

Орієнтовне значення коефіцієнта теплопередачі в конденсаторах парів органічних речовин $K=550 \text{ Вт/м}^2\text{К}$ [11]. Тоді, необхідна площа поверхні конденсатора розраховуємо по формулі (1.3):

$$F = \frac{Q}{K\Delta t_{\text{ср}}} = \frac{7,7 \cdot 10^5}{550 \cdot 27,5} = 50,9 \text{ м}^2$$

За ГОСТ 15122 - 79 [12] візьмемо одноходовий теплообмінник з діаметром кожуху $D = 400 \text{ мм}$ та загальним числом труб $n_{\text{заг}} = 111$.

Маркування: Теплообмінник 400ЛК-6М1 ГОСТ 15122-79
25Г6Т1

Тоді фактичні швидкості холодного теплоносія в трубах w_x та гарячого теплоносія в міжтрубному просторі w_r визначаються за формулами

$$w_B = \frac{V_B}{f_{\text{мп}}} \quad (2.5)$$

Де $f_{\text{мп}}$ – прохідний переріз, одного ходу по трубах = 0,038 м²

$$w_B = \frac{0,035}{0,038} = 0,92 \text{ м/с}$$

$$w_r = \frac{V_r}{f_{\text{мпр}}} \quad (2.6)$$

Де $f_{\text{мпр}}$ – прохідний переріз м², між перегородками = 0,031 м²

					ХІ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
						13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

V_{Γ} – об'ємна витрата ($V_{\Gamma} = \frac{0,83}{789} = 0,010$)

$$w_{\Gamma} = \frac{0,010}{0,031} = 0,34 \text{ м/с}$$

Режим течії рідини в трубах та газу в міжтрубному просторі визначаються за зазначеннями критеріїв Рейнольдса :

$$Re_B = \frac{w_B \cdot d_B \cdot \rho_B}{\mu_B} \quad (2.7)$$

$$Re_B = \frac{w_B \cdot d_B \cdot \rho_B}{\mu_B} = \frac{0,92 \cdot 0,021 \cdot 1000}{0,9 \cdot 10^{-3}} = 21\,466,6$$

$$Re_{\Gamma} = \frac{w_{\Gamma} \cdot d_H \cdot \rho_{\Gamma}}{\mu_{\Gamma}} = \frac{0,34 \cdot 0,025 \cdot 789}{1,19 \cdot 10^{-3}} = 5635,7$$

Де, d_H – зовнішній діаметр теплообмінних труб, $d_H = 0.025$ м

Якщо $Re < 2300$ – режим руху ламінарний; якщо $2300 \leq Re \leq 10000$ – режим руху перехідний; якщо $Re > 10000$ – режим руху турбулентний.

Для визначення коефіцієнта тепловіддачі через рівняння:

$$Nu_B = 0.023 \cdot Re_B^{0.8} \cdot Pr_B^{0.4} \quad (2.8)$$

Де

Pr – Критерій Прандтля характеризує теплофізичні властивості теплоносія

$$Pr = \frac{\mu \cdot c}{\lambda} \quad (2.9)$$

$$Pr = \frac{\mu \cdot c}{\lambda} = \frac{0,9 \cdot 10^{-3} \cdot 4180}{0,640} = 5,87$$

де $\mu = 0,9 \cdot 10^{-3}$ Па·с - в'язкість води при t_{cp} .

c – питома теплоємність води;

λ – теплопровідність води;

$$Nu_B = 0.023 \cdot 21446^{0.8} \cdot 5,87^{0.4} = 136,22$$

Після визначення критерія Nu_x розраховується коефіцієнт тепловіддачі для холодного теплоносія з формули:

$$\alpha_B = Nu_B \cdot \frac{\lambda_B}{d_B} \quad (2.10)$$

$$\alpha_B = 136,22 \cdot \frac{0,640}{0,021} = 4151,5$$

Коефіцієнт тепловіддачі при течії газу в міжтрубному просторі з перегородками визначається за таким критеріальним рівнянням

$$Nu_{\Gamma} = 0.2 \cdot Re_{\Gamma}^{0.6} \cdot Pr_{\Gamma}^{0.33} \quad (2.11)$$

Де

Pr – Критерій Прандтля характеризує теплофізичні властивості теплоносія

$$Pr = \frac{\mu \cdot c}{\lambda} = \frac{1,19 \cdot 10^{-3} \cdot 3700}{0,165} = 26,6$$

					ХІ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
						14
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

c – питома теплоємність етанолу;

λ – теплопровідність етанолу;

$$Nu_r = 0.2 \cdot 5635,7^{0,6} \cdot 26,6^{0,33} = 105,15$$

Після визначення критерію Nu_r розраховується коефіцієнт тепловіддачі для гарячого теплоносія з формули:

$$\alpha_r = Nu_r \cdot \frac{\lambda_r}{d_H} \quad (2.12)$$

$$\alpha_r = Nu_r \cdot \frac{\lambda_r}{d_H} = 105,15 \cdot \frac{0,165}{0,025} = 693,99$$

Розрахунок по формулі (1.4):

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_r} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{1}{\alpha_b} + r} = \frac{1}{\frac{1}{693,99} + \frac{0,002}{17,5} + \frac{1}{4151,5} + \frac{1}{5800}} = 553 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$$

Де δ_{cm} - товщина стінки теплообмінних труб, $\delta_{cm} = 0.002$ м; λ_{cm} - теплопровідність матеріалу теплообмінних труб, для нержавіючої сталі $\lambda_{cm} = 17.5$ Вт/(м · К)

r - забруднення стінок приймемо $1/5800$ м²·К/Вт [6]

Після розрахунку фактичного коефіцієнта теплопередачі знову визначається розрахункова поверхня теплообміну із основного рівняння теплопередачі:

$$F_p = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{cp}} = \frac{7,7 \cdot 10^5}{553 \cdot 27,5} = 50,66 \text{ м}^2$$

А також запас поверхні за формулою

$$\Delta = \frac{F - F_p}{F} \quad (2.13)$$

$$\Delta = \frac{F - F_p}{F} = \frac{52 - 50,66}{52} = 0,03$$

Тобто присутній запас поверхні вибраного (3%) теплообмінника.

Остаточоно приймаємо:

За ГОСТ 15122 - 79 [1] візьмемо одноходовий теплообмінник з діаметром кожуху $D = 400$ мм та загальним числом труб $n_{заг} = 111$.

Маркування: Теплообмінник 400ЛК-6М1 ГОСТ 15122-79
25Г6Т1

					ХІ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
						15
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Опираючись на технологічний розрахунок:
 Конструкцію з'єднання кришки і корпусу апарату при $D_{вн} = 1400$ мм і $P_p = 1,1$ МПа вибираємо по [9] зі сталевими плоскими приварними фланцями і з ущільнювальною поверхнею «шип-паз».

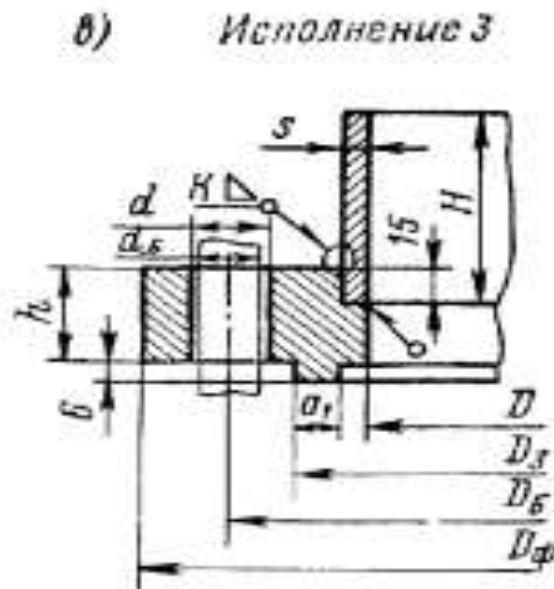


Рисунок 2.1 - Ескіз фланцевого з'єднання

Де $D_{ф}$ - зовнішній діаметр фланця;
 $D_{б}$ - діаметр болтової окружності фланця;
 h - висота фланця;
 $d_{б}$ - діаметр отвору під болти;
 d - діаметр різьби болта фланця;
 z - кількість болтів.

2.1.1 Розрахунок діаметра штуцерів

1. Діаметр штуцера в якому рухається етанол:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot \omega}} \quad (2.14)$$

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot \omega}} = \sqrt{\frac{4 \cdot G_e}{\pi \cdot \omega \cdot \rho_e}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,83}{3,14 \cdot 0,34 \cdot 789,3}} = 0,06 \text{ мм}$$

Де
 G_e - продуктивність речовини що конденсується в секундах;
 ω - швидкість етанолу в міжтрубному просторі;
 ρ_e - густина етанолу;

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

2. Діаметр штуцера в якому рухається вода:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot \omega}} = \sqrt{\frac{4 \cdot G_B}{\pi \cdot \omega \cdot \rho_B}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,35}{3,14 \cdot 0,92 \cdot 1000}} = 0,07 \text{ мм}$$

Де

G_e – витрати охолоджувальної води;

ω – швидкість води у трубному просторі;

ρ_e – густина води;

Для фланцевого з'єднання вибираємо металеву плоску прокладку зі сталі 65 кп ДСТ 9045.

Фланец 3 – 400 – 1,6 – 80 ОСТ 26-426-79

Приєднання трубної арматури до апарату, а також технологічних трубопроводів для підведення і відведення різних рідких (або газоподібних) продуктів виробляється за допомогою штуцерів або вступних труб, які можуть бути роз'ємними або нероз'ємними.

Застосовуємо фланцеві штуцера (при роз'ємних з'єднаннях), які показані на рисунку 3.2

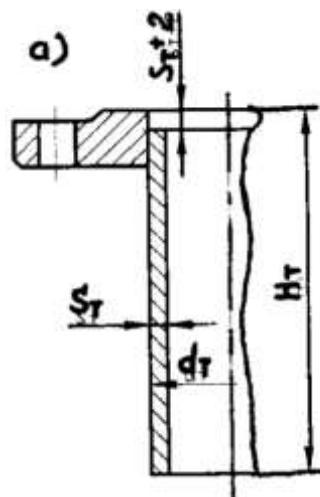


Рисунок 2.2 - Конструкція стандартного сталевого приварного фланцевого штуцера з приварним плоским фланцем і тонкостінним патрубком

По умовному проходу і тиску визначаємо інші розміри фланцевого штуцера [13]:

$D_y = 80 \text{ мм}$; $st = 4 \text{ мм}$; $dt = 89 \text{ мм}$; $H_t = 165 \text{ мм}$ (при $P_y = 1,6 \text{ МПа}$)

$D_y = 80 \text{ мм}$; $st = 4 \text{ мм}$; $dt = 89 \text{ мм}$; $H_t = 165 \text{ мм}$ (при $P_y = 1,6 \text{ МПа}$)

$D_y = 80 \text{ мм}$; $st = 4 \text{ мм}$; $dt = 89 \text{ мм}$; $H_t = 165 \text{ мм}$ (при $P_y = 1,6 \text{ МПа}$)

$D_y = 80 \text{ мм}$; $st = 4 \text{ мм}$; $dt = 89 \text{ мм}$; $H_t = 165 \text{ мм}$ (при $P_y = 1,6 \text{ МПа}$)

2.2 Гідравлічний опір апарату

Гідравлічний опір кожухотрубчастого теплообмінника складається з витрат напора на тертя в трубах і місцевих опорів.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

2.3 Вибір допоміжного обладнання

Розрахунок і вибір ємності для рідкого етанолу [10].

Ємність для зберігання рідкого етанолу розраховують, виходячи із 6–8 годинного резерву робочого часу, та з урахуванням коефіцієнта заповнення $\psi = 0,8 - 0,85$

Приймаємо $\psi = 0,8$.

Розрахунковий об'єм ємності:

$$V_{\text{EE}} = \frac{G \cdot \tau}{\psi \cdot \rho} \quad (2.16)$$

де G – витрата конденсату; $G = 3000$ кг/год.;

τ – резерв робочого часу; приймаємо $\tau = 6$ год.

$$V_{\text{EE}} = \frac{3000 \cdot 6}{0,8 \cdot 789} = 28,5 \text{ м}^3$$

Задаємося діаметром циліндричної ємності $D = 2,8$ м, тоді її висота буде дорівнювати:

$$H = \frac{V_{\text{EE}}}{0,785 \cdot D^2} \quad (2.17)$$

$$H = \frac{28,5}{0,785 \cdot 2,8^2} = 4,63 \text{ м}$$

Приймаємо ємності 5 м висоту

					ХІ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
						19
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

3. Розрахунки апарата на міцність та герметичність

3.1 Визначення товщини стінки апарата, кришки

3.1.1 Розрахунок товщини стінки корпусу

Циліндрові обичайки є одним з основних елементів хімічних апаратів. З однієї або декількох обичайок утворюється циліндровий корпус апарату. [10, 14, 15]

Вихідні дані: Робоча температура в корпусі $t = 52,3 \text{ }^\circ\text{C}$. Розрахунковий тиск $P_p = 1,2 \text{ МПа}$; Матеріал сталь 09Г2С. Термін служби апарату 15 років. Корозія $\Pi = 0,15 \text{ мм/рік}$.

Визначення розрахункового тиску та тиску гідравлічних випробувань.

Розрахунковий тиск приймаємо як 1,2 МПа, так як висота апарату є незначна.

Тиск гідравлічних випробувань для корпусу апарата визначимо за формулою [14]:

$$P_{\text{пр}} = 1,25 \cdot P_p \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_t} \quad (3.1)$$

де P_p – розрахунковий тиск, МПа.

$[\sigma]_{20}$ – допустима напруга, сталі 09Г2С при температурі 20°C ;

$[\sigma]_{20} = 196 \text{ МПа}$ [1];

$[\sigma]_t$ – допустима напруга, сталі 09Г2С при робочій температурі; $t_p = 40 \text{ }^\circ\text{C}$

$[\sigma] = 191,3 \text{ МПа}$ [6]

$$P_{\text{пр}} = 1,25 \cdot 1,2 \cdot \frac{196}{191,3} = 1,53 \text{ МПа}$$

Розрахункова товщина стінки обичайки, навантаженої внутрішнім надмірним тиском визначається по формулі [15]:

$$S_p = \frac{P_p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - P_p} \quad (3.2)$$

де: D – внутрішній діаметр апарату, $D = 400 \text{ мм}$ – діаметр апарату.
 φ – коефіцієнт міцності зварного стикового шва, що виконується автоматичною або напівавтоматичною зваркою;

$\varphi = 1,0$ так як апарат першої групи [15].

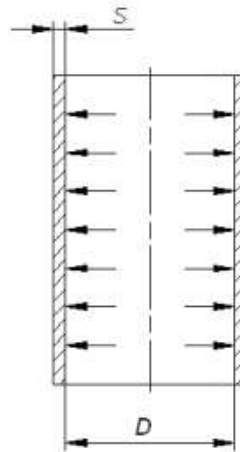


Рисунок 3.1 – Схема навантаження обичайки внутрішнім тиском

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
						20
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Виконавча товщина стінки циліндрової обичайки корпусу в першому наближенні визначається по формулі:

$$S \geq S_p + c \quad (3.3)$$

де: s – це сумарна надбавка до розрахункової товщини стінки циліндрової обичайки визначається по формулі:

$$c = c_1 + c_2 + c_3 \quad (3.4)$$

де: c_1 – надбавка для компенсації корозії, ерозії, $c_1 = 15 \cdot 0,15 = 2,25$ мм;
 c_2 – надбавка для компенсації мінусового допуску товщини листа, $c_2 = 0,6$ мм [11]

c_3 – надбавка для компенсації стоншування листа при технологічних операціях, $c_3 = 0$ мм.

Розрахунок обичайки: $D = 400$ мм.

Тоді сумарна надбавка дорівнює:

$$c = 2,25 + 0,6 + 0 = 2,85 \text{ мм}$$

Розрахункова товщина обичайки дорівнює:

$$S_p = \frac{1,2 \cdot 400}{2 \cdot 191,3 \cdot 1 - 1,2} = 1,26 \text{ мм}$$

Виконавча товщина стінки обичайки:

$$S = 1,26 + 2,85 = 4,11 \text{ мм}$$

Приймаємо товщину верхньої частини 8 мм.

Визначаємо допустимий тиск при робочій температурі:

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} \quad (3.5)$$

$$[P] = \frac{2 \cdot 191,3 \cdot 1 \cdot (8 - 2,85)}{400 + (8 - 2,85)} = 4,86 \text{ МПа}$$

Визначаємо допустимий тиск в режимі випробування:

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma]_{\text{пр}} \cdot \varphi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} \quad (3.6)$$

де $[\sigma]_{\text{пр}}$ – допустима напруга в режимі випробування, розраховується по формулі:

$$[\sigma]_{\text{пр}} = \frac{\sigma_{T20}}{1,1} \quad (3.7)$$

Де σ_{T20} – межа текучості при температурі 20С°; $\sigma_{T20} = 300$ МПа;

$$[\sigma]_{\text{пр}} = \frac{300}{1,1} = 272,7 \text{ МПа}$$

$$[P]_{\text{пр}} = \frac{2 \cdot 272,7 \cdot 1 \cdot (8 - 2,85)}{400 + (8 - 2,85)} = 6,93 \text{ МПа}$$

Перевіряємо умови роботи апарату:

					ХІ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
						21
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Робочий режим:

$$P_p \leq [P]$$

$$1,2 \leq 4,86$$

Режим випробування:

$$P_{пр} \leq [P]_{пр}$$

$$1,53 \leq 6,93$$

Висновок. Забезпечується міцність обичайки як в робочому стані, так і при гідравлічних випробуваннях.

3.1.2 Розрахунок товщини стінки днища

Вихідні дані: Робоча температура в корпусі $t = 52,3$ °С. Розрахунковий тиск $P_p = 1,2$ МПа; Матеріал сталь 09Г2С. Термін служби апарату 15 років. Корозія П = 0,15 мм/рік.

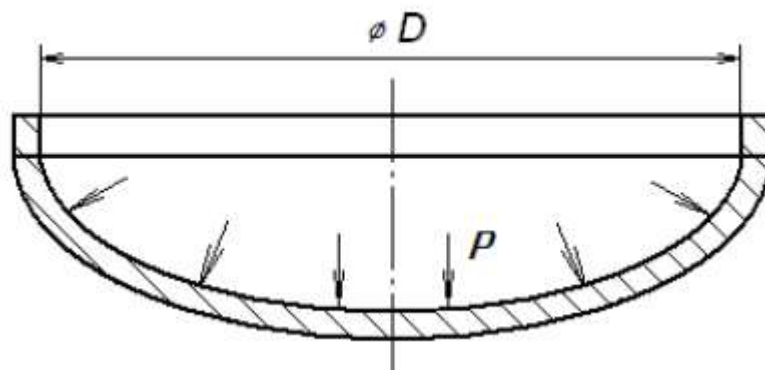


Рисунок 3.2 – Схема навантаження днища під дією внутрішнього тиску
Товщина стінки днища діаметром 400 мм, навантаженої внутрішнім надмірним тиском, визначається по формулі [15]:

$$S_{IR} = \frac{P \cdot R}{2\varphi[\sigma] - 0,5P} \quad (3.8)$$

$$S_{IR} = \frac{1,2 \cdot 400}{2 \cdot 191,3 \cdot 1 - 0,5 \cdot 1,2} = 1,26 \text{ мм}$$

де P – розрахунковий внутрішній тиск, $P = 1,2$ МПа;

R – радіус кривизни у вершині кришки по внутрішній поверхні;

$R = \frac{D^2}{4H}$ для еліптичних кришок $R = D$, якщо $H = 0,25D$;

$[\sigma]$ – допустиме напруження, при розрахунковій температурі $[\sigma] = 191,3$ МПа;

φ – коефіцієнт міцності поздовжнього звареного шва;

Визначаємо виконавчу товщину стінки кришки.

$$S_d \geq S_{IR} + c$$

де S_{R1} – розрахункова товщина стінки;

c – сумарний додаток.

$$c = c_1 + c_2 + c_3$$

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
						22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

c_1 – надбавка для компенсації корозії, ерозії, $c_1 = 2,25$ мм;

c_2 – надбавка для компенсації мінусового допуску товщини листа, $c_2 = 0,6$ мм; [11].

c_3 – надбавка для компенсації стоншування листа при технологічних операціях: гибці, штампуванню, $c_3 = 1,0$ мм [15].

$$S_{д} \geq 1,26 + 2,25 + 0,6 + 1 = 5,11 \text{ мм}$$

Товщину стінки приймаємо $S_{д} = 8$ мм.

Виконуємо перевірочні розрахунки кришки й робимо висновок про міцність її у всіх режимах роботи апарата.

Розраховуємо допустимий внутрішній надлишковий тиск в робочому режимі.

$$[P] = \frac{2 \cdot (S_{д} - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{R + 0,5 \cdot (S_1 - c)} \quad (3.9)$$

$$[P] = \frac{2 \cdot (8 - 3,85) \cdot 1 \cdot 191,3}{400 + 0,5(8 - 3,85)} = 3,94 \text{ МПа}$$

Розраховуємо допустимий внутрішній надлишковий тиск в режимі випробування.

$$[P]_{пр} = \frac{2(S_1 - c)\varphi[\sigma_{пр}]}{R + 0,5(S_1 - c)} \quad (3.10)$$

Де

$$\sigma_{пр} = \frac{\sigma_T}{1,1} = \frac{300}{1,1} = 272,7 \text{ МПа.}$$

σ_T – межа текучості.

$$[P]_{пр} = \frac{2 \cdot (8 - 3,85) \cdot 1 \cdot 272,7}{400 + 0,5(8 - 3,85)} = 5,63 \text{ МПа}$$

Визначаємо пробний тиск.

$$P_{пр} = 1,25 P_p \frac{[\sigma_{20}]}{[\sigma]}$$

$$P_{пр} = 1,25 \cdot 1,2 \cdot 196 / 191,3 = 1,53 \text{ МПа.}$$

Порівнюємо в режимі роботи:

$$P_p \leq [P]$$

$$1,2 \leq 3,94$$

В режимі випробування

$$P_{пр} \leq [P]_{пр}$$

$$1,53 \leq 5,63$$

Висновок. Забезпечується міцність обичайки як в робочому стані, так і при гідравлічних випробуваннях.

3.2 Розрахунок фланцевого з'єднання

Розроблений за допомогою джерел [13,16]

Конструкцію фланцевого з'єднання патрубків згідно табл. 13.7 [13] з плоским приварними фланцями і з поверхнею ущільнювача типу «шип-паз».

					ХІ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
						23
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

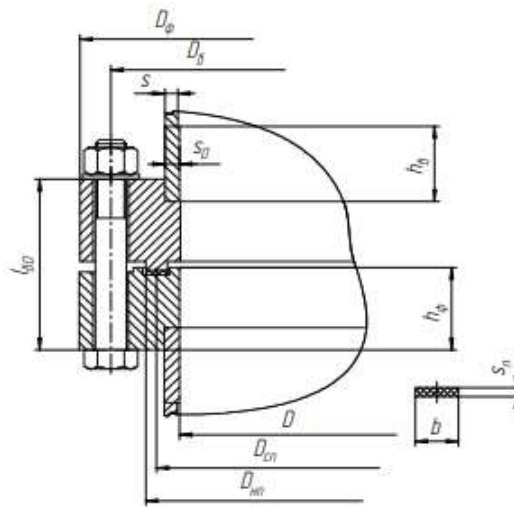


Рисунок 3.3 – Фланцеве з'єднання. Товщину втулки фланця люка приймаємо $S_0 = 8$ мм. Відношення більшої товщини втулки до меншої $\beta = 1$.

Висоту втулки фланця визначаємо по формулі:

$$h_B > 0,5 \sqrt{D \cdot (s - c)} \quad (3.11)$$

Діаметр болтового кола визначається по формулі або відповідно до табл. 13.7 [9]:

$$D_B \geq D + 2 \cdot (2 \cdot s + d_6 + u) \quad (3.12)$$

де: d_6 – зовнішній діаметр болта, при $D = 400$ мм і $H = 1,6$ МПа, $d_6 = 23$ мм;
 u – нормативний зазор між гайкою і втулкою, $u = 4 \dots 6$ мм.

$$D_6 = 400 + 2 \cdot (2 \cdot 8 + 23 + 6) = 490 \text{ мм}$$

Приймаємо $D_6 = 495$ мм

Зовнішній діаметр фланця визначається по формулі і відповідно до табл. 13.7 [9]:

$$D_\phi \geq D_6 + a \quad (3.13)$$

де: a – конструктивна добавка для розміщення гайок по діаметру фланця, приймаємо $a = 40$ мм [13, табл. 13.27].

$$D_\phi = 495 + 40 = 535 \text{ мм.}$$

Приймаємо $D_\phi = 535$ мм.

Зовнішній діаметр прокладки:

$$D_{нп} = D_B - e \quad (3.14)$$

де: e – нормативний параметр, залежний від товщини прокладки, $e = 30$ мм [9, табл. 13.27, с.264].

$$D_{нп} = 495 - 30 = 465 \text{ мм;}$$

Приймаємо матеріал прокладки параніт по ГОСТ 481 – 80 з товщиною $S_{п} = 2$ мм.

Середній діаметр прокладки визначається по формулі:

$$D_{сп} = D_{нп} - b \quad (3.15)$$

де: b – ширина прокладки, що приймається згідно [13, табл. 13.25, с. 262], $b = 12$ мм.

$$D_{сп} = 465 - 12 = 453 \text{ мм.}$$

Ефективна ширина прокладки при $b \leq 15$ мм, $b = 12$ мм.

$$b_E = 0,5 \cdot b$$

$$b_E = 0,5 \cdot 12 \cdot 10^{-3} = 0,006 \text{ м.}$$

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

Конструктивний коефіцієнт для фланця:

$$K_{\phi} = \frac{D_6}{D} \quad (3.16)$$

$$K_{\phi} = \frac{535}{400} = 1,33 \text{ мм.}$$

Конструктивні коефіцієнти для фланця:

$$\lambda_{\phi 1} = \lambda_{\phi 2} = \frac{h_{\phi}}{\sqrt{D \cdot S_0}} \quad (3.17)$$

$$\lambda_{\phi 1} = \lambda_{\phi 2} = \frac{0,035}{\sqrt{0,4 \cdot 0,008}} = 0,62$$

Поправочний коефіцієнт:

$$\Psi_{1\phi} = 1,28 \cdot \lg K_{\phi} \quad (3.18)$$

$$\Psi_{1\phi} = 1,28 \cdot \lg 1,33 = 0,16$$

Поправочний коефіцієнт:

$$\Psi_{2\phi} = \frac{K_{\phi} + 1}{K_{\phi} - 1} \quad (3.19)$$

$$\Psi_{2\phi} = \frac{1,33 + 1}{1,33 - 1} = 7,06;$$

Поправочний коефіцієнт для перерізу S_0 для плоских приварних фланців:

$$\Psi_{3\phi} = 1.$$

Геометричні параметри фланців:

$$j_{\phi 1} = j_{\phi 2} = \frac{h_{\phi}}{S_0} \quad (3.20)$$

$$j_{\phi 1} = j_{\phi 2} = \frac{0,035}{0,008} = 4,375.$$

Безрозмірний параметр фланців:

$$T_{\phi} = \frac{K_{\phi}^2 \cdot (1 + 8,55 \lg K_{\phi}) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot K_{\phi}^2) \cdot (K_{\phi} - 1)} \quad (3.21)$$
$$T_{\phi} = \frac{1,33^2 \cdot (1 + 8,55 \lg 1,33) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot 1,33^2) \cdot (1,33 - 1)} = 1,783$$

Безрозмірні параметри:

$$\omega_{\phi 1} = \omega_{\phi 2} = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi} \cdot (1 + \Psi_{1\phi} \cdot j_{\phi 1}^2)} \quad (3.22)$$

$$\omega_{\phi 1} = \omega_{\phi 2} = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot 0,62 \cdot (1 + 0,16 \cdot 4,375^2)} = 0,31;$$

Кутова податливість фланця, що визначається по формулі:

$$Y_{\phi} = \frac{[1 - \omega_{\phi 1} \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 1})] \cdot \Psi_{\phi 2}}{h_{\phi}^3 \cdot E_{\phi}} \quad (3.23)$$

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

$$y_{\phi} = \frac{[1 - 0,31 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,62)] \cdot 7,06}{0,035^2 \cdot 2 \cdot 10^5} = 0,426 \text{ 1/МН} \cdot \text{м}$$

Розрахункова довжина болта визначається по формулі:

$$L_{\text{Б}} = h_{\phi 1} + h_{\phi 2} + 0,28 \cdot d_{\phi} \quad (3.24)$$

$$L_{\text{Б}} = 0,035 + 0,035 + 0,28 \cdot 0,02 = 0,076 \text{ м.}$$

Лінійна податливість неметалічної прокладки, що визначається по формулі:

$$y_{\text{п}} = \frac{2 \cdot h_{\text{п}}}{E_{\text{п}} \cdot \pi \cdot D_{\text{СП}} \cdot b} \quad (3.25)$$

де: $E_{\text{п}}$ – модуль подовжньої пружності для матеріалу прокладки, $E_{\text{п}} = 2000$ МПа.

$h_{\text{п}}$ – висота прокладки, $h_{\text{п}} = S_{\text{п}} = 2$ мм.

$$y_{\text{п}} = \frac{2 \cdot 0,002}{2000 \cdot 3,14 \cdot 0,453 \cdot 0,012} = 11,711 \cdot 10^3 \frac{\text{М}}{\text{МН}}$$

Лінійна податливість болтів:

$$y_{\text{б}} = \frac{L_{\text{б}}}{E_{\text{б}} \cdot f_{\text{б}} \cdot n_{\text{б}}} \quad (3.26)$$

де: $E_{\text{б}}$ – модуль подовжньої пружності матеріалу болта ;

$$E_{\text{б}} = 1,96 \cdot 10^5 \text{ МПа.}$$

$f_{\text{б}}$ – розрахункова площа поперечного перетину болта по внутрішньому діаметру, згідно табл. 13.27 [13], $f_{\text{б}} = 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot \text{м}^2$;

n – кількість болтів, $n = 40$ шт.

$$y_{\text{б}} = \frac{0,076}{1,96 \cdot 10^5 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 40} = 4,125 \cdot 10^{-5} \frac{\text{М}}{\text{МН}}$$

Коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання визначається по формулі:

$$A_{\phi} = \frac{1}{y_{\text{л}} + y_{\text{в}} + 0,25 \cdot (y_{\phi 1} + y_{\phi 2}) \cdot (D_{\text{б}} - D_{\text{СП}})^2} \quad (3.27)$$

A_{ϕ}

$$= \frac{1}{11,711 \cdot 10^{-5} + 4,125 \cdot 10^{-5} + 0,25 \cdot (0,426 + 0,426) \cdot (0,495 - 0,453)^2}$$

$$= 1872$$

Параметр жорсткості фланців:

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
						26
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$B_{\phi 1} = B_{\phi 2} = Y_{\phi} \cdot (D_{\phi} - D - S_0) \quad (3.28)$$

$$B_{\phi 1} = B_{\phi 2} = 0,496 \cdot (0,495 - 0,4 - 0,008) = 3,71 \cdot 10^2 \frac{1}{\text{МН}}$$

Безрозмірний коефіцієнт фланцевого з'єднання:

$$\gamma = A_{\phi} \cdot Y_{\phi} \quad (3.29)$$

$$\gamma = 1872 \cdot 4125 \cdot 10^5 = 0,077.$$

Коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання:

$$\alpha_{\phi} = A_{\phi} \cdot [Y_{\phi} + 0,25 \cdot (B_{\phi 1} + B_{\phi 2}) \cdot (D_{\phi} - D_{\text{сп}})] \quad (3.30)$$

$$\alpha_{\phi} = 1872 \cdot [4,125 \cdot 10^{-5} + 0,25 \cdot (3,75 \cdot 10^{-2} + 3,71 \cdot 10^{-2}) \cdot (0,495 - 0,453)] = 1,536.$$

Рівнодіючу внутрішнього тиску:

$$Q_{\text{д}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{сп}}^2}{4} \cdot P_1 \quad (3.31)$$

$$Q_{\text{д}} = \frac{3,14 \cdot 0,453^2}{4} \cdot 1,2 = 0,258 \text{ МН.}$$

Реакція прокладки в робочих умовах визначається по формулі:

$$R_{\text{п}} = 2 \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_{\text{Е}} \cdot m \cdot P_1 \quad (3.32)$$

де: m – коефіцієнт, залежний від матеріалу і конструкції прокладки, $m = 2,5$;

$$R_{\text{п}} = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,453 \cdot 0,006 \cdot 2,5 \cdot 1,2 = 0,068 \text{ МН.}$$

Зусилля, що виникає від температурних деформацій, визначається по формулі:

$$Q_{\text{тф}} = \gamma \cdot n_{\phi} \cdot f_{\phi} \cdot E_{\phi} \cdot (\alpha_{\phi}^{\text{т}} \cdot t_{\phi} - \alpha_{\phi}^{\text{б}} \cdot t_{\phi}) \quad (3.33)$$

де: α_{ϕ} – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу фланця; $\alpha_{\phi} = 16,6 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$;

α_{ϕ} – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу болта (приймаємо для болта сталь 35), $\alpha_{\phi} = 11,6 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$;

t_{ϕ} – розрахункова температура неізолюваних фланців; $t_{\phi} = 0,96 \cdot t = 0,96 \cdot 52,3 = 50,28 \text{ }^{\circ}\text{C}$;

t_{ϕ} – розрахункова температура неізолюваних болтів; $t_{\phi} = 0,95 \cdot t = 0,95 \cdot 40 = 49,68 \text{ }^{\circ}\text{C}$;

$$Q_{\text{тф}} = 0,077 \cdot 40 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 1,96 \cdot 10^5 \cdot (16,6 \cdot 10^{-6} \cdot 50,28 - 11,6 \cdot 10^{-6} \cdot 49,68) = 0,028 \text{ МН.}$$

Монтажне болтове зусилля фланцевого з'єднання:

$$P'_{\text{Б1}} = \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_{\text{Е}} \cdot q \quad (3.34)$$

де: q – тиск віджимання прокладки, для параніту $q = 20 \text{ МПа}$.

$$P'_{\text{Б1}} = 3,14 \cdot 0,453 \cdot 0,006 \cdot 20 = 0,171 \text{ МН.}$$

$$P''_{\text{Б1}} = \alpha_{\phi} \cdot (Q_{\text{д}} \pm P) + R_{\text{п}} + \frac{4 \cdot M}{D_{\text{сп}}} \quad (3.35)$$

$$P''_{\text{Б1}} = 1,536 \cdot (0,258 \pm 0) + 0,068 + \frac{4 \cdot 0}{0,453} = 0,464 \text{ МН.}$$

$$P''_{\text{Б2}} = 0,4 \cdot [\sigma_{\text{Б}}]^{20} \cdot n_{\phi} \cdot f_{\phi} \quad (3.36)$$

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

де: $[\sigma_B]^{20}$ – допустиме напруження для матеріалу болтів при температурі 20 °С $[\sigma_B]^{20} = 130$ МПа;

$$P''_{B2} = 0,4 \cdot 130 \cdot 40 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} = 0,489 \text{ МН.}$$

Болтове навантаження визначаємо по формулі:

$$F_{B1} = \max\{P'_{B1}; P''_{B1}; P'''_{B1}\};$$

$$F_{B1} = \max\{0,171; 0,464; 0,489\} = 0,489 \text{ МН.}$$

Умова міцності неметалічної прокладки (з пароніту) визначається по формулі:

$$\frac{F_{B1}}{\pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b} \leq [q] \quad (3.37)$$

де: $[q]$ – тиск, що допускається, на прокладку по табл. 13.28 [13]

$[q] = 130$ МПа.

$\frac{0,489}{3,14 \cdot 0,489 \cdot 0,012} = 26,53$ МПа $\leq [q] = 130$ МПа - умова міцності прокладки виконана.

Болтове навантаження в робочих умовах визначаємо по формулі:

$$F_{B2} = F_{B1} + (1 - \alpha_{\phi}) \cdot (Q_d \pm P) + Q_{t\phi} + \frac{4 \cdot M}{D_{\text{сп}}} \quad (3.38)$$

$$F_{B2} = 0,489 + (1 - 1,536) \cdot (0,258 \pm 0) + 0,0028 + \frac{4 \cdot 0}{0,453} = 0,354 \text{ МН.}$$

Розрахункове болтове навантаження:

$$P_{B\phi} = \max\{P_{B1}; P_{B2}\} \quad (3.39)$$

$$P_{B\phi} = \max\{0,489; 0,354\} = 0,489 \text{ МН.}$$

Напруження розтягування болтів:

в умовах монтажу:

$$\frac{F_{B1}}{n_6 \cdot f_6} < [\sigma]_6^{20} \quad (3.40)$$

в робочих умовах:

$$\frac{F_{B1}}{n_6 \cdot f_6} < [\sigma]_6^t \quad (3.41)$$

де: $[\sigma]_6^t$ – допустиме напруження для матеріалу болтів при температурі 40°С ;

$[\sigma]_6^t = 125$ МПа.

$$\sigma_6^{20} = \frac{0,489}{40 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4}} = 52,02 \text{ МПа} < [\sigma]_6^{20}$$

$$\sigma_6^t = \frac{0,354}{40 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4}} = 37,7 \text{ МПа} < [\sigma]_6^t$$

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
						28
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Момент, що скручує, при затягуванні гайок:

$$M_{\text{скр}} = f_1 \cdot \frac{P_{\text{БФ}}}{n_b} \cdot d_6 \quad (3.42)$$

де f_1 - коефіцієнт тертя, $f_1 = 0,1$.

$$M_{\text{скр}} = 0,1 \cdot \frac{0,489}{40} \cdot 0,02 = 2,445 \cdot 10^{-5} \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Дотичне напруження в болтах:

$$\tau_B = \frac{M_{\text{скр}}}{0,2 \cdot d_0^3} \quad (3.43)$$

де d_0 - внутрішній діаметр різьблення болта, $d_0 = 0,0173$ м.

$$\tau_B = \frac{2,445 \cdot 10^{-5}}{0,2 \cdot 0,0173^3} = 23,61 \text{ МПа.}$$

Еквівалентне напруження в болтах:

$$\sigma_{\text{БЕ}}^{20} = \sqrt{(\sigma_{\text{БЕ}}^{20})^2 + 3 \cdot \tau^2} \quad (3.44)$$

$\sigma_{\text{БЕ}}^{20} = \sqrt{52,02^2 + 3 \cdot 23,61^2} = 66,17 \text{ МПа} < [\sigma]_6^{20} = 130 \text{ МПа}$ – умова виконана.

$$\sigma_{\text{БЕ}}^t = \sqrt{(\sigma_6^t)^2 + 3 \cdot \tau^2} \quad (3.45)$$

$\sigma_{\text{БЕ}}^t = \sqrt{37,7^2 + 3 \cdot 23,61^2} = 55,62 \text{ МПа} < [\sigma]_6^t = 125 \text{ МПа}$ - умова виконана.

Зведений згинальний момент у діаметральному перерізі фланця в умовах монтажу:

$$M_{01\phi} = 0,5 \cdot P_{61} \cdot (D_6 - D_{\text{сп}}) \quad (3.46)$$

$$M_{01\phi} = 0,5 \cdot 0,464 \cdot (0,495 - 0,453) = 0,01 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Зведений згинальний момент у діаметральному перерізі фланця в робочих умовах:

$$M_{02\phi} = 0,5 \cdot [P_{62}(D_6 - D_{\text{сп}}) + Q_d \cdot (D_{\text{сп}} - D - S_0)] \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} \quad (3.47)$$

$$M_{02\phi} = 0,5 \cdot [0,489 \cdot (0,495 - 0,453) + 0,285 \cdot (0,454 - 0,4 - 0,008)] \cdot \frac{196}{191,3} = 0,016 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Розрахунковий зведений момент у діаметральному перерізі фланця:

$$M_{0\phi} = \max\{M_{01\phi}; M_{02\phi}\}$$

$$M_{0\phi} = \max\{0,01; 0,016\} = 0,016 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Допоміжна величина:

$$\varepsilon = 20 \cdot S_0 \quad (3.48)$$

$$\varepsilon = 20 \cdot 0,08 = 0,16$$

Розрахунковий діаметр при $D > \varepsilon$:

$$D^* = D = 0,4 \text{ м}$$

Максимальні напруження в перерізі s_0 фланців від дії згинального моменту

$M_{0\phi}$:

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
						29
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\sigma_{o\phi} = \sigma_{o\phi1} = \sigma_{o\phi2} = \psi_3 \cdot \frac{T_\phi \cdot M_{o\phi} \cdot \omega_\phi}{D \cdot (S_0 - c)^2} \quad (3.49)$$

$$\sigma_{o\phi1} = \sigma_{o\phi2} = 1 \cdot \frac{1,783 \cdot 0,016 \cdot 0,31}{0,4 \cdot (0,008 - 0,0026)^2} = 78,82 \text{ МПа}$$

Максимальні кільцеве напруження в дисках фланців від дії згинального моменту $M_{o\phi}$:

$$\sigma_{к\phi} = \sigma_{к\phi1} = \sigma_{к\phi2} = \frac{M_{o\phi} \cdot [1 - \omega_\phi \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_\phi)] \cdot \psi_{2\phi}}{D \cdot h_{\phi1}^2} \quad (3.50)$$

$$\sigma_{к\phi} = \sigma_{к\phi1} = \sigma_{к\phi2} = \frac{0,016 \cdot [1 - 0,31 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,62)] \cdot 7,06}{0,4 \cdot 0,035^2} = 119,2 \text{ МПа}$$

Кільцеве меридіональне напруження у втулці фланців від дії внутрішнього тиску:

$$\sigma_{x\phi1} = \sigma_{x\phi2} = \frac{P_1 \cdot D}{[2 \cdot (S_0 - c)]} \quad (3.51)$$

$$\sigma_{x\phi1} = \sigma_{x\phi2} = \frac{1,6 \cdot 400}{[2 \cdot (8 - 2,85)]} = 59,3 \text{ МПа.}$$

$$\sigma_{y\phi1} = \sigma_{y\phi2} = \frac{P_1 \cdot D}{[4 \cdot (S_0 - c)]} \quad (3.52)$$

$$\sigma_{y\phi1} = \sigma_{y\phi2} = \frac{1,6 \cdot 400}{[4 \cdot (8 - 2,85)]} = 29,6 \text{ МПа}$$

Еквівалентне напруження в перерізі s_0 :

$$\sigma_{E\phi} = \sigma_{E\phi1} = \sigma_{E\phi2} = \sqrt{(\sigma_{o\phi1} + \sigma_{y\phi1})^2 + \sigma_{x\phi1}^2 - (\sigma_{o\phi1} + \sigma_{y\phi1}) \cdot \sigma_{x\phi1}} \quad (3.53)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{E\phi} = \sigma_{E\phi1} = \sigma_{E\phi2} &= \sqrt{(75,82 + 29,6)^2 + 59,3^2 - (75,82 + 29,6) \cdot 59,3} \\ &= 91,53 \text{ МПа} \end{aligned}$$

Умова міцності:

$$\sigma_{E\phi} \leq [\sigma_\phi^{S_0}] \cdot \psi \quad (3.54)$$

$91,53 \leq 600 \cdot 1,0 = 600 \text{ МПа}$ - умова міцності виконана.

Умова герметичності фланцевого з'єднання визначається кутом повороту фланця по формулі:

$$\theta = \frac{\sigma_{к\phi} \cdot D}{E_\phi \cdot h_\phi} \leq [\theta] \quad (3.55)$$

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
						30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

де: $[\theta]$ – кут повороту фланця, що допускається, приймається для плоских фланців $[\theta] = 0,013$ радий;

$$\theta = \frac{119,2 \cdot 0,4}{2,05 \cdot 10^5 \cdot 0,035} = 0,007 \text{ рад} \leq [\theta] = 0,013 \text{ рад} - \text{ умова герметичності виконана.}$$

3.3 Розрахунок опори апарату

Для установки апарату вибираємо опори стійка для горизонтальних апаратів з ОСТ 26-665-79 [13]. Опори виготовляються зі сталі СтЗпс5.

Конструктивні розміри елементів опори встановлюються в залежності від навантаження на одну опору Q, кН. Розрахуємо вага апарату, для того, щоб дізнатися навантаження на одну опору.

$$G = 2G_{\text{дн}} + G_{\text{об}} + G_{\text{ср}} + G_{\text{фл}}, \text{ Н}$$

$$2G_{\text{дн}} = m \cdot g = 2 \cdot 9,81 \cdot 13,4 = 263 \text{ Н}$$

$$G_{\text{об}} = \pi(D + s) \cdot s \cdot H \cdot \rho \cdot g = 3,14 (0,4+0,008) \cdot 0,008 \cdot 6 \cdot 7850 \cdot 9,81 = 4735 \text{ Н}$$

$$G_{\text{ср}} = V \cdot \rho \cdot g = ((\pi \cdot R^2 \cdot H) + V_{\text{днищ}} \cdot \rho \cdot g) = ((3,14 \cdot 0,2^2 \cdot 6) + 0,0113 \cdot 789,3 \cdot 9,81) = 5920 \text{ Н}$$

$$G_{\text{фл}} = 1100 \text{ Н (вага відома)}$$

$$G = 263 + 4735 + 5920 + 1100 = 12018 \text{ Н}$$

Приймаємо опору стойку.

Опора – стойка 2-10 ОСТ 26-665 – 79

					ХІ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
						31
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

4. Монтаж та ремонт апарата

4.1 Монтаж апарата

Монтаж таких теплообмінників залежить тільки від ваги і просторового розташування. [18]

Вага та розміри випускаються в даний час теплообмінників дозволяють транспортувати їх до місця монтажу повністю в зібраному на заводі-виробнику вигляді. Для транспортування використовують залізничні платформи, трейлери, автомашини, сани та ін.

Теплообмінники встановлюють відповідно до проекту горизонтально або вертикально на різних відмітках.

Опорною конструкцією для них можуть служити: фундаменти у вигляді двох бетонних або залізобетонних стовпів з анкерними болтами (при низькому горизонтальному розташуванні) і балки висотних металоконструкцій (при вертикальному розташуванні і горизонтальному розташуванні на великих висотах).

До корпусу апарату приварюються дві опори, відстань між якими відповідає нормалю. Для установки теплообмінника на вже існуючий фундамент відстань між опорами можна змінювати в невеликих межах. Між корпусом і опорами апарату повинні поміщатися підкладки з листової сталі, що запобігають вм'ятини на корпусі. До корпусу вертикально розташованих теплообмінників замість опор приварюють лапи з ребрами жорсткості.

У переважній більшості випадків теплообмінники встановлюють в проектне положення за допомогою самохідних кранів. Якщо в конкретних умовах підйому вантажопідйомність кранів недостатня, практикується установка теплообмінників за допомогою двох кранів, що працюють строго узгоджено.

Теплообмінники, що розміщуються в два яруси і більше, доцільно піднімати великими блоками з кількох апаратів після їх взаємної трубопровідної обв'язки. При підйомі блок обв'язаних теплообмінників укладають в ґратчастий жорсткий контейнер, за який і виробляють строповку.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
						32
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

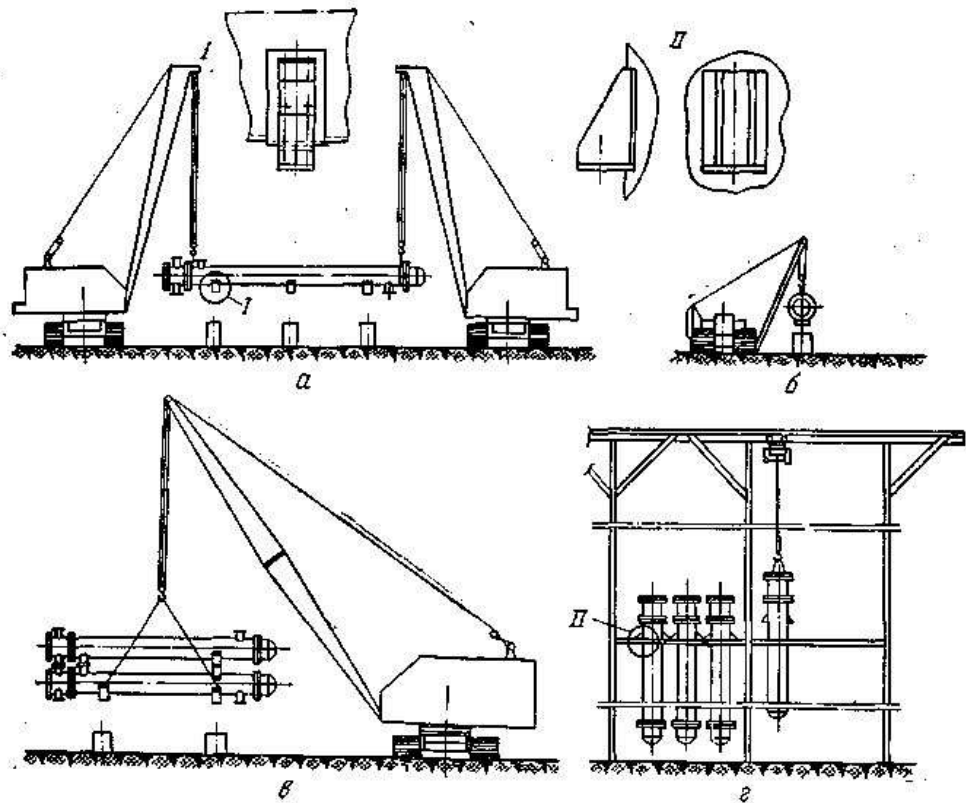


Рис. 4.1 - Підготовка приміщення до монтажу теплообмінних апаратів

а - за допомогою двох кранів; б - трубоукладачем;

в - блоку теплообмінників краном; г - вертикальних теплообмінників монобалкой;

I - опора горизонтальних теплообмінників;

II - опора вертикальних теплообмінників.

До трубопровідної обв'язки приступають після остаточної перевірки стану корпусу і закріплення болтів, що з'єднують його опори або лапи з постаментом. Положення теплообмінника вивіряють рівнем або схилом, підкладаючи, якщо це необхідно, під опорні площини сталеві планки.

Під час вивірення теплообмінних апаратів відхилення від проектних осей і відміток, а також по горизонталі і вертикалі складають:

головних осей апарату в плані	± 10 мм
осі вертикального апарату від вертикальності	3 мм на 1м, але не більше 35 мм
горизонтального апарату від горизонтальності або заданого положення (ухилу)	0,3 мм на 1м

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

При горизонтальному розташуванні теплообмінників температурні деформації корпусу між опорами можуть досягати декількох міліметрів, тому одна з опор повинна бути рухливою. Нерухома опора, зазвичай встановлюється з боку нерухокої трубної решітки, закріплюється намертво; гайки болтів рухомої опори, що має овальні вирізи, що не затягуються на 1 - 1,5 мм, але фіксуються контргайками. Зазор між болтами і овальними вирізами повинен розташовуватися в бік можливого подовження теплообмінника. Поверхні ковзання зачищаються так, щоб виключити защемлення.

Монтовані теплообмінники повинні бути опресовані на пробне тиск на заводі-виробнику, тому на монтажному майданчику їх поодинці не обпресовують, обмежуючись перевіркою загальної системи теплообміну разом з трубопровідної обв'язкою після завершення монтажних робіт.

4.2 Ремонт апарата

Пункт виконаний за допомогою допоміжної літератури [19]

Теплообмінники із трубною системою мають підвищену надійність, що дозволяє їм функціонувати без збоїв протягом довгих років. Але не варто забувати, що планове технічне обслуговування просто необхідне для профілактики поломок. Циркулюючий теплоносій з часом засмічує стінки трубок, осідаючи на їх поверхні та перешкоджаючи вільному потоку. Уникнути передчасного виходу обладнання із ладу та зберегти ефективність дозволить регулярне очищення трубчатки. Завдяки систематичному промиванню є можливість тривалий час підтримувати робочі параметри у нормі. Безпосередньо ремонт кожухотрубних теплообмінників, у більшості випадків, необхідний лише у разі надмірного зношення обладнання.

Далі розглянемо більш детально найбільш поширені дефекти, що виникають при експлуатації кожухотрубних теплообмінників.

Виривання трубок із трубних решіток. Дана проблема зазвичай виникає через нерівномірне розширення трубок та корпусу. Варіанти вирішення:

- зачистка місця розриву і обварювання трубки заново;
- висвердлювання трубки і установка нової трубки;
- зачистка і заглушка трубки.

Якщо встановлюються заглушки на дефектні трубки, необхідно враховувати, що опір даної ділянки зростає, а також трохи погіршується теплообмін. Зазвичай, теплообмінники розраховують таким чином, щоб без сильного впливу на технологічний процес можна було заглушити до 10 % трубок. У кожному разі це питання треба вивчати окремо.

Наскрізна корозія трубок. Дана проблема виникає або через тривалість використання теплообмінника і безпосередній корозії, або при неправильно підбраному матеріалі трубчатки.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

Варіанти вирішення:

- висвердлювання трубки і установка нової трубки;
- зачистка і заглушка трубки.

Так само, як і в описаному вище випадку, при встановленні заглушок необхідно дотримуватись вимог з урахуванням збільшеного опору. Із огляду на причини виникнення наскрізної корозії, можна припустити, що із великою ймовірністю, найближчим часом можуть почати виходити із ладу іншу трубки. Нерідко при виникненні наскрізної корозії найбільш ефективним шляхом є просто заміна трубного пучка (виготовлення нового трубного пучка). Це особливо актуально, якщо повторний дефект виник швидко після першої поломки.

Наскрізна корозія корпусу чи камери. Дана проблема, так само як і наскрізна корозія трубок, зазвичай виникає або через тривалість використання теплообмінника і безпосередній корозії, або при неправильно підбраному матеріалі. Варіанти вирішення:

- підварювання або установка заплатки;
- виготовлення нової камери чи корпусу.

Засмічення трубок чи міжтрубного простору. Ця проблема може виникнути в тому випадку, якщо один із теплоносіїв не фільтрується належним чином, або якщо відбувається поява природного нагару (наприклад, при роботі з вихлопними газами). Варіанти вирішення:

- механічне очищення;
- хімічне очищення.

Якщо засмічення відбувається через відсутність належної фільтрації середовищ, рекомендується установка необхідних фільтрів. Якщо ж відбувається поява нагару, швидше за все, це обумовлено технологічними моментами. У такому випадку треба визначати, коли відбувається чергове засмічення теплообмінника (вимірювання температури або протитиску) і чистити його.

Подібні роботи слід проводити на місці експлуатації. У разі необхідності фахівці повинні виїхати на місце і провести цю роботу, але в більшості випадків ці операції виробляє експлуатаційний персонал.

У разі появи великого шару мінеральних відкладень (накипу) хімічне очищення може бути неефективним. У такому випадку трубний пучок не підлягатиме ремонту і буде необхідно виготовити новий трубний пучок.

Дефектні штуцера і трубні решітки при досягненні максимальних величин зносу і прогину замінюються.

Свищі і тріщини усуваються шляхом заварки або постановкою накладок з попереднім видаленням дефектної ділянки.

					ХІ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
						35
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

За допомогою кольорової дефектоскопії визначають протяжність і положення кінців тріщин, виявлених в корпусі. Ці кінці до заварки засвердлюють свердлами діаметром 3–4 мм. Некрізні тріщини глибиною не більше 0,4 товщини стінки розправляються під заварку односторонньою вирубкою на максимальну глибину тріщини зі зняттям крайок під кутом 50– 60°. При тріщині понад 100 мм зварювання проводять оберненоступеневим методом. Наскрізні і некрізні тріщини глибиною більше 0,4 товщини стінки обробляють на всю товщину вирубкою зубилом або газорізкою. При появі гніздових тріщин пошкоджені місця вирізають і закривають латками без гострих кутів. Латки вваривать в рівень з основним металом. Площа латки не повинна перевищувати площі листа апарату.

Надійність ліквідації поверхневих дефектів контролюють магнітною або ультразвуковою дефектоскопією. Допускається глибина пошкодження в межах 10–20 % товщини стінки в залежності від розмірів ушкодження. Усі поверхні ущільнювачів слід контролювати магнітною або ультразвуковою дефектоскопією на відсутність тріщин. Після ремонту конденсатора його піддають гідравлічним або пневматичним випробуванням.

					ХІ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
						36
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- речовини високо небезпечні - ГДК 0,1 ...1,0 мг/м³ (кислоти сірчана та солена, хлор, фенол, бром, йод);
- речовини помірно небезпечні - ГДК 1,1... 10,0 мг/м³ (вінілацетат, толуол, ксилол, спирт метиловий, оксид цинку);
- речовини мало небезпечні - ГДК більше 10,0 мг/м³ (пари спирту, бензину, ацетону, аміак)

Загальні заходи та засоби попередження забруднення повітряного середовища на виробництві та захисту працюючих включають:

- вилучення шкідливих речовин з технологічних процесів, заміна шкідливих речовин менш шкідливими;
- удосконалення технологічних процесів та устаткування (застосування замкнених технологічних циклів, неперервних технологічних процесів, мокрих способів переробки пиломатеріалів);
- автоматизація: дистанційне управління технологічними процесами та обладнанням, що включає безпосередній контакт працюючих з шкідливими речовинами;
- герметизація виробничого устаткування, робота технологічного устаткування під розрідженням, локалізація шкідливих виділень за рахунок місцевої вентиляції аспіраційних укриттів;
- нормальне функціонування систем опалення, загально обмінної вентиляції, кондиціонування повітря, очисних викидів в атмосферу;
- попередні та періодичні медичні огляди робітників, які працюють в шкідливих умовах, профілактичне харчування, дотримання правил особистої гігієни;
- контроль за вмістом шкідливих речовин у повітрі робочої зони;
- використання засобів індивідуального захисту.

Контроль за концентрацією шкідливих речовин повинен проводитися для

- I класу небезпеки – 1 раз у 10 днів;
- II класу небезпеки – 1 раз у місяць;
- III та IV класу небезпеки – 1 раз у квартал.

При встановленій відповідності вмісту шкідливих речовин III, IV класів небезпеки рівню ГДК допускається проводити контроль не рідше 1 разу на рік.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
						38
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

19. Фарамазов С. А. Ремонт и монтаж оборудования химических и нефтеперерабатывающих заводов / С. А. Фарамазов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1980. – 312 с.
20. Интернет джерело <https://oppb.com.ua/news/shkidlyvi-rechovyny-yih-vplyv-na-organizm-lyudyny-ta-zahyst-pracyuyuchyh>
21. Ханик Я. М. та ін. Процеси та апарати хімічних технологій (у 5-ти частинах). – Львів: Львівська політехніка, ч. 1 – 2005, ч. 2, 3 – 2006, ч. 4 – 2009, ч. 5 – 2010. (<http://ena.lp.edu.ua>)
22. Интернет джерело <https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=807971>
23. СУО МПП 71.1200-217-2009 Посудини і апарати сталеві зварні.
24. ГОСТ 19903-74 Прокат листовой горячекатаный.
25. ОСТ 26-291-94 Сосуды стальные сварные.

					ХІ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40